Ryszard A. Wałek

GRAWITACJA ✦ BEZWŁADNOŚĆ
MASA ✦ CZAS ✦ PRZESTRZEŃ

2017

Wydanie piąte

W części pierwszej, tego wydania, przedstawiłem założenia teorii grawitacji i wnioski z nich wynikające, bez wzorów matematycznych tak, aby były intuicyjnie zrozumiałe. Część druga przedstawia teorię dokładniej, dzięki zastosowaniu stosunkowo prostej matematyki.

Ryszard A. Wałek
ryszard@grawitacja.info.pl Tel. +48 692 999 432

Spis treści

Część pierwsza

Część druga

Część pierwsza

Wstęp do części pierwszej

Powszechnie przyjmuje się, że grawitacja jest wzajemnym przyciąganiem ciał. Jabłko spada na Ziemię, ponieważ jest przez nią przyciągane. Jeżeli nie przedstawimy wyjaśnienia dlaczego jabłko jest przyciągane przez Ziemię, to nie możemy uważać, że nasze rozumienie grawitacji jest poprawne. Równie dobrze można powiedzieć, że jabłko spada na Ziemię, ponieważ jest odpychane przez przestrzeń, która znajduje się nad powierzchnią Ziemi.

W prawie powszechnej grawitacji czytamy: „Każde dwa ciała przyciągają się wzajemnie ...”, ale należy to traktować jako opis sytuacji a nie stwierdzenie, że tak jest naprawdę. Lepiej byłoby powiedzieć w ten sposób: „Każde dwa ciała zachowują się tak, jak gdyby przyciągały się wzajemnie...”, wówczas bardziej bylibyśmy skłonni zastanawiać się dlaczego tak się dzieje. A tak, „ciała się przyciągają”, rzecz jest oczywista i nie budzi żadnych wątpliwości.

W Ogólnej Teorii Względności nie mówi się o siłach działających między ciałami, a ich zachowanie wyjaśnia się jako wynik zmiany geometrii czasoprzestrzeni, spowodowany obecnością materialnych ciał. Brak jednak wyjaśnienia jak to jest możliwe, że materia zmienia geometrię czasoprzestrzeni. Po prostu zmienia i koniec. OTW należy traktować jako geometryczny opis działania grawitacji, znacznie lepszy, niż opis podany przez Newtona.

W tej książce przedstawiam inny pogląd na grawitację niż powszechnie przyjęty, prezentując nowy model działania grawitacji w oparciu o oddziaływanie elementarnych cząstek materii oraz przestrzeni za pośrednictwem grawitonów.

Już dawno podjęto próbę wyjaśnienia przyciągania grawitacyjnego dwóch ciał w oparciu o oddziaływanie ciał z grawitonami. Według jednego modelu przestrzeń jest wypełniona równomiernie cząsteczkami – grawitonami, poruszającymi się we wszystkich kierunkach. Grawiton po zderzeniu z ciałem przekazuje mu swój pęd. Ten model tłumaczy, dlaczego między dwoma ciałami występuje „przyciąganie”. Jednak z tego modelu wynika, że powinna zmniejszać się prędkość planet w ich ruchu orbitalnym i planety już dawno powinny spaść na Słońce. A więc ten model jest błędny. Ta teoria była zbyt prosta, żeby była prawdziwa.

W proponowanym modelu grawitacji takie hamowanie ruchu planet nie występuje. Ciała poruszające się swobodnie nie są hamowane w swoim ruchu. Wręcz przeciwnie, to właśnie dzięki oddziaływaniu z grawitonami możliwy jest ruch jednostajny ciała, na które nie działają siły zewnętrzne. Z tej teorii nie wynikają żadne wnioski sprzeczne z doświadczeniem i obserwacjami astronomicznymi.

W części pierwszej opisuję mechanizm działania grawitacji i konsekwencje jego działania bez stosowania wzorów matematycznych. Tylko tekst i rysunki.

Z tego opisu można zrozumieć nową ideę oddziaływania grawitacyjnego i wnioski, które z niej wynikają. Ta część powinna być zrozumiała dla każdej osoby zainteresowanej oddziaływaniem grawitacyjnym.

W części drugiej, stosując dość prostą matematykę, przedstawiam oddziaływanie grawitacyjne dokładniej.

W oddziaływaniu grawitacyjnym ciał występują siły, które na te ciała działają. W jaki sposób można podziałać siłą na dane ciało bez odwoływania się do niezrozumiałego oddziaływania na odległość? Można je po prostu popchnąć bezpośrednio innym ciałem. Na kulę bilardową podziałamy siłą, jeżeli uderzymy ją kijem lub inną kulą.

Spoczywający worek z piaskiem, który pochłonie wystrzelony do niego pocisk zostanie odrzucony zgodnie z ruchem pocisku (podziała na niego siła zgodnie skierowana z prędkością pocisku).

Również odrzucenie z ciała jego części powoduje powstanie siły działającej na obydwa fragmenty. W ten sposób działa napęd rakietowy. Cząstki rakiety i cząstki spalin oddziałują bezpośrednio ze sobą, są od siebie odrzucane i powstają siły poruszające rakietę w jedną stronę oraz strumień spalin w drugą.

Spoczywający karabin, który wystrzeli pocisk zostanie odrzucony przeciwnie do ruchu pocisku (podziała na niego siła przeciwnie skierowana do prędkości pocisku).

Dla wyjaśnienia sił oddziaływania grawitacyjnego, działających na ciała, rozsądnie jest przyjąć, że z ciałami materialnymi oddziałują (mogą być pochłaniane lub wyrzucane przez ciało) cząsteczki zwane grawitonami, które poruszają się z prędkością światła w całym Wszechświecie. Materialne ciała oddziałują grawitacyjnie z materią oraz przestrzenią Wszechświata poprzez wzajemną wymianę pędu i energii za pośrednictwem grawitonów. Dzięki temu oddziaływaniu na ciała mogą działać siły grawitacji. Absorpcja (pochłonięcie) grawitonu przez ciało powoduje popchnięcie ciała w tę stronę, w którą poruszał się ten grawiton, natomiast emisja (odrzucenie) grawitonu spowoduje popchnięcie ciała w stronę przeciwną do ruchu grawitonu.

Gdyby ciała tylko absorbowały (pochłaniały) grawitony wówczas nieustannie wzrastałaby ich energia i zarazem masa, przy czym ich ruch byłby hamowany. Dlatego należy przyjąć, że ciała również emitują (odrzucają) grawitony. Masa ciała pozostanie stała, jeżeli między ilością emitowanych i absorbowanych grawitonów zostanie zachowana równowaga.

Grawitony nie zostały wykryte w żadnym doświadczeniu, być może ze względu na ich znikomą energię.

Sposób oddziaływania cząstek materii z grawitonami i własności grawitonów zdefiniowałem w ten sposób aby wynikające z tych założeń własności grawitacji były zgodne z doświadczeniem i obserwacjami astronomicznymi.

Oddziaływanie grawitacyjne między materialnym ciałem i pozostałą materią oraz przestrzenią jest oddziaływaniem między elementarnymi cząstkami tego ciała i pozostałymi elementarnymi cząstkami Wszechświata. Aby

zrozumieć grawitację należy określić oddziaływanie grawitacyjne między cząstkami elementarnymi.

Na poziomie cząstek elementarnych świat jest kwantowy.[1] Materii nie można dzielić na coraz mniejsze części. W pewnym momencie natrafimy na cząstki już niepodzielne. Zjawiska i procesy fizyczne, na poziomie cząstek elementarnych, przebiegają w sposób skokowy a nie ciągły. W ten sposób zmieniają się pęd i energia elementarnej cząstki. ***Przyjąłem, że ruch cząstki elementarnej jest również serią skoków, odpowiednio zdefiniowanych, z jednego miejsca do drugiego.*** Podobnie czas i odległość mają charakter kwantowy. Oddziaływanie grawitacyjne można zrozumieć przyjmując, że zjawiska i procesy fizyczne są skwantowane.

Kwantowy charakter naszego świata jest trudny do zaakceptowania. Świat obserwowany bezpośrednio naszymi zmysłami wydaje się ciągły, zjawiska przebiegają płynnie a nie skokowo.

Oddziaływanie ciał z materią i przestrzenią całego Wszechświata, za pośrednictwem grawitonów, pozwala między innymi wyjaśnić:

- mechanizm „przyciągania” grawitacyjnego między dwoma ciałami,
- istnienie masy ciał,
- mechanizm powstawania siły bezwładności działającej na ciało poruszające się ze zmienną prędkością,
- ruch jednostajny ciała, na które nie działają żadne siły,
- zmianę tempa upływu czasu w polu grawitacyjnym,
- zamianę masy ciała na energię i odwrotnie,
- rozszerzanie Wszechświata ze wzrastającą prędkością.

Więcej informacji we wstępie do części drugiej.

[1] Kwant – najmniejsza możliwa wartość, o jaką może się zmienić skokowo dana wielkość fizyczna określonego układu

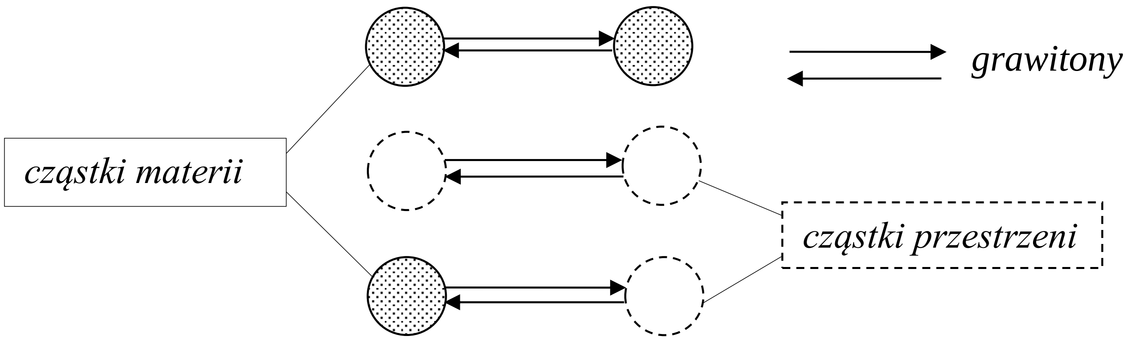
1. Oddziaływanie między cząstkami materii oraz cząstkami przestrzeni za pośrednictwem grawitonów

Dla wyjaśnienia zjawiska grawitacji i bezwładności wprowadzam pewne założenia dotyczące materii i przestrzeni oraz wzajemnego oddziaływania między materią oraz przestrzenią. W części drugiej założenia są możliwie dokładne, w pierwszej uproszczone.

Materia ma budowę cząsteczkową, tzn. składa się z elementarnych cząstek takich jak elektrony, protony itp.. Protony składają się z jeszcze bardziej elementarnych cząstek - kwarków.

Zakładam, że również przestrzeń składa się z elementarnych cząstek tworzących rodzaj gazu, w którym zanurzone są elementarne cząstki materii.

Między cząstkami elementarnymi występuje oddziaływanie grawitacyjne, polegające na przekazywaniu z jednej cząstki elementarnej do drugiej cząstki elementarnej pewnego pędu i energii za pośrednictwem cząsteczki – grawitonu. Oddziaływanie grawitacyjne zachodzi między parą cząstek materii lub parą cząstek przestrzeni lub między cząstką materii i cząstką przestrzeni.



Cząstki przestrzeni, tak jak cząstki materii, mają pewną masę. Na działanie siły reagują tak samo, jak cząstki materii. Cząstki przestrzeni mogą oddziaływać bezpośrednio ze sobą podczas zderzeń, podobnie jak cząstki materii. Natomiast cząstki materii i przestrzeni nie oddziałują bezpośrednio ze sobą, mogą oddziaływać jedynie za pomocą grawitonów.

Elementarna cząstka materii lub przestrzeni emituje grawiton wirtualny, poruszający się z prędkością światła, który może być zaabsorbowany przez inną elementarną cząstkę materii lub przestrzeni. Grawiton wirtualny g, wyemitowany przez elementarną cząstkę Q, nie ma określonej wartości pędu i energii.

Grawiton wirtualny i cząstka, która go wyemitowała pozostają w stanie splątania kwantowego, tzn. zachowują się tak jak gdyby stanowiły jedną całość, niezależnie od dzielącej je odległości. Grawiton wirtualny nie zmienia pędu i energii cząstki która go wyemitowała, do chwili absorpcji przez inną cząstkę. Każda zmiana stanu grawitonu powoduje natychmiastową zmianę stanu cząstki, która go wyemitowała. Jeżeli grawiton jest absorbowany przez pewną cząstkę, to momentalnie, z cząstki emitującej grawiton, jest przekazywany odpowiedni pęd i odpowiednia energia do cząstki absorbującej, za pośrednictwem tego grawitonu (to znaczy, że oddziaływanie między cząstkami jest nielokalne). Grawiton wirtualny nie jest samodzielną cząstką; istnieje tylko w powiązaniu z cząstkami materii lub przestrzeni.

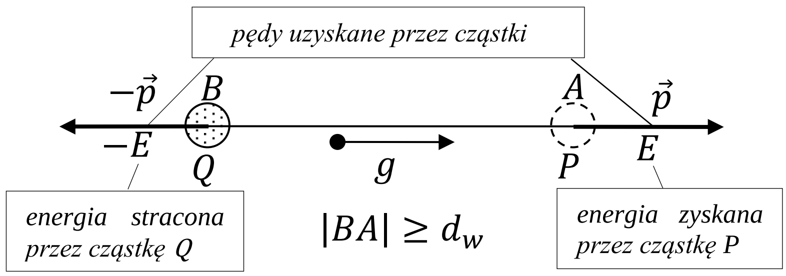
Weźmy dwie cząstki elementarne P i Q znajdujące się w pewnej odległości (nawet bardzo dużej) od siebie. Z cząstki Q jest wyemitowany wirtualny grawiton poruszający się z prędkością światła. Dla grawitonu poruszającego się z prędkością światła czas przestaje płynąć, to znaczy „według grawitonu" chwila jego emisji z cząstki Q jest równocześnie chwilą jego absorpcji przez cząstkę P, niezależnie od odległości między tymi cząstkami.

Jeżeli odległość między cząstkami Q i P jest większa lub równa od odległości $d_w = 10^{24}\ m$, to grawiton wirtualny wyemitowany przez cząstkę Q, który znajdzie się na powierzchni cząstki P, zostaje zaabsorbowany przez cząstkę P lub przestaje istnieć, w zależności od stanu energii wewnętrznej cząstki Q.

W chwili absorpcji grawitonu przez cząstkę P, znajdującą się w punkcie A, grawiton staje się rzeczywisty, są ustalane jego pęd $\vec{p}$ oraz energia E, które w tej samej chwili, momentalnie, są przekazane do cząstki P.

Równocześnie do cząstki Q zostaje przekazany odpowiednio pęd $-\vec{p}$ i energia $-E$.

Wartość przekazanego pędu i energii zależy od położenia cząstek Q i P, w momencie przekazu, nie zależy natomiast od ich prędkości.

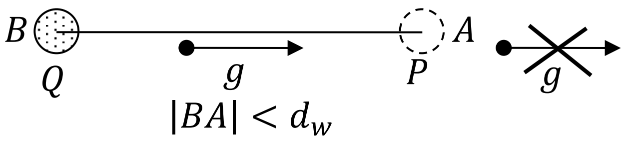


grawiton został wyemitowany z cząstki Q i zaabsorbowany przez cząstkę P

Pęd grawitonu rzeczywistego ma zwrot zgodny ze zwrotem wektora $\overrightarrow{BA}$. Cząstce Q jest przekazany pęd skierowany przeciwnie do pędu, jaki został przekazany do cząstki P i z cząstki Q jest pobrana energia, jaką uzyskała cząstka P za pośrednictwem grawitonu.

Wartości liczbowe pędu i energii, przekazanych przez grawiton, są odwrotnie proporcjonalne do odległości punktu B, w którym znajduje się cząstka Q w chwili emisji grawitonu rzeczywistego, od punktu A, w którym znajduje się cząstka P w chwili absorpcji tego grawitonu.

Cząstka Q emituje grawiton rzeczywisty, gdy do cząstki Q przekazywany jest pęd i pobierana jest z niej energia. Ilość grawitonów absorbowanych przez cząstkę P i równocześnie emitowanych przez cząstkę Q, w jednostce czasu, jest wprost proporcjonalna do masy każdej cząstki i odwrotnie proporcjonalna do odległości między nimi.



grawiton został wyemitowany z cząstki Q, nie został zaabsorbowany przez cząstkę P i przestał istnieć

Jeżeli odległość $|BA| < d_w$, to każdy grawiton wirtualny wyemitowany przez cząstkę Q, który znajdzie się na powierzchni cząstki P, nie zostanie zaabsorbowany przez cząstkę P i przestaje istnieć.

Elementarne cząstki materii, jak również elementarne cząstki przestrzeni, emitują grawitony równomiernie w każdym kierunku. Natomiast ilości grawitonów absorbowanych, przez cząstkę materii lub cząstkę przestrzeni, mogą być inne z różnych kierunków. W czasie jednej sekundy cząstka absorbuje i emituje ogromną ilość grawitonów. Emisje i absorpcje grawitonów zachodzą w przypadkowych chwilach czasu.

Oddziaływanie między cząstkami za pośrednictwem grawitonu jest nielokalne. Grawitony istnieją tylko w powiązaniu z cząstkami materii lub przestrzeni.

Każda cząstka elementarna jest otoczona przez ogromną ilość wirtualnych grawitonów z nią związanych, znajdujących się w różnych odległościach od tej cząstki i oddalających się od niej z prędkością światła.

Jak dalej zobaczymy oddziaływanie grawitacyjne, za pośrednictwem grawitonów, między wszystkimi cząstkami Wszechświata powoduje, że dwie cząstki, znajdujące się w odległości mniejszej od $d_w = 10^{24}\ m$, zachowują się tak, jak gdyby się przyciągały zgodnie z prawem powszechnej grawitacji Newtona.

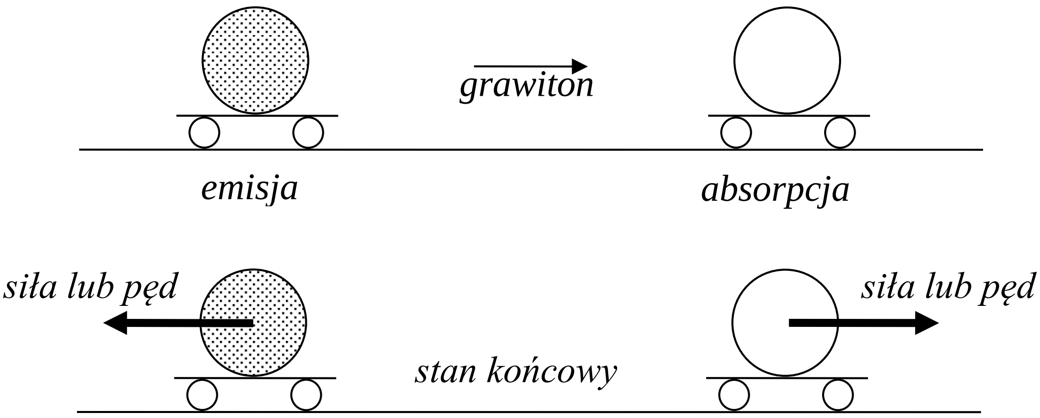
Gdyby cząstki elementarne oddziaływały między sobą za pośrednictwem grawitonu, niezależnie od odległości między nimi, to można pokazać, że między tymi cząstkami nie byłoby „przyciągania" grawitacyjnego.

Z obserwacji astronomicznych wiadomo, że siła „przyciągania" grawitacyjnego przestaje działać między gromadami galaktyk znajdujących się w odległości większej od $10^{24}\ m$. Stąd wartość d_w. Cząstka elementarna P oddziałuje, za pośrednictwem grawitonów, tylko z tymi cząstkami materii i przestrzeni, które znajdują się na zewnątrz kuli o środku P i promieniu d_w.

Pędem cząstki nazywamy iloczyn jej masy i prędkości. Dla cząstki o stałej masie zmiana wektora prędkości oznacza równocześnie zmianę jej pędu. Siła działająca na cząstkę jest równa zmianie jej pędu w jednostce czasu.

Jeżeli spoczywająca kula pochłonie pocisk, to zacznie się poruszać w tą stronę, co pocisk lub podziała na nią pewna siła, gdy jest unieruchomiona. W ten sposób pocisk przekazał pęd do kuli.

Wyobraźmy sobie dwie kule (cząstki elementarne) umieszczone na lekkich wózkach, pozostające w spoczynku (pędy obu cząstek są równe zero) na prostoliniowym torze.



Jeżeli z jednej kuli zostanie wystrzelony pocisk (grawiton wirtualny) i po upływie pewnego czasu pochłonięty przez drugą, to wówczas z pierwszej kuli zostanie przekazany do drugiej pewien pęd i odpowiednia energia i pierwsza kula zostanie odrzucona w przeciwną stronę niż pocisk. Druga, po pochłonięciu pocisku, zostanie odrzucona w tą stronę, co i pocisk. Obydwie kule poruszają się z pewną prędkością, a więc pocisk zmienił ich pędy. Jeżeli kule byłyby unieruchomione, to pocisk działałby na nie pewną siłą, przy czym ich pędy pozostałyby niezmienione. Pędy cząstek elementarnych zmieniają się dopiero wówczas, gdy grawiton wirtualny jest absorbowany przez drugą cząstkę. Do momentu absorpcji grawitonu przez drugą cząstkę pęd pierwszej jest taki sam jak przed emisją tego grawitonu. Natomiast dla kul i pocisku jest inaczej. Pęd pierwszej kuli zmienia się w momencie wystrzelenia pocisku, natomiast pęd drugiej w momencie pochłonięcia tego pocisku.

Oddziaływanie cząstek za pośrednictwem grawitonu powoduje, że działają na nie siły starające się odepchnąć je od siebie (gdy są unieruchomione) lub cząstki są odrzucone od siebie (jeżeli są swobodne).

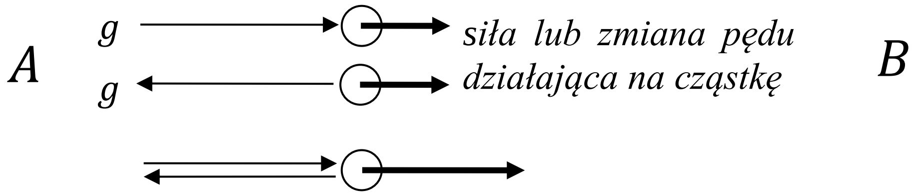
Siły grawitacyjnego oddziaływania między dwiema elementarnymi cząstkami, za pośrednictwem grawitonu, są siłami odpychania.

Jeżeli odległość między cząstkami zwiększymy [zmniejszymy] dwa, trzy, … razy, to pęd i energia przekazywane z jednej cząstki do drugiej zmaleją [wzrosną] dwa, trzy, … razy.

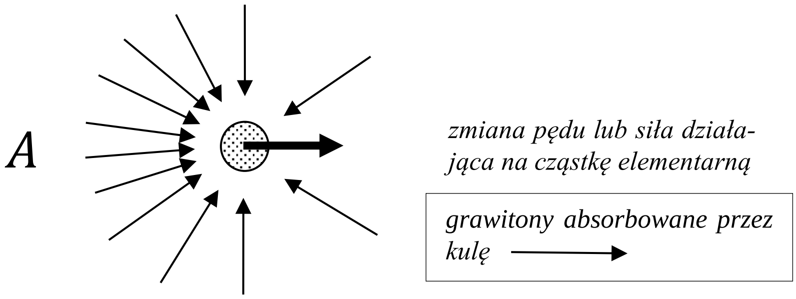
W wyniku oddziaływania grawitacyjnego układ dwóch cząstek nie zmienia swojej energii; energia została tylko przekazana z jednej cząstki do drugiej. Również pęd tego układu pozostaje niezmieniony. Suma wektorowa pędów przekazanych do tych cząstek, za pośrednictwem grawitonów, jest wektorem zerowym.

Oddziaływanie grawitacyjne materialnego ciała z pozostałymi cząstkami materii i przestrzeni jest sumą oddziaływań elementarnych cząstek tego ciała z elementarnymi cząstkami Wszechświata, za pośrednictwem grawitonów.

Emisja grawitonów przez cząstkę elementarną jest równomierna w każdym kierunku i wypadkowy pęd przekazany przez te grawitony do tej cząstki jest wektorem zerowym. Emisja grawitonów przez cząstkę nie powoduje zmiany pędu tej cząstki. W dalszym ciągu „grawiton emitowany przez cząstkę” oznacza grawiton emitowany przez cząstkę, który jest absorbowany przez inną cząstkę. Grawiton oddziałuje z cząstką, jeżeli jest przez nią absorbowany lub emitowany.

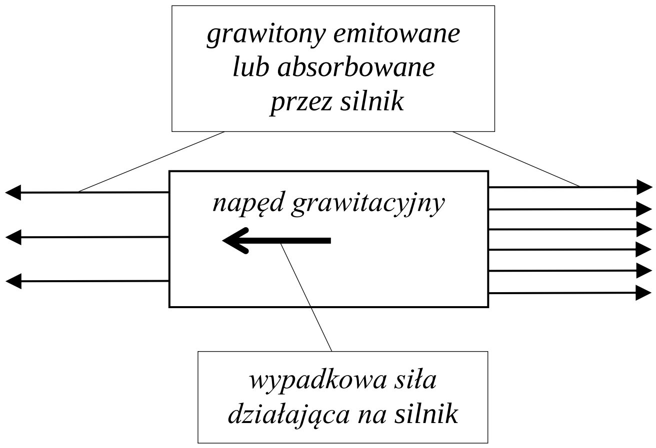


Grawiton absorbowany przez cząstkę elementarną od strony A przekazuje do niej pęd o zwrocie w stronę B. Również grawiton emitowany przez cząstkę w stronę A przekazuje do niej pęd zwrócony w stronę B.



Jeżeli ze strony A cząstka elementarna absorbuje więcej grawitonów niż ze strony B (wypadkowy pęd przekazany przez absorbowane grawitony jest niezerowym wektorem zwróconym w stronę B), to na tę cząstkę działa siła zwrócona w stronę B lub cząstka zyskuje dodatkowy pęd skierowany w stronę B.

Jak wiemy, do wyniesienia ładunku o masie kilku ton na orbitę okołoziemską, rakieta musi mieć masę startową rzędu kilku tysięcy ton. Umieszczanie ładunku na orbicie przy pomocy rakiet jest bardzo nieekonomiczne.



Gdybyśmy potrafili spowodować asymetrię emisji lub absorpcji grawitonów przez materialne ciało, to otrzymalibyśmy silnik odrzutowy, który wymagałby tylko dostarczania energii, aby tą asymetrię utrzymać. Pojazd mający taki silnik nie musiał by zabierać materii potrzebnej do jej odrzucenia, po to tylko, aby zacząć się poruszać. Przypuszczam, że taki silnik jest możliwy do zbudowania. Napęd grawitacyjny umożliwiałby swobodne poruszanie się w przestrzeni.

2. Masa, czas, odległość

Możemy wyróżnić dwa rodzaje masy materialnego ciała: masę grawitacyjną i masę bezwładną. Masa grawitacyjna jest wyznaczona w wyniku oddziaływania grawitacyjnego (przyciągania) ciał.

Umieśćmy kolejno dwa ciała w tym samym miejscu nad powierzchnią Ziemi. Jeżeli siła przyciągania działająca na pierwsze ciało jest dwa razy większa niż siła przyciągania działająca na drugie, to masa grawitacyjna pierwszego ciała jest dwa razy większa niż masa grawitacyjna drugiego.

Masa bezwładna jest określona przez stosunek siły działającej na ciało do przyspieszenia, uzyskanego przez to ciało w wyniku działania tej siły.

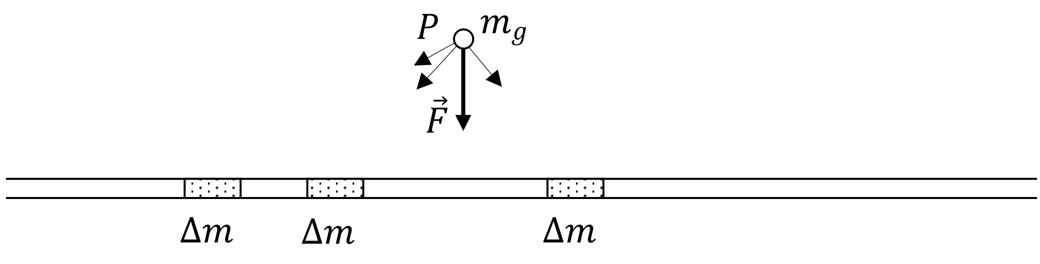
Jeżeli w wyniku działania takiej samej siły na dwa ciała, pierwsze uzyska przyspieszenie dwa razy większe niż drugie, to pierwsze ciało ma masę bezwładną dwa razy mniejszą od drugiego. Masa bezwładna ciała zależy od jego prędkości względem obserwatora, tak jak to określa Szczególna Teoria Względności. Ze wzrostem prędkości rośnie odpowiednio masa bezwładna ciała.

Powszechnie uważa się, że masa grawitacyjna jest proporcjonalna do masy bezwładnej, a dla odpowiedniego współczynnika proporcjonalności te masy są równe. Stwierdzenie, że masa grawitacyjna jest równa masie bezwładnej wynika z błędnej interpretacji doświadczenia Braginskiego i Panowa oraz podobnych. W części drugiej pokazuję, na czym polega ten błąd. Poniżej przedstawiam rozumowanie, z którego wynika, że te masy nie są równe.

Wiadomo, że masa bezwładna ciała zależy od jego prędkości.

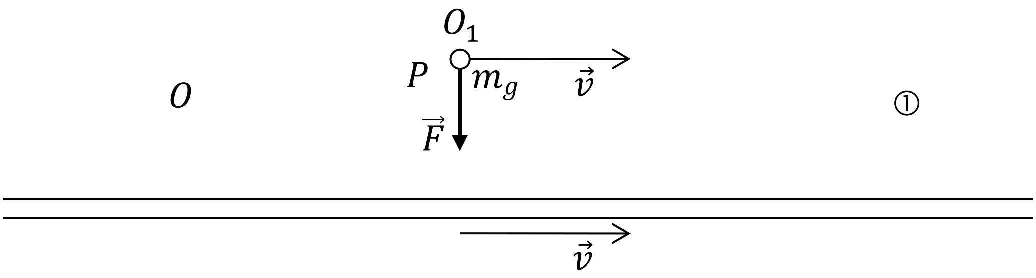
Czy masa grawitacyjna zależy od prędkości ciała względem obserwatora?

Weźmy ciało o masie grawitacyjnej m_g i nieskończenie długi o stałym przekroju, jednorodny, materialny pręt. Podzielmy pręt na nieskończoną ilość równych części o masie Δm. Każda z tych części działa na ciało P pewną siłą wynikającą z oddziaływania grawitacyjnego między nimi.



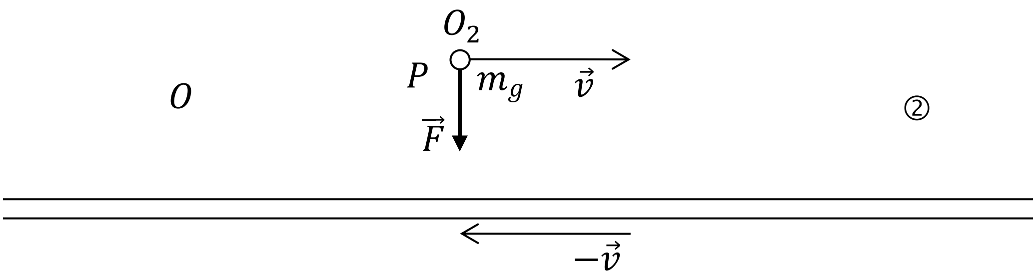
Można wykazać, że suma wektorowa wszystkich tych sił jest wektorem $\vec{F}$ skierowanym w stronę pręta, prostopadle do niego i o skończonej wartości.

Weźmy dwa takie zestawy złożone z ciała P o masie grawitacyjnej m_g i nieskończenie długiego pręta, jednakowego w obu zestawach, znajdującego się w tej samej odległości od ciała P.



ruch ciała i pręta widziane przez obserwatora O

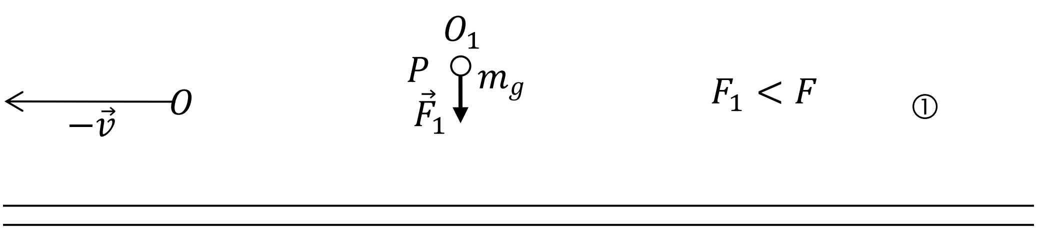
W pierwszym przypadku ciało P i pręt poruszają się ruchem jednostajnym z taką samą prędkością $\vec{v}$**,** względem obserwatora O. Równocześnie z ciałem P porusza się obserwator O_1.



ruch ciała i pręta widziane przez obserwatora O

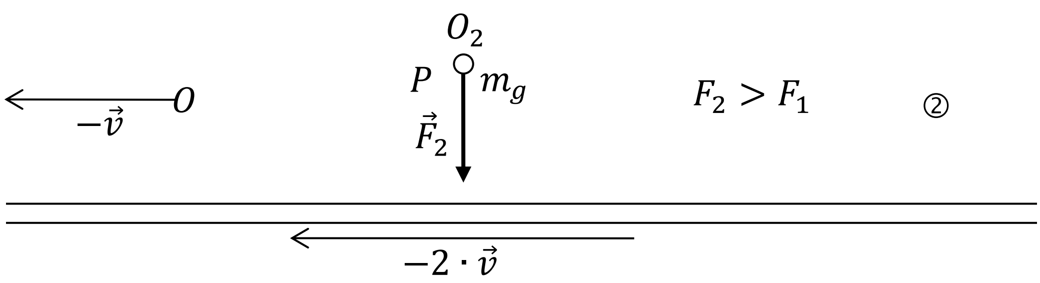
W drugim przypadku ciało P porusza się ruchem jednostajnym z taką samą prędkością $\vec{v}$ względem obserwatora O jak w przypadku pierwszym, ale pręt porusza się względem tego obserwatora z prędkością przeciwną $-\vec{v}$. Równocześnie z ciałem P porusza się obserwator O_2.

Przypuśćmy na chwilę, że masa grawitacyjna jest równa masie bezwładnej, a więc, że zależy od prędkości ciała względem obserwatora. Dla obserwatora O w obydwu przypadkach ciało P i pręt poruszają się z taką samą szybkością v, a więc ich masy bezwładne są powiększone w takim samym stopniu. Masa bezładna ciała zależy od wartości liczbowej prędkości. Dla obserwatora O w obydwu przepadkach siła F działająca na ciało P, ze względu na jego oddziaływanie grawitacyjne z prętem, jest taka sama.



ruch ciała i pręta widziane przez obserwatora O_1

W pierwszym przypadku pręt pozostaje w spoczynku względem obserwatora O_1. Według O_1 na ciało działa siła $\vec{F}_1$ zależna od mas spoczynkowych ciała i pręta.



ruch ciała i pręta widziane przez obserwatora O_2

W drugim przypadku pręt porusza się względem obserwatora O_2 z szybkością $2 \cdot v$. Dla obserwatora O_2 pręt ma większą masę bezwładną, niż gdyby był w spoczynku. Według O_2 na ciało działa siła $F_2 > F_1$.

Otrzymaliśmy sprzeczność. Dla obserwatora O siły grawitacyjne działające na ciało, pochodzące od pręta są w obydwu przypadkach równe, natomiast dla obserwatorów O_1 i O_2 poruszających się z taką samą prędkością względem O są różne. Unikniemy tej sprzeczności, jeżeli założymy, że masa grawitacyjna ciała nie zależy od jego prędkości względem ustalonego obserwatora.

Podobną własność ma ładunek elektryczny. Wielkość ładunku elektrycznego cząstki nie zależy od jej prędkości względem obserwatora.

Masa grawitacyjna ciała nie zależy od jego prędkości względem ustalonego obserwatora i nie jest równa jego masie bezwładnej, gdy ciało porusza się z prędkością różną od zera.

Masa grawitacyjna ciała jest równa jego masie spoczynkowej.

Dlatego Ogólna Teoria Względności nie jest dokładnie prawdziwa, ponieważ jej podstawowym założeniem jest równość masy grawitacyjnej i bezwładnej.

Obydwie masy, grawitacyjna oraz bezwładna, są równe, jeżeli ciało pozostaje w spoczynku. W zwykłych warunkach, jeżeli prędkości cząstek są niezbyt duże, różnica między tymi masami jest bardzo mała.

Masa cząstki, znajdującej się w spoczynku i równocześnie jej masa grawitacyjna, jest wprost proporcjonalna do jej energii wewnętrznej i równocześnie do ilości grawitonów absorbowanych i emitowanych przez cząstkę w jednostce czasu.

Można zdefiniować masę grawitacyjną cząstki, jako ilość grawitonów absorbowanych i emitowanych przez cząstkę w jednostce czasu. Oznaczmy ją symbolem m^*. Tak zdefiniowana masa m^* jest wprost proporcjonalna do znanej masy grawitacyjnej m_g i w przybliżeniu (dla małych prędkości) wprost proporcjonalna do dobrze znanej masy bezwładnej m_b.

Masa bezwładna cząstki poruszającej się z pewną prędkością, jest równa sumie jej masy spoczynkowej (grawitacyjnej) i masy równoważnej jej energii kinetycznej. Masa bezwładna cząstki jest równoważna jej energii całkowitej.

W dalszym ciągu przyjmuję, że masa grawitacyjna ciała m_g jest równa jego masie bezwładnej m_b (pod warunkiem, ze prędkości ciał są niezbyt duże).

Cząstki elementarne (materii, jak również przestrzeni) absorbują oraz emitują grawitony, które przenoszą z jednej cząstki do drugiej pewną energię. Energia przekazywana z jednej cząstki elementarnej do drugiej jest równoważna zmianie masy grawitacyjnej tych cząstek. Można, więc powiedzieć, że grawitony przenoszą z jednej cząstki elementarnej do innej cząstki pewną masę grawitacyjną.

W ustalonych warunkach ilość grawitonów absorbowanych przez cząstkę, w jednostce czasu, jest stała. Między ilością grawitonów absorbowanych a ilością grawitonów emitowanych przez cząstkę, w jednostce czasu, ustala się równowaga. Dlatego ilość energii wewnętrznej (masa*) cząstki jest niemal stała. Ponieważ grawitony są absorbowane i emitowane w przypadkowych chwilach czasu, więc w bardzo małych odstępach czasu masa* cząstki może się zmieniać, oscylując wokół pewnej średniej wielkości ustalonej w dłuższym odstępie czasu. Masa* cząstki, w krótkich odstępach czasu, zmienia się w niewielkim stopniu w sposób chaotyczny.

Jeżeli zmniejszy się ilość grawitonów absorbowanych przez cząstkę, wówczas odpowiednio zmniejszy się ilość grawitonów przez nią emitowanych. Część energii wewnętrznej cząstki zostanie przekazana do cząstek przestrzeni i innych cząstek materii, za pośrednictwem grawitonów. Zmaleje energia wewnętrzna cząstki i zarazem jej masa* odpowiednio do ilości absorbowanych grawitonów.

Jeżeli zwiększy się ilość grawitonów absorbowanych przez cząstkę, wówczas odpowiednio zwiększy się ilość grawitonów przez nią emitowanych. Cząstka pobierze pewną ilość energii z cząstek przestrzeni i innych cząstek materii, za pośrednictwem grawitonów; zwiększy się jej energia wewnętrzna i zarazem jej masa*.

Zmiana masy* elementarnej cząstki jest możliwa dzięki nieustannej wymianie energii między tą cząstką i innymi elementarnymi cząstkami materii i przestrzeni.

Gdyby do cząstki nie dochodziły grawitony z zewnątrz, to cząstka wyemitowałaby całkowicie swoją energię i jej masa byłaby równa zero. Wynika stąd następujący wniosek.

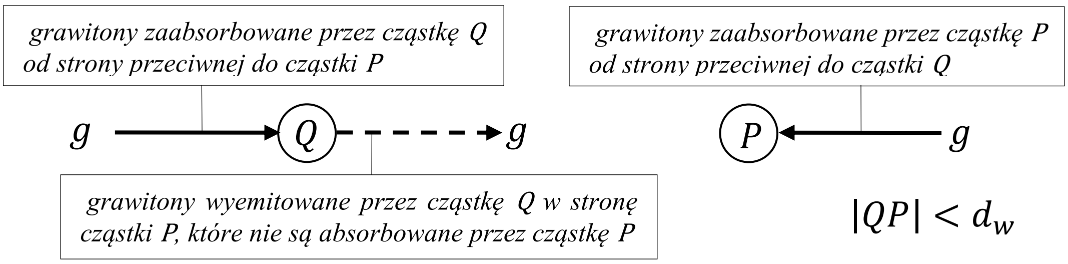
Cząstka elementarna jest obiektem zbudowanym, w znacznym stopniu, z energii.

Cząstkę elementarną możemy sobie wyobrazić, jako kulistą i wrzącą chmurkę energii, nieustannie emitującą oraz absorbującą grawitony w ogromnych ilościach (jest to uproszczone spojrzenie na cząstkę tylko ze względu na oddziaływanie grawitacyjne).

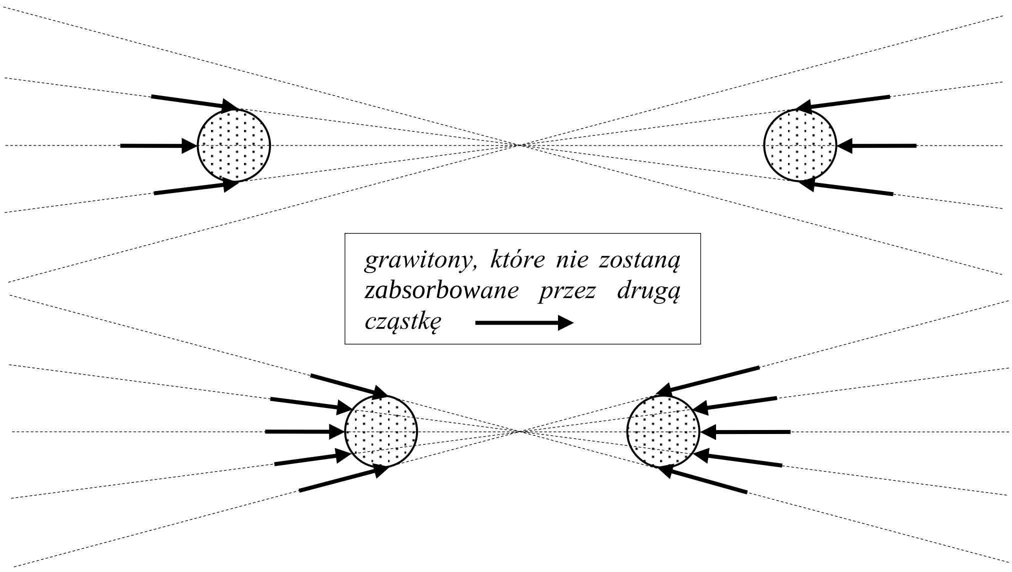
Wiadomo, że podczas odpowiedniego zderzenia dwóch elementarnych cząstek materii mogą powstać nowe cząstki elementarne. Jeżeli wiemy, że cząstka elementarna zbudowana jest z energii, to możemy zrozumieć, że takie zjawisko jest możliwe. Po prostu z energii wyzwolonej podczas zderzenia są tworzone nowe cząstki. Również emisja elektronu z jądra atomu, mimo jego braku w jądrze, jest bardziej zrozumiała. Elektron został zbudowany z nadmiaru energii zawartej w jądrze atomu. Nie wiem, jaki jest mechanizm tworzenia cząstek elementarnych z energii, ale nie jest to już tak bardzo dziwne.

Wprowadzenie masy m* pozwala, między innymi, łatwo zrozumieć, dlaczego dla ustalonego obserwatora masa tego samego ciała może być inna w różnych miejscach pola grawitacyjnego. Również z określenia masy m* można zrozumieć, dlaczego siły „przyciągania” grawitacyjnego są proporcjonalne do masy ciała i odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości między nimi.

Weźmy dwie elementarne cząstki materii Q i P znajdujące się w odległości mniejszej od d_w.



Każda z nich absorbuje, w jednostce czasu, mniej grawitonów od strony drugiej cząstki niż z pozostałych kierunków, ponieważ część grawitonów, emitowanych przez materię i przestrzeń, które mogłaby zabsorbować jedna z nich jest absorbowana przez drugą. Każda cząstka emituje w stronę drugiej grawitony wirtualne, które nie są przez nie absorbowane. Z każdą cząstką oddziałuje, w jednostce czasu, mniej grawitonów i masa* każdej cząstki jest mniejsza niż wtedy, gdy każda znajdowała się daleko od drugiej i innych ciał materialnych.



Jeżeli weźmiemy dwie jednakowe cząstki, znajdujące się daleko od siebie oraz od innych cząstek, to absorbują, w jednostce czasu, dwa razy więcej grawitonów i ich łączna masa jest dwukrotnie większa niż jednej z nich. Jeżeli cząstki są dość daleko od siebie, to z bardzo dobrym przybliżeniem mogę powiedzieć, że łączna ich masa jest sumą mas poszczególnych cząstek. Te same cząstki, znajdujące się blisko siebie absorbują, w jednostce czasu, łącznie nieco mniej grawitonów, ponieważ część grawitonów, które mogłaby zaabsorbować jedna cząstka, jest zabsorbowana przez drugą. Równocześnie każda z nich emituje mniej grawitonów w stronę drugiej.

Układ cząstek znajdujących się blisko siebie ma mniejszą masę niż suma mas tych cząstek, jeżeli ich masy zmierzono oddzielnie, gdy znajdowały się daleko od siebie i innych cząstek. Jeżeli cząstki zbliżamy do siebie, to masa spoczynkowa i zarazem energia wewnętrzna układu tych cząstek maleje.

Dla obserwatora, znajdującego się w ustalonym miejscu przestrzeni, ilość grawitonów absorbowanych oraz emitowanych, w jednostce czasu, przez cząstkę, a więc równocześnie jej energia wewnętrzna i masa spoczynkowa, może się zmieniać w zależności od miejsca gdzie znajduje się cząstka.

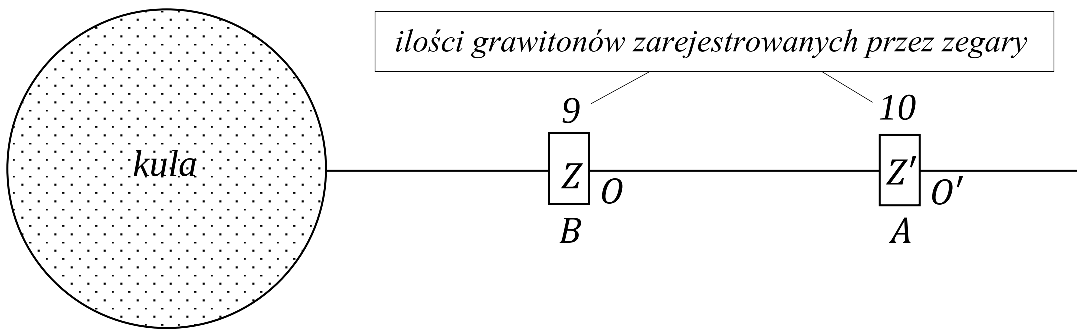
Dla takiego obserwatora cząstka zbliżająca się do materialnej kuli absorbuje i emituje coraz mniej grawitonów, w jednostce czasu (według zegara tego obserwatora), ponieważ część grawitonów, które mogłyby być zaabsorbowana przez cząstkę jest pochłonięta przez kulę. W miarę zbliżania cząstki do kuli zmniejsza się ilość grawitonów absorbowanych, w jednostce czasu, przez cząstkę, a więc zmniejsza się jej masa spoczynkowa. Jeżeli cząstka zbliża się do kuli, to z cząstki widać kulę pod coraz większym kątem i kula zatrzymuje coraz więcej grawitonów, które mogłyby być absorbowane przez cząstkę.

Masa każdego ciała zależy od rozmieszczenia innych ciał we Wszechświecie.

Wyobraźmy sobie zegar, zbudowany z cząstki elementarnej - protonu (jądra atomu wodoru) i licznika zliczającego ilość grawitonów oddziałujących z protonem. Jako jednostkę czasu, odmierzanego przez taki zegar protonowy, możemy przyjąć czas, w którym licznik zarejestruje, na przykład, miliard grawitonów oddziałujących z protonem.

Weźmy obserwatorów O i O' z zegarami protonowymi Z i Z'. Obserwator O' pozostaje w ustalonym punkcie A, w pewnej odległości od materialnej kuli. Obserwator O początkowo znajdował się blisko punktu A i jego zegar Z odmierzał takie same jednostki czasu jak zegar Z'. Następnie O przesunął się do punktu B znajdującego się bliżej kuli. Obserwator O' stwierdza, że w tym samym odstępie czasu, odmierzanym przez jego zegar, z protonem zegara Z oddziałuje mniej grawitonów niż z protonem jego zegara Z' . Według obserwatora O', zegar Z w określonym odstępie czasu odmierza mniej jednostek czasu niż zegar Z'. Dla O' jednostka czasu obserwatora O jest większa niż jego własna; zegar Z tyka wolniej niż zegar Z'. Obserwator O przy przesunięciu z punktu A do B nie zauważy żadnej zmiany w tempie upływu czasu swojego zegara Z, co wynika ze sposobu mierzenia czasu.

Przypuśćmy dla uproszczenia, że zegar Z' obserwatora O' zarejestrował *10* grawitonów i w tym samym czasie, według zegara Z', zegar Z obserwatora O zarejestrował 9 grawitonów. Jako jednostkę czasu weźmy czas potrzebny na zarejestrowanie przez zegar *10* grawitonów. Jeżeli według obserwatora O' jego zegar odmierzy 1 jednostkę czasu, to zegar obserwatora O odmierzy 0,9 jednostki czasu. Dla obserwatora O' zegar Z chodzi wolniej niż jego własny i jednostka czasu dla zegara Z jest równa $1\frac{1}{9}$ jednostki czasu zegara Z'. Natomiast według obserwatora O jego zegar odmierza czas tak samo jak w każdym innym punkcie; po prostu dla niego upłynie 1 jednostka czasu, jeżeli jego zegar zarejestruje *10* grawitonów.



Zmianę tempa upływu czasu możemy zauważyć jedynie wtedy, gdy jeden ustalony obserwator porównuje wskazania dwóch zegarów.

Zmiana tempa upływu czasu podczas takiego przesunięcia jest potwierdzona doświadczalnie.

Jeżeli według ustalonego (zajmującego stałe miejsce w przestrzeni) obserwatora O', w jednostce czasu, z cząstką P oddziałuje mniej grawitonów w punkcie B przestrzeni niż w innym punkcie A, to obserwator O związany z cząstką P (znajdujący się stale blisko cząstki P) stwierdzi, że według jego zegara z cząstką oddziałuje tyle samo grawitonów, w jednostce czasu, w punkcie B jak w punkcie A.

Dla obserwatora O związanego z cząstką jej masa* jest stała, niezależnie od miejsca, w którym jest mierzona.

Podczas przesunięcia cząstki z punktu A do punktu B, równocześnie ze zmianą ilości grawitonów oddziałujących z cząstkę, odpowiednio zmienia się w tych punktach tempo upływu czasu i dla obserwatora O związanego z cząstką jej masa* pozostaje niezmieniona.

Każdy zegar zmienia tempo odmierzania czasu dokładnie w taki sam sposób, jak zegar protonowy. Takim zegarem może być zegar świetlny, zbudowany z dwóch zwierciadeł połączonych sztywnym prętem. Zwierciadła są ustawione prostopadle do pręta. Między zwierciadłami, prostopadle do nich, porusza się foton (cząstka światła) odbijający się od tych zwierciadeł. Jako jednostką czasu można przyjąć czas potrzebny fotonowi na przebycie podwójnej odległości między zwierciadłami. Za jednostkę długości możemy przyjąć podwojoną odległość między zwierciadłami zegara. Długość odcinka, pozostającego w spoczynku względem obserwatora, mierzona taką jednostką długości nie zależy od kierunku (orientacji), w jakim jest on ustawiony w przestrzeni. Identycznie zbudowane zegary spoczywające względem siebie, znajdujące się blisko siebie i dowolnie zorientowane w przestrzeni odmierzają takie same jednostki czasu.

Prędkość fotonu (światła) jest równa podwojonej odległości między zwierciadłami podzielonej przez czas, potrzebny na przebycie fotonowi tej odległości. Każdy obserwator używający swojego zegara świetlnego otrzyma taką samą wartość liczbową prędkości światła, co jest wynikiem używanego sposobu mierzenia długości i czasu.

W Ogólnej Teorii Względności przyjęto, że prędkość światła jest jednakowa dla każdego obserwatora, nawet, jeżeli znajduje się on daleko od miejsca pomiaru.

W przedstawionej teorii oddziaływania grawitacyjnego z przyjętych założeń (patrz część druga) wynika, że prędkość światła jest jednakowa tylko dla obserwatorów znajdujących się blisko miejsca pomiaru. Natomiast dla ustalonego obserwatora O' prędkość światła może mieć inną wartość, w różnych miejscach przestrzeni.

Weźmy dwa, bliskie ustalone punkty w przestrzeni, znajdujące się w odległości Δl. Niech w określonym odstępie czasu Δt w pobliżu tych punktów zajdzie pewne zdarzenie. Np. światło przebyło odległość między tymi punktami w czasie Δt. Dla różnych obserwatorów odległość między tymi punktami może mieć inną wartość. Również odstęp czasu Δt może mieć różną wartość.

Z przyjętych w części drugiej założeń wynika, że dla każdego obserwatora iloczyn odległości Δl i odstępu czasu Δt ma taką samą wartość.

Stąd otrzymujemy, że dla ustalonego obserwatora O', w tych miejscach przestrzeni gdzie zegar wolniej odmierza czas, odległość między dwoma punktami jest większa oraz prędkość światła jest mniejsze niż dla obserwatora O.

Dla słabego, statycznego pola grawitacyjnego (na przykład w otoczeniu Słońca) z prezentowanej teorii, z bardzo dobrym przybliżeniem, wynikają te same wnioski jak z Ogólnej Teorii Względności. Duże różnice pojawiają się dopiero w pobliżu ciała o bardzo dużej masie. Według mnie, oddziaływanie grawitacyjne opisane w tym modelu, dla ciała o bardzo dużej masie, ma więcej sensu niż to, które jest prezentowane w OTW.

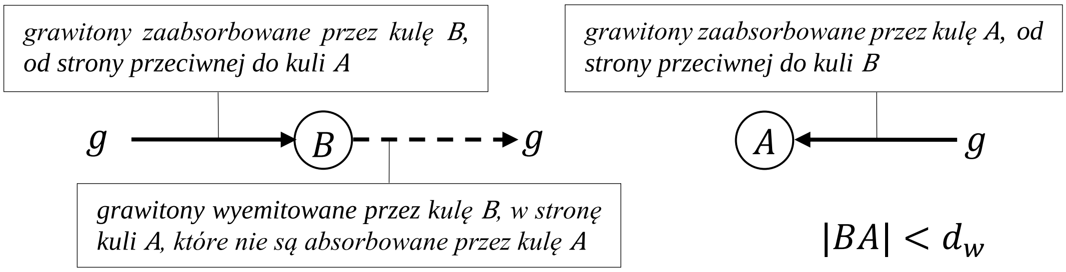
Wnioski wynikające z tej teorii, jak pokazano w dalszym ciągu, nie pozostają w sprzeczności z doświadczeniem. Pokazany jest w niej prosty i zrozumiały mechanizm oddziaływania grawitacyjnego i bezwładności ciał, czego nie ma w OTW. Również łatwo zrozumieć, dlaczego ciała mają masę zarówno grawitacyjną jak i bezwładną. Zgodny z obserwacjami astronomicznymi jest jednoznaczny wniosek, wynikający z przedstawionej teorii, że Wszechświat może się tylko rozszerzać i to ze wzrastającą prędkością. Z OTW wynika jedynie, że Wszechświat może się rozszerzać lub kurczyć. Przedstawiona teoria jest znacznie prostsza niż OTW. Należy ją traktować, jako pierwsze przybliżenie nowej teorii grawitacji.

3. Oddziaływanie grawitacyjne między dwoma ciałami

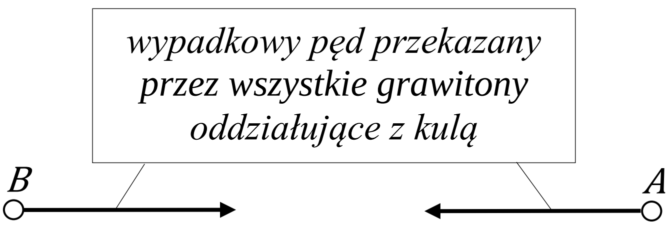
Przestrzeń całego Wszechświata wypełniona jest wirtualnymi grawitonami emitowanymi przez cząstki materii i cząstki przestrzeni. Jeżeli element przestrzeni (miejsce w przestrzeni o niewielkiej objętości) znajduje się daleko od innych ciał materialnych, to możemy założyć, że z każdego kierunku dochodzi do niego, w jednostce czasu, jednakowa ilość grawitonów.

Jeżeli materialna kula znajduje się w spoczynku, daleko od innych ciał, to z każdego kierunku absorbuje i emituje tyle samo grawitonów i suma pędów, przekazywanych do niej przez grawitony, jest wektorem zerowym. Kula absorbuje pewną ilość energii przenoszoną przez grawitony i emituje taką samą ilość energii za pośrednictwem grawitonów. Na kulę nie działa żadna siła, kula nie zmienia swojego pędu i pozostaje w spoczynku.

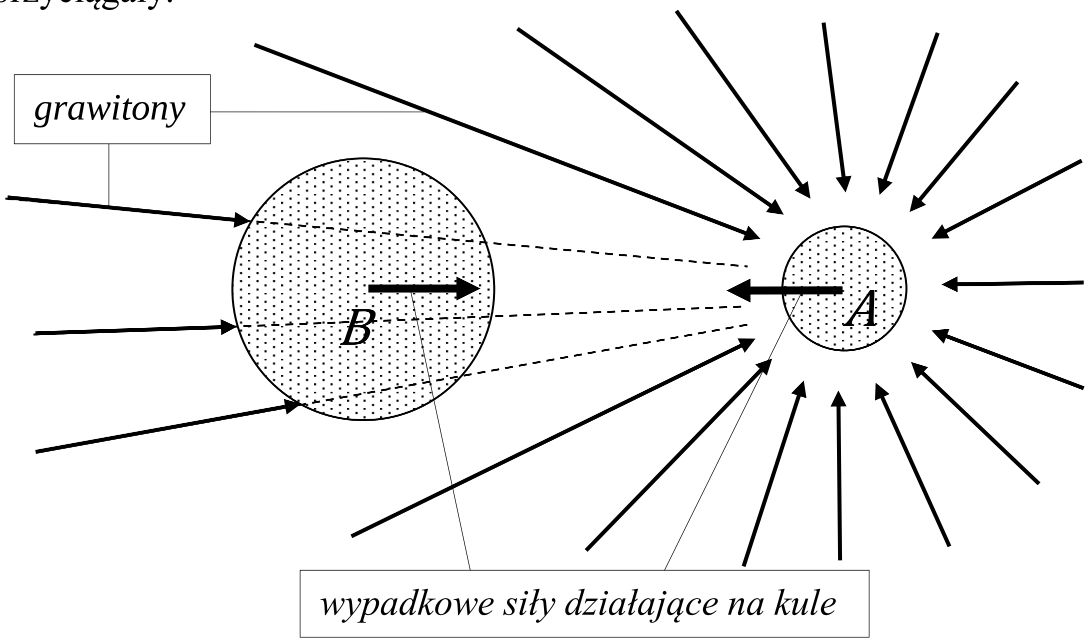
Weźmy dwie materialne kule B i A znajdujące się w odległości mniejszej od $d_w = 10^{24}\ m$ i daleko od innych ciał materialnych. Obydwie kule absorbują grawitony, dochodzące z cząstek materii i cząstek przestrzeni Wszechświata, znajdujących się od nich w odległości większej od d_w. Równocześnie emitują grawitony absorbowane przez cząstki materii i przestrzeni znajdujące się w odległości większej od d_w.



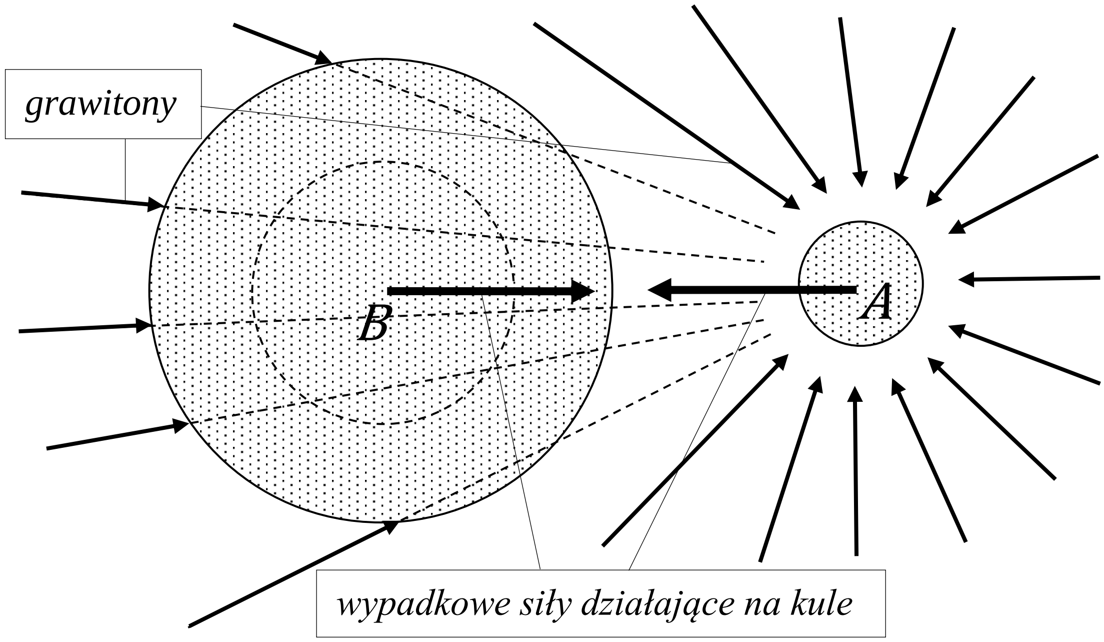
Kula A zaabsorbuje, w jednostce czasu, mniej grawitonów od strony kuli B niż z pozostałych kierunków przestrzeni, ponieważ część tych grawitonów zostanie zaabsorbowana przez kulę B. Pędy przekazane do kuli A przez absorbowane grawitony nie są zrównoważone. Do kuli A zostanie przekazany przez grawitony pewien niezerowy pęd zwrócony w stronę kuli B. Analogicznie również kuli B zostanie przekazany odpowiedni pęd, zwrócony w stronę A. Każda z kul B i A wyemituje pewną ilość grawitonów wirtualnych w stronę drugiej. Te grawitony nie oddziałują z drugą kulą, a więc nie przekazują do niej żadnego pędu. Również grawitony emitowane przez kulę A nie przekazują tej kuli żadnego pędu, ponieważ są przez nią emitowane równomiernie w każdym kierunku. Podobnie jest dla kuli B.



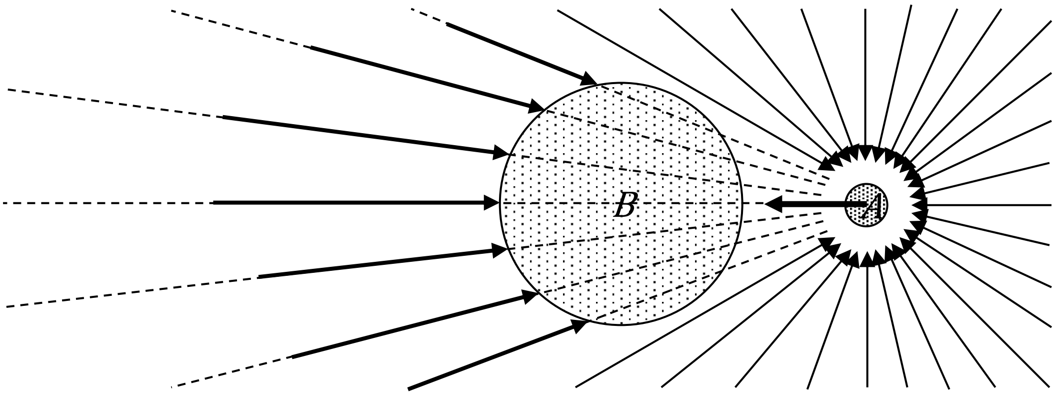
Wypadkowy pęd, przekazany do każdej kuli, jest zwrócony w stronę pozostałej. Na unieruchomioną kulę A działa siła zwrócona w stronę kuli B, na unieruchomioną kulę B działa siła zwrócona do A. Kule zachowują się tak, jak gdyby się przyciągały.

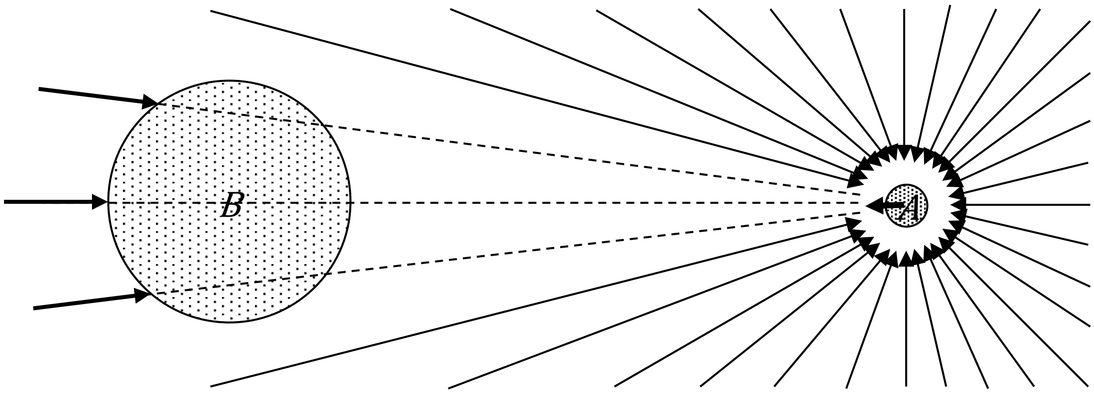


Jeżeli dwukrotnie zwiększymy masę kuli B bez zmiany odległości między tymi kulami, to kula A zaabsorbuje dwukrotnie mniej grawitonów od strony kuli B i będzie na nią działać dwa razy większa siła.



W miarę oddalania kuli B od kuli A ilość grawitonów, które mogłyby być zaabsorbowane przez kulę A ale są przechwycone przez kulę B, maleje. Jeżeli zwiększymy odległość między kulami, to siły działające na nie zmaleją. Jeżeli odległość kul wzrośnie dwa razy, to siły działające na kule zmaleją cztery razy.

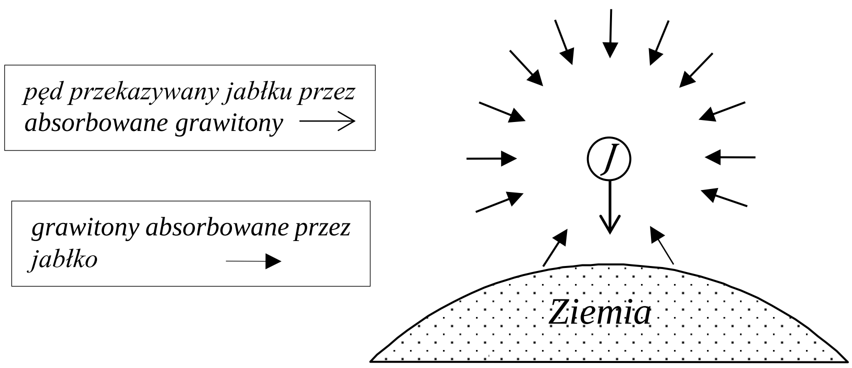




Przy odpowiednich założeniach można wykazać, że wartości tych sił, działających na kule, są niemal takie same jak w prawie powszechnej grawitacji Newtona.

Siły grawitacji, działające na dwie kule, nie są wynikiem wzajemnego przyciągania tych kul, lecz powstają ze względu na ich asymetryczne oddziaływanie z materią oraz przestrzenią całego Wszechświata, za pośrednictwem grawitonów. Każda kula absorbuje mniej grawitonów od strony środka drugiej kuli niż z pozostałych kierunków.

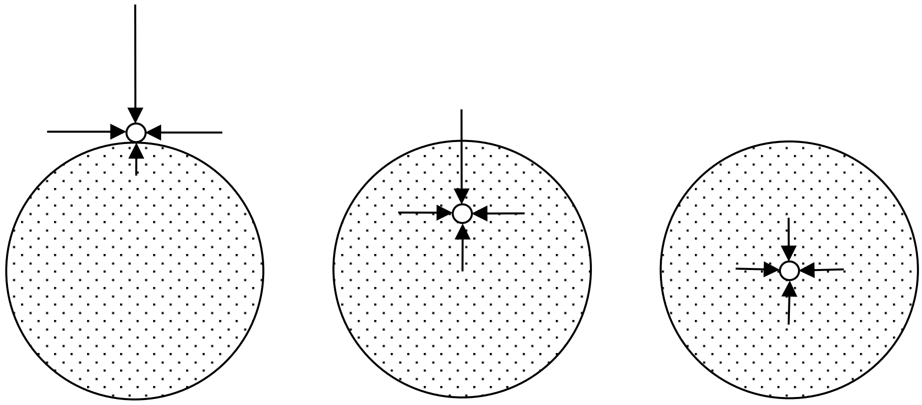
Dlaczego jabłko spada na Ziemię?



Na jabłko działa siła pochodząca z jego grawitacyjnego oddziaływania z materią i przestrzenią całego Wszechświata. Siła ta jest skierowana w stronę środka Ziemi. Od strony Ziemi z jabłkiem oddziałuje mniej grawitonów niż ze strony przeciwnej.

Jabłko spada na Ziemię dzięki asymetrycznej wymianie pędu i energii między cząstkami jabłka oraz cząstkami materii i przestrzeni, za pośrednictwem grawitonów.

Ciało umieszczone nad powierzchnią Ziemi absorbuje mniejszą ilość grawitonów od strony środka Ziemi niż od strony przeciwnej. Wobec tego działa na niego siła skierowana do środka Ziemi, malejąca w miarę jego oddalania od Ziemi.



Jeżeli ciało znajduje się wewnątrz kuli ziemskiej, to wypadkowa pędów grawitonów absorbowanych przez to ciało maleje, gdy jego odległość od środka Ziemi zmniejsza się, ponieważ wówczas różnice w ilości grawitonów absorbowanych przez ciało, z różnych kierunków, stają się coraz mniejsze. W miarę zbliżania ciała do środka Ziemi, siła działająca na niego maleje. Pędy grawitonów absorbowanych przez ciało, znajdujące się w środku Ziemi, równoważą się i na ciało nie działa żadna siła.

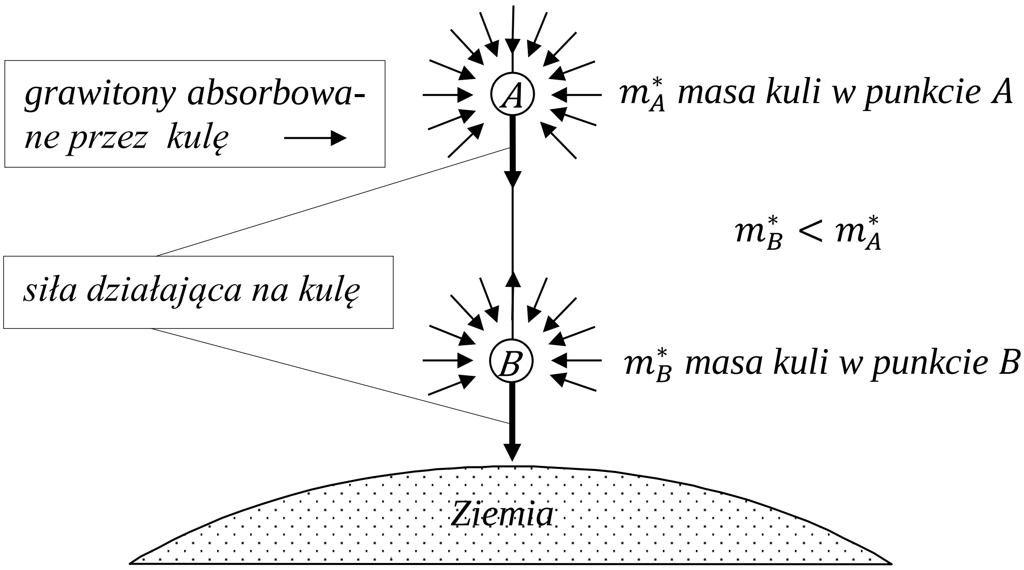
Jeżeli $|BA| > d_w$, to między materialnymi kulami A i B nie ma „przyciągania” grawitacyjnego. Każda z kul absorbuje grawitony emitowane przez drugą i w wyniku tej wymiany grawitonów działają na nie siły odpychania.

W rzeczywistości oddziaływanie grawitacyjne między ciałami jest bardziej skomplikowane. Należy uwzględnić wartość pędu oraz energii przekazywaną z jednej cząstki do drugiej przez grawiton, ilość grawitonów oddziałujących z cząstką w jednostce czasu i sposób oddziaływania cząstek za pośrednictwem grawitonu. Dokładniej zostało to przedstawione w części drugiej.

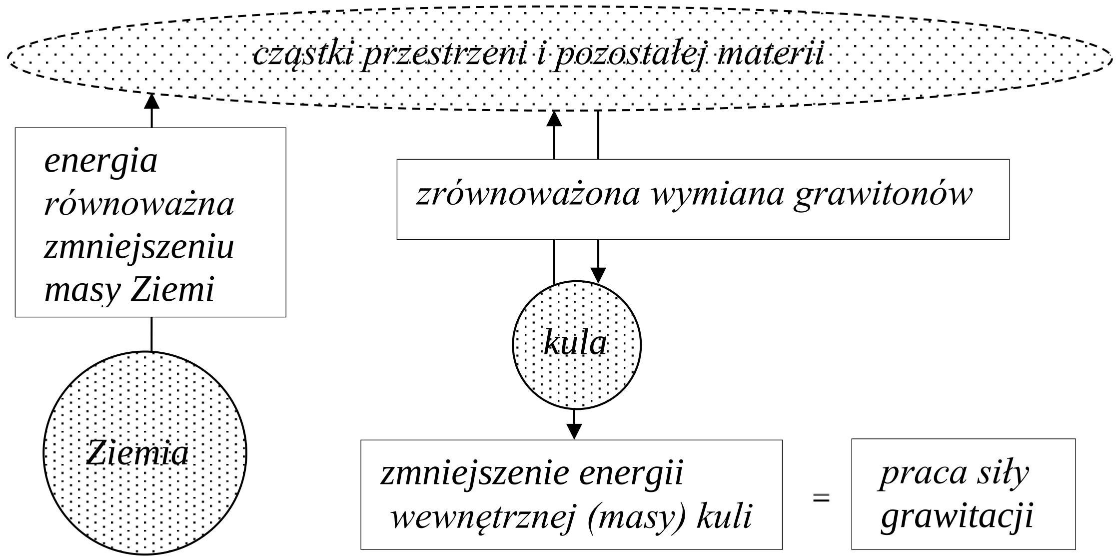
4. Zmiana energii ciała podczas jego przesunięcia w polu grawitacyjnym Ziemi

Umieśćmy w punkcie A, znajdującym się na pewnej wysokości nad powierzchnią Ziemi, materialną kulę. Przesuńmy tą kulę ruchem jednostajnym z punktu A do punktu B, położonego niżej. Na kulę działa siła „przyciągania" Ziemi i podczas przesunięcia kuli ta siła wykonuje pewną pracę. Mówimy, że ta praca jest wykonana kosztem zmniejszenia energii potencjalnej tej kuli. Na większej wysokości kula ma większą energię potencjalną, niż gdy znajduje się bliżej powierzchni Ziemi. Wielkość wykonanej pracy jest równa różnicy między energiami potencjalnymi tej kuli w punktach A i B. To jest opis tego przesunięcia, jaki możemy znaleźć w każdym podręczniku fizyki.

Z kulą znajdującą się nad powierzchnią Ziemi oddziałuje mniej grawitonów od strony środka Ziemi niż z innych kierunków. Wypadkowy pęd przekazany przez grawitony do kuli jest wektorem niezerowym skierowanym do środka Ziemi. Dlatego jeżeli kula jest nieruchoma lub porusza się ruchem jednostajnym, to działa na nią siła skierowana do środka Ziemi.

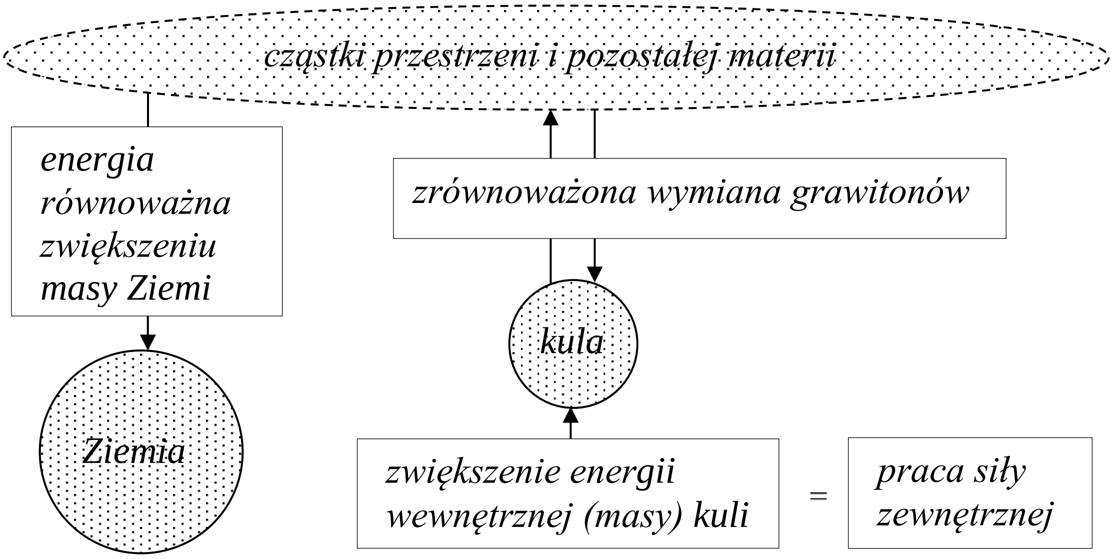


Podczas opadania kuli działa na nią siła wynikająca z przekazywania do niej pędu przez grawitony, przez nią absorbowane. Kula opada w dół „popychana" przez grawitony i energia tych grawitonów zamienia się na pracę, jaką wykonuje siła grawitacji. W punkcie A kula ma pewną masę i odpowiadającą jej energię wewnętrzną. W punkcie B, znajdującym się bliżej Ziemi, z kulą oddziałuje mniej grawitonów niż w punkcie A. Zatem w punkcie B jej masa i odpowiednia energia wewnętrzna są mniejsze niż w punkcie A. Podczas przesunięcia kula zmniejsza swoją energię wewnętrzną, ponieważ część energii absorbowanych przez nią grawitonów jest przekształcona na pracę siły grawitacji. Równocześnie kula przechodzi przez punkty, w których powinna emitować mniej grawitonów. Podczas przesunięcia w każdym punkcie jest zachowana równowaga między ilością grawitonów absorbowanych i emitowanych przez kulę. W sumie kula nie przekazała energii do przestrzeni i pozostałej materii, ani nie pobrała energii z przestrzeni i pozostałej materii. Końcowym efektem tych przekazów energii jest zmniejszenie energii wewnętrznej kuli, równe liczbowo pracy wykonanej przez siłę grawitacji. Część masy kuli, równoważna zmniejszeniu jej energii potencjalnej, została zamieniona na pracę. Energia potencjalna jest częścią energii wewnętrznej kuli. Ta zamiana jest możliwa dzięki nieustannej wymianie energii między cząstkami kuli oraz cząstkami przestrzeni i pozostałej materii. Masa kuli podczas przesunięcia zmniejsza się o pewną wartość. O taką samą wartość zmniejsza się masa Ziemi, ponieważ podczas przesunięcia kuli, z punktu A do punktu B, zmniejsza się ilość grawitonów oddziałujących z Ziemią. Jeżeli Ziemia absorbuje mniej grawitonów, to musi się pozbyć części energii wewnętrznej poprzez emisję grawitonów tak, aby równowaga między ilością grawitonów absorbowanych i emitowanych została zachowana. W ten sposób część energii wewnętrznej Ziemi, odpowiadającej zmianie jej masy, została przekazana do przestrzeni i pozostałej materii bez wykonywania pracy. Układ - Ziemia oraz przestrzeń i pozostała materia nie zmienił swojej energii, tylko część energii wewnętrznej Ziemi została przekazana do przestrzeni i pozostałej materii. Wielkość pracy wykonanej przez siłę grawitacji, działającą na opadającą kulę, jest równa zmianie energii wewnętrznej układu - kula, Ziemia oraz przestrzeń i pozostała materia. Zmiana energii potencjalnej kuli jest równa zmianie energii wewnętrznej kuli. Ten przykład opadającej kuli pozwala zrozumieć, jak część masy ciała może zamienić się na pracę. Ciało może również zmniejszyć swoją masę poprzez przekazanie części swojej energii wewnętrznej do przestrzeni i pozostałej materii, bez wykonywania pracy.



Przemiany energii podczas przesunięcia kuli z punktu A do B. Na rysunku nie zaznaczono zrównoważonej wymiany grawitonów między Ziemią oraz przestrzenią i pozostałą materią.

Przesunięcie kuli ruchem jednostajnym z punktu B do punktu A jest możliwe, gdy na kulę działa zewnętrzna siła równoważąca siłę grawitacji. Podczas tego przesunięcia zewnętrzna siła wykonuje pewną pracę. Kula przechodzi przez punkty, w których absorbuje coraz więcej grawitonów i w ten sposób powiększa swoją energię wewnętrzną. W czasie tego przesunięcia ilość grawitonów absorbowanych jest równa ilości grawitonów emitowanych. Praca siły zewnętrznej powiększyła energię wewnętrzną (masę) kuli. Również Ziemia absorbuje więcej grawitonów i w ten sposób powiększa swoją masę, pobierając pewną ilość energii z przestrzeni i pozostałej materii.

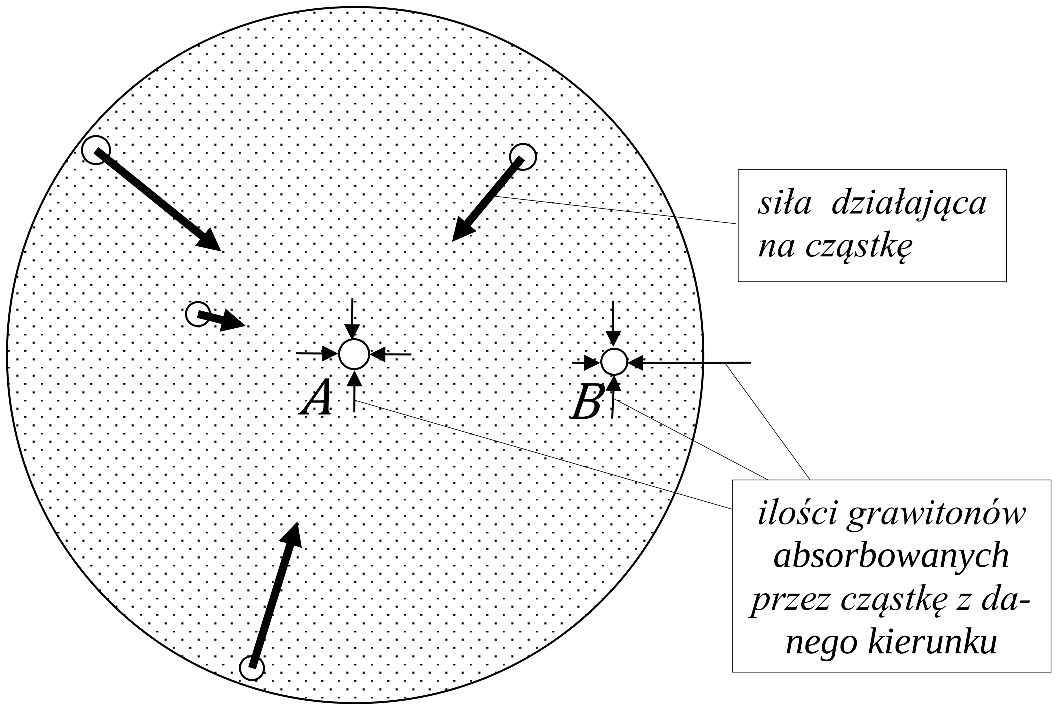


Przemiany energii podczas przesunięcia kuli z punktu B do A.
Na rysunku nie zaznaczono zrównoważonej wymiany grawitonów między Ziemią oraz przestrzenią i pozostałą materią.

Jeżeli kula opada swobodnie z punktu *A* do *B*, to energia przekazywana przez absorbowane grawitony przekształca się na jej energię kinetyczną. Pęd i zarazem prędkość kuli rosną, dzięki pędowi przekazywanemu do niej przez grawitony z nią oddziałujące. Energia wewnętrzna kuli maleje, ale wzrasta jej energia kinetyczna i całkowita energia kuli pozostaje stała. W każdym punkcie jest zachowana równowaga między ilością grawitonów absorbowanych i emitowanych przez kulę. Energia kinetyczna kuli jest częścią jej energii całkowitej. Zamiana energii potencjalnej kuli na jej energię kinetyczną jest możliwa dzięki wymianie energii między cząsteczkami materii oraz przestrzeni.

Jeżeli kula porusza się swobodnie z punktu *B* do *A*, to jej całkowita energia jest również stała. Grawitony absorbowane przez nią zmniejszają jej pęd i zarazem prędkość, ale kula zwiększa odległość od Ziemi. Wzrasta jej energia wewnętrzna, ale odpowiednio maleje jej energia kinetyczna. Energia kinetyczna kuli zostaje przekształcona na jej energię potencjalną a więc energia wewnętrzna kuli została powiększona o energię kinetyczną kuli.

5. Oddziaływanie grawitacyjne na cząstki materialnej kuli

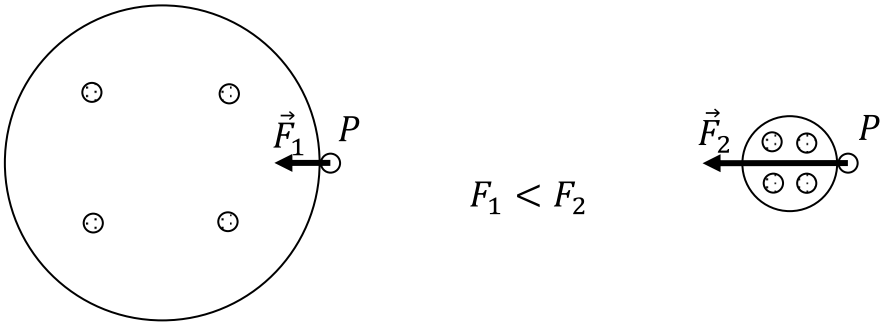


Grawitony absorbowane przez cząstki materialnej kuli przekazują tym cząstkom pewien wypadkowy pęd, przez co działa na te cząstki odpowiednia siła. Na cząstkę *A*, znajdującą się w środku kuli, działa wypadkowy pęd równy zero. Na cząstki, znajdujące się w pewnej odległości od środka kuli, działa siła skierowana do środka kuli, ponieważ od strony środka cząstka absorbuje mniej grawitonów niż ze strony przeciwnej. Do cząstki *B* dochodzi mniej grawitonów od strony środka kuli, ponieważ w tym kierunku ilość materii kuli jest większa niż ze strony przeciwnej. Grubsza warstwie materii absorbuje więcej grawitonów, które poruszają się w stronę cząstki *B*, niż tych, które poruszają się ze strony przeciwnej. Wypadkowy pęd przekazany cząstce *B*, przez grawitony z nią oddziałujące, jest wektorem skierowanym do środka kuli. Przy dostatecznie dużej masie kuli siły oddziaływania grawitacyjnego utrzymują ją w całości nawet, jeśli jest utworzona z cząstek gazu.

Siły oddziaływania grawitacyjnego cząstek materii z cząstkami przestrzeni i pozostałej materii utrzymują w całości gwiazdy, pomimo wielkiego ciśnienia wewnętrznego spowodowanego wysoką temperaturą wnętrza gwiazdy. Ciśnienie wewnętrzne jest równoważone przez ciśnienie wytworzone przez siły oddziaływania grawitacyjnego.

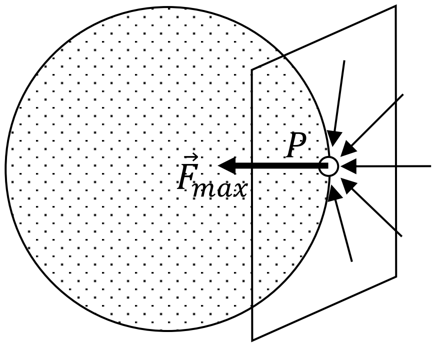
Weźmy ciało *P* znajdujące się na powierzchni materialnej kuli *K*, mającej bardzo dużą, ustaloną masę. Jeżeli promień kuli *K* jest bardzo duży (gęstość materii kuli jest mała), to jej cząstki znajdują się średnio w bardzo dużej odległości od ciała *P* i absorbują niewiele grawitonów poruszających się w stronę ciała *P* od strony kuli. Na ciało *P* działa stosunkowo mała siła.

Jeżeli promień kuli *K* jest bardzo mały (gęstość materii kuli jest bardzo duża), to jej cząstki znajdują się średnio w bardzo małej odległości od ciała *P* i absorbują więcej grawitonów, poruszających się w stronę ciała P, od strony środka kuli. W tym przypadku siła grawitacji, działająca na ciało P, jest bardzo duża.



Takie bardzo duże siły działają na ciało znajdujące się na powierzchni gwiazdy neutronowej, której materia ma bardzo dużą gęstość.

Nigdy jednak te siły nie są nieskończone.

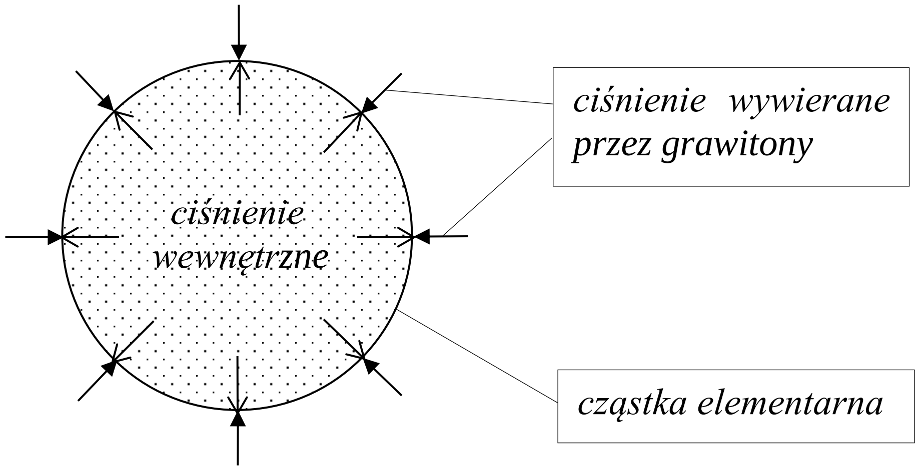


Gdyby ciało absorbowało grawitony tylko z jednej strony, wówczas działałaby na nie ogromna (możliwie największa) siła, ale skończona i ograniczona. Grawitony poruszające się w stronę ciała *P* z drugiej strony są absorbowane przez kulę.

Siła grawitacji działająca na jednostkę masy ciała nie może zmierzać do nieskończoności. Istnieje graniczna nieprzekraczalna wartość tej siły, niezależnie od warunków, w jakich znajduje się ciało.

Maksymalny pęd przekazany przez grawitony do ustalonej cząstki, w jednostce czasu, jest zawsze skończony i ograniczony z góry.

Siła, z jaką Ziemia „przyciąga” człowieka znajdującego się na powierzchni Ziemi, jest wynikiem niewielkiej różnicy między pędami przekazanymi do cząstek jego ciała przez grawitony od strony atmosfery i od strony powierzchni Ziemi. Siła ta jest stosunkowo niewielka, biorąc pod uwagę rozmiary Ziemi, dlatego uważa się, że siła grawitacji jest bardzo słabą siłą. W rzeczywistości na cząstki ciała człowieka działają bardzo duże siły oddziaływania grawitacyjnego, które są niemal zrównoważone i dlatego nie odczuwamy zbyt mocno ich oddziaływania, tak jak nie odczuwamy ciśnienia atmosferycznego działającego na nasze ciało, ponieważ jest zrównoważone przez ciśnienie wewnętrzne.



Analogiczne ciśnienie, jak wywierane na gwiazdę przez grawitony, działa na cząstkę elementarną. Grawitony emitowane z powierzchni cząstki elementarnej wywierają dodatkowe ciśnienie na tą cząstkę, równe ciśnieniu wywieranemu przez grawitony absorbowane.

Dzięki temu ciśnieniu, wynikającemu z oddziaływania powierzchni elementarnej cząstki materii z cząstkami przestrzeni i pozostałej materii, za pośrednictwem grawitonów, cząstka nie ulega rozpadowi. Ciśnienie grawitacyjne utrzymuje cząstkę w całości, przeciwstawiając się jej wewnętrznemu ciśnieniu.

Ciśnienie wewnętrzne cząstek nie pozwala na ich zgniecenie, do objętości równej zero, przez siły grawitacyjnego oddziaływania między materią kuli i cząstkami przestrzeni i pozostałej materii. Dlatego nawet bardzo masywne gwiazdy nie mogą być zgniecione do zerowej objętości. Z tego względu jest wątpliwe istnienie czarnych dziur. Przeświadczenie o istnieniu czarnych dziur, w Ogólnej Teorii Względności, wynika z możliwości, w tej teorii, że siła grawitacji może przyjmować dowolnie dużą a nawet nieskończoną wartość. W przedstawionej teorii oddziaływania grawitacyjnego taka możliwość nie istnieje.

Nigdy nie zostało udowodnione istnienie czarnych dziur. Obiekty o bardzo dużej gęstości mogą zachowywać się jak czarne dziury, ale nimi nie są.

Każda cząstka elementarna, znajdująca się w określonym miejscu, ma pewien poziom energii wewnętrznej, określony przez ilość grawitonów przez nią absorbowanych. Jeżeli cząstka elementarna ma zbyt dużą energię wewnętrzną, to ciśnienie wywierane przez grawitony na cząstkę jest za małe i cząstka zmniejsza swoją energię wewnętrzną przez chwilowo zwiększoną emisję grawitonów. Gdy energia wewnętrzna jest zbyt mała wówczas cząstka absorbuje grawitony, zmniejsza chwilowo emisję grawitonów i powiększa swoją energię.

Cząstki nieustannie absorbują grawitony zwiększające ich energię wewnętrzną, wobec tego muszą emitować grawitony dla jej zmniejszenia. Gdyby cząstka elementarna tylko absorbowała grawitony, wówczas jej energia wewnętrzna wzrosła by tak bardzo, że cząstka uległa by destrukcji. Emisja energii przy pomocy grawitonów zapewnia stabilne istnienie cząstek elementarnych. W ten sposób funkcjonuje prosty mechanizm stałej wymiany energii i pędu między elementarnymi cząstkami materii i przestrzeni.

Niektóre cząstki elementarne są nietrwałe, ulegają rozpadowi na inne lub emitują energię. Jeżeli ciśnienie grawitacyjne jest znacznie mniejsze od ciśnienia wewnętrznego, wówczas cząstka musi ulec rozpadowi na takie cząstki, dla których ciśnienie wewnętrzne jest zrównoważone przez ciśnienie grawitacyjne. Część energii może być uwolniona w postaci promieniowania. Oddziaływanie grawitacyjne, być może, określa wartości możliwych mas cząstek elementarnych.

Dzięki oddziaływaniu grawitacyjnemu istnieją gwiazdy jak również cząstki elementarne.

Materia przeciętnej gwiazdy czy planety jest prawie przeźroczysta dla grawitonów, tzn. grawitony są bardzo słabo absorbowane przez materię tych obiektów.

6. Oddziaływanie materii na cząstki przestrzeni

W OTW stwierdza się, że materia zakrzywia czasoprzestrzeń. Oznacza to po prostu, że dla ustalonego obserwatora jednakowe zegary mogą tykać w różnym tempie i jednostka długości może być inna w różnych miejscach przestrzeni. Podane są dokładne wzory określające to zakrzywienie.

Jeżeli czasoprzestrzeń tak jak i materia jest obiektem fizycznym, to skąd czasoprzestrzeń „wie", że ma się zakrzywić w obecności materii i w jakim stopniu? Tego się nie wyjaśnia, tylko się stwierdza, że taka jest geometria czasoprzestrzeni. Jeżeli czasoprzestrzeń jest tworem matematycznym, to co powoduje spowolnienie zegara blisko dużej masy?

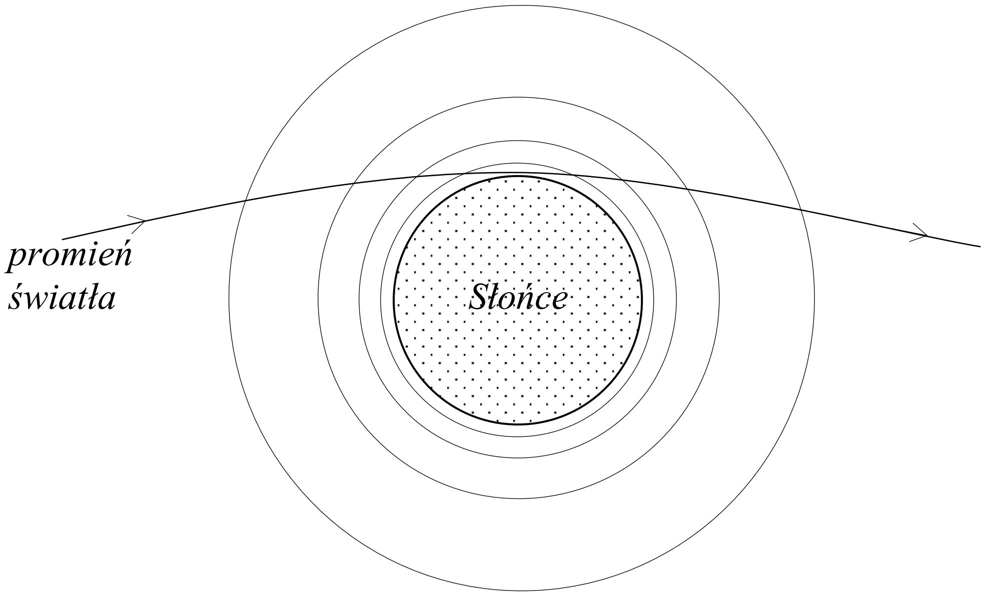
W tej teorii przestrzeń i materia są na równi tworami fizycznymi. Przestrzeń utworzona z elementarnych cząstek, analogicznie jak gaz, ma określoną gęstość. Cząstki przestrzeni poruszają się z pewnymi prędkościami i wzajemne, bezpośrednie oddziaływanie tych cząstek wytwarza w przestrzeni pewne ciśnienie. Materialna kula jest otoczona cząstkami przestrzeni, które są „przyciągane" przez cząstki materii kuli tak samo jak cząstki materii. Cząstki przestrzeni, znajdujące się bliżej kuli, są „przyciągane" silniej, niż te, które są dalej. Powoduje to zmianę gęstości cząstek przestrzeni otaczających kulę, w zależności od ich odległości od kuli. Blisko powierzchni kuli gęstość cząstek przestrzeni jest większa niż dalej od jej powierzchni. Zwiększenie gęstości powoduje wzrost ciśnienia wytworzonego przez cząstki przestrzeni.

Ten rozkład gęstości przestrzeni jest podobny do rozkładu gęstości cząstek atmosfery otaczającej Ziemię. Ziemia „przyciąga" cząstki atmosfery i dlatego w pobliżu jej powierzchni gromadzi się więcej tych cząstek.

Zmiana gęstości cząstek przestrzeni w pobliżu powierzchni Słońca powoduje, że planety są „przyciągane" silniej, niż wynika to z wielkości masy materii Słońca. Dodatkowa siła pochodzi od kuli cząstek przestrzeni o zwiększonej gęstości otaczającej Słońce. Dla Słońca ten efekt jest znikomy, ale w przypadku obiektów o bardzo dużej masie może być znaczny.

Oddziaływanie grawitacyjne zmienia przestrzeń. W różnych miejscach przestrzeni może być inna jej gęstość i inne ciśnienie, wywołane wzajemnym oddziaływaniem cząstek przestrzeni oraz cząstek materii. Równocześnie ze zmianą własności przestrzeni zmienia się tempo upływu czasu, zmieniają się odległości punktów i zmienia się prędkość światła w danym miejscu. Te zmiany może zaobserwować obserwator O', znajdujący się w ustalonym miejscu przestrzeni, porównując wielkości zmierzone przez obserwatora O, w danym miejscu, z odpowiednimi wielkościami, jakie są w danym miejscu według niego. Natomiast obserwator, który mierzy prędkość światła w różnych miejscach przestrzeni i znajduje się blisko miejsca pomiaru otrzyma zawsze taką samą wartość prędkości światła.

Nośnikiem dźwięku są cząstki materii, tzn. bez cząstek materii dźwięk nie może się rozchodzić (nie istnieje). Światło może rozchodzić się w próżni. Powietrze nie jest nośnikiem światła, ale w zależności od jego gęstości zmienia się prędkość światła, rozchodzącego się w powietrzu. Przestrzeń, tak jak i materia, nie jest nośnikiem światła. Oddziaływanie cząstek przestrzeni, analogicznie jak oddziaływanie cząstek powietrza, z fotonami (cząstkami światła) może zmienić ich prędkość. Nie należy utożsamiać przestrzeni, składającej się z elementarnych cząstek, z tzn. „eterem”, który miał być nośnikiem światła.



Jak wiadomo z obserwacji astronomicznych, światło przebiegające blisko Słońca nie porusza się po prostej, ale ulega pewnemu odchyleniu. W OTW odchylenie występuje ze względu na zakrzywienie czasoprzestrzeni. W tej teorii zmiana prędkości światła, związana ze zmianą gęstości przestrzeni, daje taką samą wartość odchylenia promienia światła przechodzącego blisko Słońca jak w OTW.

7. Ruch cząstki elementarnej i oddziaływanie grawitacyjne

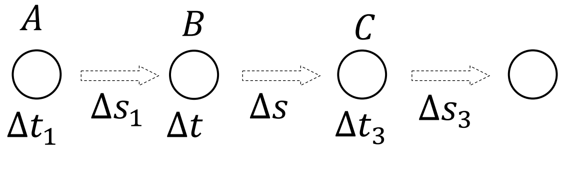
Weźmy prostokątny układ współrzędnych $OXYZ$ z obserwatorem znajdującym się w punkcie O. Jeżeli w pewnym przedziale czasowym dla każdej elementarnej cząstki materii, znajdującej się w spoczynku w tym układzie, pęd przekazywany przez grawitony z nią oddziałujące jest wektorem zerowym i odpowiednio energia przekazywana przez te grawitony jest równa zero, to układ $OXYZ$ jest układem inercjalnym w danym przedziale czasu. W rzeczywistości fizycznej układy mogą być jedynie lokalnie inercjalne, w pewnym otoczeniu obserwatora O.

Do pewnego czasu ruch elementarnej cząstki wyobrażałem sobie, jako płynne, stopniowe przemieszczanie się cząstki z jednego położenia do drugiego. Coś takiego jak oglądany swobodny ruch piłki. Gdyby elementarna cząstka poruszała się w ten sposób w układzie inercjalnym, wówczas, jak można obliczyć, byłaby hamowana w wyniku jej oddziaływania z grawitonami. Tego w rzeczywistości nie obserwujemy. W układzie inercjalnym cząstka porusza się ruchem jednostajnym. Dlatego powinniśmy zmodyfikować sposób, w jaki poruszają się cząstki elementarne.

Cząstki elementarne tworzące poruszające się większe ciało wykonują chaotyczne ruchy. Powoduje to, że ruch pojedynczej cząstki nie jest płynny, ale chaotyczny, chociaż obserwujemy, że całe ciało porusza się płynnie z jednego miejsca do drugiego. W tym opisie ruchu cząstki elementarnej nie ma nic dziwnego.

Może jednak pojedyncza, odizolowana od innych, elementarna cząstka porusza się płynnie? Po namyśle musimy jednak przyznać, że z punktu widzenia fizyki kwantowej taki ruch byłby bardziej dziwny niż ten, który opisuję poniżej.

We Wszechświecie istnieje jeden wyróżniony układ odniesienia UW, w którym ruch cząstki elementarnej ma szczególny charakter. W niektórych miejscach przestrzeni układ UW może być układem lokalnie inercjalnym, dla obserwatora O, w innych nie.



Ruch elementarnej cząstki materii, w układzie UW, nie jest ciągły, ale odbywa się w sposób skokowy. Cząstka w czasie Δt_1 spoczywa w określonym miejscu A przestrzeni a następnie momentalnie, w chwili t_1, przenosi się w inne miejsce B. Znika w miejscu A i pojawia się w miejscu B. Pozostaje w spoczynku w punkcie B, w czasie Δt, a następnie przenosi się momentalnie do miejsca C, na odległość Δs i tak dalej.

Elementarna cząstka materii oraz przestrzeni podczas spoczynku w układzie UW posiada, między innymi, dwie ważne cechy: energię kinetyczną i pęd.

Energia kinetyczna określa odstęp czasu między skokami, natomiast pęd długość i kierunek skoku. Zwrot wektora przesunięcia $\Delta\vec{s} = \overrightarrow{BC}$ jest zgodny ze zwrotem wektora pędu cząstki przed wykonaniem skoku.

W tym wyróżnionym układzie odniesienia UW, po wykonaniu skoku cząstka pozostaje w spoczynku, w czasie Δt, w zależności od energii kinetycznej E_k z jaką porusza się w tym układzie. Czas spoczynku Δt jest odwrotnie proporcjonalny do energii kinetycznej cząstki i jest równocześnie odstępem czasu między kolejnymi skokami.

Odległości na które jest wykonywany skok $|AB| = \Delta s_1$, $|BC| = \Delta s$, … są odwrotnie proporcjonalne do pędu cząstki w tym układzie.

Przez prędkość cząstki (w zwykłym znaczeniu tego pojęcia), w układzie UW, rozumiem wielkość $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$. Należy jednak zdawać sobie sprawę, że cząstka, w układzie UW, cały czas pozostaje w spoczynku, niezależnie od jej prędkości v, wykonując jedynie momentalne skoki z jednego punktu do drugiego.

Cząstka absorbuje i emituje grawitony tylko w czasie spoczynku. Podczas skoku z jednego miejsca do drugiego cząstka nie oddziałuje z grawitonami i jej położenie jest nieokreślone.

Każde dwie cząstki, w układzie UW, mogą poruszać się z różnymi prędkościami i przyspieszeniami, ale podczas ich spoczynku nie zmieniają swojego położenia w tym układzie.

Częstotliwość tego ruchu, czyli ilość skoków n jakie wykonuje cząstka, w jednostce czasu, jest wprost proporcjonalna do jej energii kinetycznej.

Jeżeli w wyniku oddziaływania cząstki z grawitonami lub z innych przyczyn zmieni się jej pęd i energia kinetyczna (podczas jej spoczynku w układzie UW), to odpowiednio zmieni się czas między jednym a drugim skokiem, długość i wektor jej skoku.

Elementarne cząstki materii oraz przestrzeni poruszają się skokowo z jednego punktu przestrzeni do drugiego i oddziałują z innymi cząstkami grawitacyjnie lub elektromagnetycznie tylko podczas spoczynku w układzie UW.

Na ruch elementarnej cząstki należy spojrzeć w nowy sposób. Dotychczas przyjmowałem, że cząstka ma pewną energię kinetyczną i pewien pęd, ponieważ się porusza. W rzeczywistości jest odwrotnie: cząstka się porusza, ponieważ ma pewną energię kinetyczną i pewien pęd. Zmiana energii kinetycznej oraz pędu cząstki, w wyniku jej oddziaływania z grawitonami lub z innych przyczyn, jest możliwa tylko w czasie jej spoczynku w wyróżnionym układzie UW.

Oddziaływanie grawitacyjne między cząstkami materii i przestrzeni zachodzi tylko podczas ich spoczynku w układzie UW. Każdy grawiton oddziałujący z elementarną cząstkę ma wobec niej prędkość c. Dlatego pęd i energia przekazane do cząstek Q i P, w wyniku absorpcji przez cząstkę P grawitonu wyemitowanego przez cząstkę Q, nie zależą od tego czy cząstki pozostają w spoczynku czy poruszają się z pewnymi prędkościami; zależą tylko od odległości między tymi cząstkami, w chwili przekazywania tego pędu i tej energii.

W ustalonym układzie odniesienia pęd i energia przekazywane do cząstki Q, w wyniku oddziaływania tej cząstki z elementarnymi cząstkami Wszechświata za pośrednictwem grawitonów, nie zależą od tego czy cząstka Q pozostaje w spoczynku czy porusza się z pewną prędkością.

W układzie UW, lokalnie inercjalnym, z każdego kierunku z cząstką oddziałuje taką samą ilość grawitonów i wypadkowy pęd przekazywany do cząstki jest wektorem zerowym. Cząstka absorbuje i emituje taką samą ilość grawitonów, w jednostce czasu, niezależnie od prędkości v jej ruchu, ponieważ podczas oddziaływania z grawitonami pozostaje w spoczynku.

Dlatego w układzie UW, lokalnie inercjalnym, taka cząstka nie jest hamowana, podczas swojego jednostajnego ruchu, w wyniku oddziaływania z grawitonami.

W układzie inercjalnym cząstka nie może zmienić swojego pędu i swojej energii tylko w wyniku oddziaływania z grawitonami. Zmiana pędu i energii cząstki, w układzie inercjalnym, może nastąpić tylko w wyniku działania innych przyczyn, niż oddziaływanie z grawitonami.

Weźmy układ odniesienia $O_1X_1Y_1Z_1$ poruszający się ruchem jednostajnym z prędkością $\vec{w}$ względem UW, lokalnie inercjalnego. Jeżeli cząstka porusza się ruchem jednostajnym w układzie UW, to również porusza się ruchem jednostajnym w układzie $O_1X_1Y_1Z_1$, zatem nie jest hamowana w tym układzie. Ruch elementarnej cząstki w tym układzie jest również serią skoków, ale między jednym a drugim skokiem cząstka nie spoczywa w tym układzie, lecz w układzie UW. Dla obserwatora O_1 związanego z układem $O_1X_1Y_1Z_1$ długości skoków oraz czasy spoczynku między skokami, mogą być inne niż w UW, ale są zgodnie ze Szczególną Teorią Względności. Istotne są pęd i energia kinetyczna cząstki w układzie UW. Zmiany pędu i energii kinetycznej cząstki w układzie $O_1X_1Y_1Z_1$ są odpowiednio równe zmianie pędu i energii kinetycznej tej cząstki, w układzie UW. Ruch cząstki elementarnej w układzie $O_1X_1Y_1Z_1$ wygląda bardziej skomplikowanie, co zostało pokazane w części drugiej. Ruch cząstki w tym układzie przypomina złożenie ruchu postępowego i ruchu drgającego. Cząstka spoczywająca w układzie $O_1X_1Y_1Z_1$ w rzeczywistości wykonuje rodzaj ruchu drgającego względem pewnego punktu spoczywającego w tym układzie. W układzie $O_1X_1Y_1Z_1$ poruszającym się względem układu UW cząstka nigdy nie pozostaje w spoczynku.

Obserwator spoczywający w układzie odniesienia, związanym z gwiazdami i znajdujący się w dużej odległości od ciał materialnych, znajduje się w przybliżeniu w układzie inercjalnym. Ten układ porusza się ruchem jednostajnym względem układu UW.

Każdy obserwator związany z poruszającą się cząstką, niezależnie od prędkości tej cząstki, widzi otoczenie w taki sam sposób i oddziaływanie z grawitonami przebiega identyczne w każdym miejscu i w każdej chwili. Stąd wniosek:

masa grawitacyjna cząstki nie zależy od jej prędkości. Jest to zgodne z takim samym stwierdzeniem w punkcie 2 części pierwszej.

Jeżeli obserwator związany z cząstką zmierzy prędkość fotonu poruszającego się blisko cząstki, w czasie jej spoczynku w układzie UW, to dla każdej takiej cząstki prędkość tego fotonu jest taka sama i równa c, niezależnie od prędkości tej cząstki względem układu UW.

Ruch elementarnej cząstki materii wydaje się ciągły, ponieważ odległość, na jaką jest wykonywany skok jest bardzo mała i odstęp czasu między kolejnymi skokami jest bardzo krótki.

Jeżeli elektron porusza się z prędkością $10\ \frac{m}{s}$, w układzie UW, to w ciągu sekundy wykonuje około 140000 skoków, każdy na odległość około $\frac{7}{1000}\ cm$. Dla prędkości $1000\ \frac{m}{s}$ wykonuje około 1400000000 skoków w ciągu sekundy, każdy w przybliżeniu na odległość $\frac{7}{100000}\ cm$. (Na podstawie wzorów określonych w części drugiej.)

Dla elementarnej cząstki o masie 1000 razy większej niż masa elektronu ilość skoków w ciągu sekundy jest 1000 razy większa a długość skoku 1000 razy mniejsza, w porównaniu z odpowiednimi wartościami dla elektronu.

Wprowadzony sposób ruchu cząstek elementarnych będzie może mniej dziwny, jeżeli zauważymy, że cząstka w swoim ruchu wykazuje własności falowe. Istnienie fali związanej z ruchem materialnej cząstki jest potwierdzone doświadczalnie.

Ponieważ w małych odstępach czasu w przypadkowy sposób może zmieniać się pęd cząstki, ze względu na losowe oddziaływanie z grawitonami, wobec tego położenie cząstki nie jest dokładnie określone, przy czym w mniejszych odstępach czasu nieokreśloność położenia jest większa. Podobnie, w krótkich odstępach czasu, energia cząstki nie jest dokładnie określona. W mniejszych odstępach czasu nieokreśloność energii cząstki jest większa.

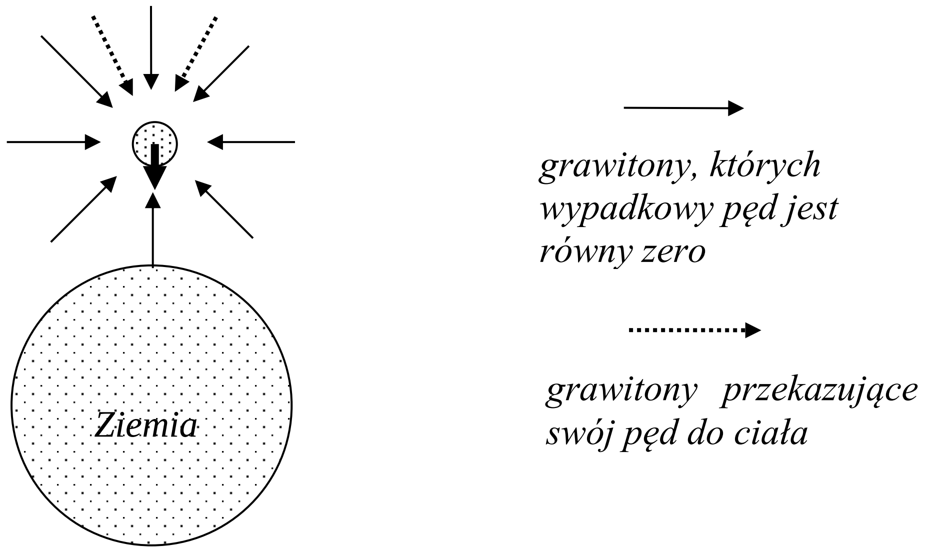
Cząstki elementarne, wchodzące w skład cząstek złożonych, poruszają się skokowo, ale ze względu na wzajemne oddziaływanie (elektromagnetyczne, jądrowe) poruszają się średnio, w większych odstępach czasu, z jednakową prędkością. W bardzo małych odstępach czasu cząstki elementarne, w cząstce złożonej, poruszają się względem siebie ze stale zmieniającymi się prędkościami. Spoczynek cząstek elementarnych tworzących cząstkę złożoną jest niemożliwy.

Grawiton, poruszający się z prędkością c, wyemitowany przez cząstkę Q i zaabsorbowany przez cząstkę P wykonuje tylko jeden skok na odległość $|QP|$, przekazując z jednej cząstki do drugiej pewien pęd oraz energię.

Jeżeli chcemy pogodzić ruch i grawitację, to powinniśmy zaakceptować skokowy ruch cząstki elementarnej.

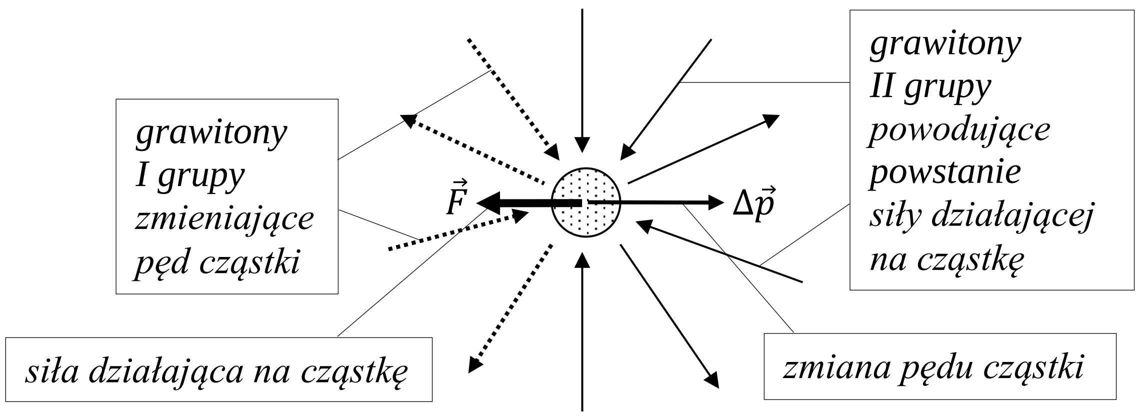
8. Bezwładność ciał

Ciało znajdujące się nad powierzchnią Ziemi absorbuje mniej grawitonów od strony środka Ziemi. Jeżeli jest unieruchomione, to działa na niego siła skierowana do środka Ziemi i nie zmienia się jego pęd. Jeżeli jest swobodne, to spada na Ziemię powiększając swoją prędkość i równocześnie pęd. Zmiana pędu ciała jest wynikiem przekazywania pędu przez grawitony absorbowane lub emitowane przez to ciało. Część grawitonów oddziałujących z ciałem przekazuje swój pęd do tego ciała, nie działając na nie żadną siłą. Pozostałe grawitony równoważą swoje pędy i nie wpływają na jego ruch.



Zmiana pędu spadającego ciała jest równa pędowi przekazanemu do tego ciała przez grawitony z nim oddziałujące. Możemy to uogólnić formułując następującą ogólną zasadę.

Każda zmiana pędu elementarnej cząstki materii lub przestrzeni jest możliwa tylko wtedy, gdy cząstka zaabsorbuje lub wyemituje odpowiednią ilość grawitonów, których suma pędów jest równa zmianie pędu tej cząstki. Grawitony oddziałujące z cząstką możemy podzielić na dwie grupy. Pierwszą grupę stanowią grawitony potrzebne do zmiany pędu cząstki. Drugą grupę stanowią pozostałe grawitony oddziałujące z cząstką. Grawitony pierwszej grupy zmieniają pęd cząstki, ale nie działają na nią żadną siłą. Grawitony drugiej grupy określają siłę działającą na cząstkę.

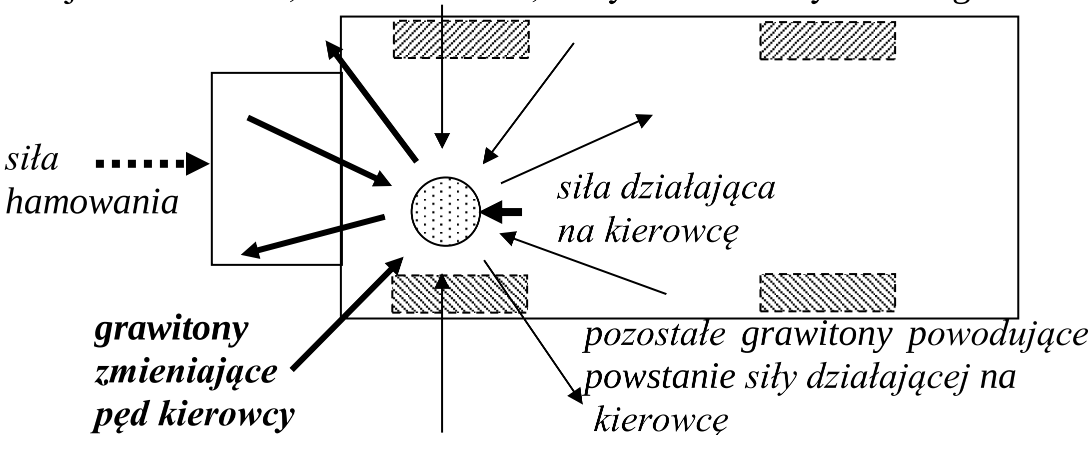


Zmiana energii wewnętrznej atomu może nastąpić wówczas, gdy atom wyemituje lub zaabsorbuje foton, dlatego nie powinno być dziwne, że zmiana pędu cząstki elementarnej wymaga absorpcji lub emisji grawitonu.

Wydaje się, że zmiana pędu cząstki elementarnej nie jest skokowa, ale płynna tylko dlatego, że z cząstką w czasie jednej sekundy oddziałuje ogromna ilość grawitonów.

Zmiana pędu ciała jest równa sumie zmian pędów cząstek tworzących to ciało. Ciało może zmienić swój pęd tylko wtedy, jeżeli zaabsorbuje lub wyemituje odpowiednią ilość grawitonów taką, że suma ich pędów jest równa zmianie pędu tego ciała. Jeżeli pędy grawitonów pierwszej grupy są zrównoważone, to ciało nie zmienia pędu, ale może na nie działać siła, gdy pędy grawitonów drugiej grupy nie równoważą się (ciało spoczywające na powierzchni Ziemi). Jeżeli pędy grawitonów drugiej grupy równoważą się, to na ciało nie działa siła, ale może zmieniać się jego pęd, gdy pędy grawitonów pierwszej grupy nie są zrównoważone (ciało spada swobodnie na Ziemię). Możliwa jest również sytuacja, w której pędy obydwu grup grawitonów nie równoważą się; wówczas ciało zmienia pęd i działa na nie siła (przypadek spadającego ciała, na które działa opór powietrza, w początkowej fazie spadku, gdy porusza się jeszcze z malejącą prędkością). Jeżeli pędy grawitonów pierwszej i drugiej grupy równoważą się i masa ciała jest stała, to ciało pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym i prostoliniowym.

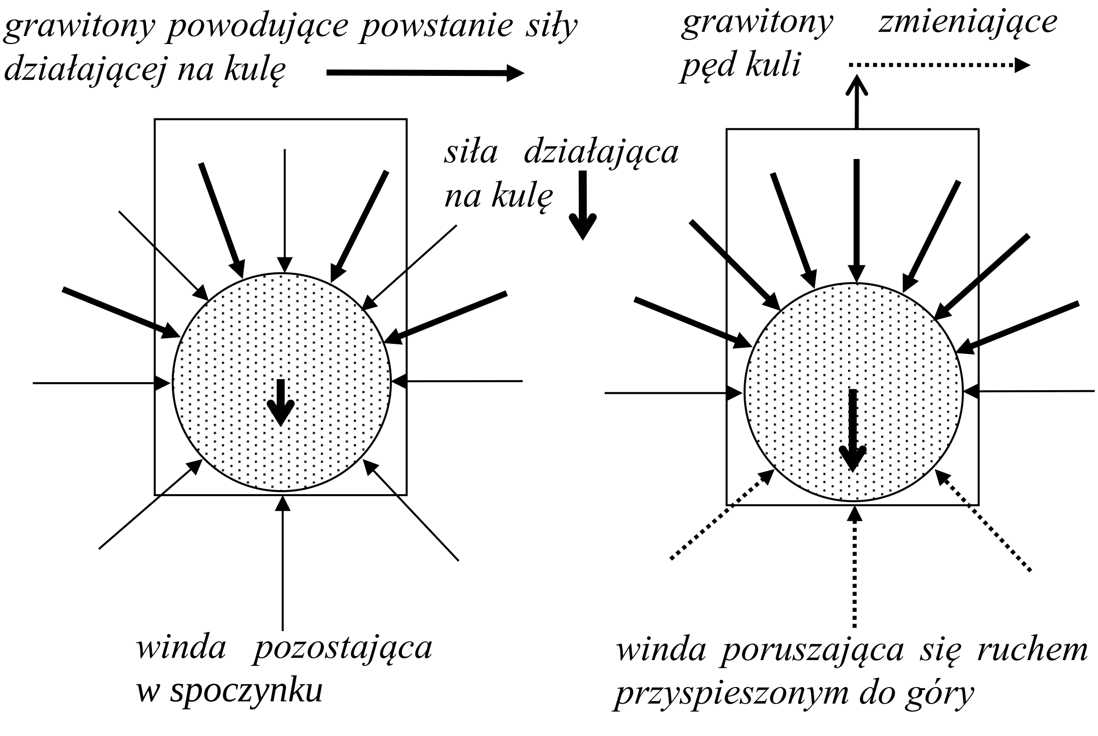
Układ odniesienia, w którym pędy przekazywane przez grawitony do spoczywającego ciała wzajemnie się równoważą, jest układem inercjalnym. W punkcie 7 pokazano, że również dla ciała poruszającego się ruchem jednostajnym, w układzie inercjalnym, suma wektorowa pędów grawitonów absorbowanych oraz emitowanych przez to ciało jest wektorem zerowym (pędy tych grawitonów równoważą się). W układzie inercjalnym ciało poruszające się ruchem jednostajnym nie jest hamowane, w swoim ruchu, w wyniku oddziaływania z grawitonami.



Samochód wraz z kierowcą, poruszający się ruchem jednostajnym po poziomej płaszczyźnie, absorbuje oraz emituje taką samą ilość grawitonów z każdego kierunku równoległego do tej płaszczyzny. Jeżeli samochód zwiększa lub zmniejsza swoją prędkość (zmienia swój pęd), to musi zaabsorbować i wyemitować odpowiednią ilość grawitonów, których suma pędów jest równa zmianie pędu tego samochodu. Podczas hamowania zmienia się jego prędkość i zarazem pęd. Część grawitonów, absorbowanych oraz emitowanych przez kierowcę, jest potrzebna do zmiany jego pędu i nie działa na niego żadną siłą. Pozostałe grawitony absorbowane oraz emitowane przez kierowcę działają na niego pewną siłą, ponieważ ze strony znajdującej się za samochodem absorbowanych i emitowanych jest więcej grawitonów. Siła działająca na kierowcę jest siłą bezwładności. Siła bezwładności działająca na samochód, razem z kierowcą, jest liczbowo równa sile hamowania, ale jest przeciwnie skierowana.

Jeżeli w układzie inercjalnym na ciało działa zewnętrzna siła zmieniająca jego prędkość i zarazem pęd, wówczas część grawitonów absorbowanych i emitowanych przez ciało potrzebna jest do zmiany jego pędu i nie działa na niego żadną siłą. Pozostałe grawitony oddziałujące z ciałem działają na niego pewną siłą, zwaną siłą bezwładności. Suma pędów grawitonów potrzebnych do zmiany pędu ciała jest wektorem przeciwnym do sumy pędów pozostałych grawitonów (w układzie inercjalnym pędy wszystkich grawitonów oddziałujących z ciałem równoważą się). Wobec tego siła bezwładności jest liczbowo równa sile zewnętrznej działającej na ciało, ale jest przeciwnie skierowana. Siła bezwładności stara się przywrócić poprzednią prędkość ciała. Siła ta jest wynikiem asymetrycznego oddziaływania ciała z cząstkami przestrzeni i pozostałej materii, za pośrednictwem grawitonów. Nie liczą się te grawitony, które są potrzebne do zmiany pędu ciała.

Gdyby bez działania zewnętrznej siły nastąpiła zmiana prędkości ciała, wówczas siła bezwładności przywróciłaby poprzednią wartość prędkości. Ciało na które nie działa żadna siła nie może zmienić swojej prędkości w układzie inercjalnym, ze względu na oddziaływanie z przestrzenią i materią całego Wszechświata, za pośrednictwem grawitonów.



Siły bezwładności istnieją również w układach nieinercjalnych. Na kulę znajdującą się w spoczywającej windzie działa siła „przyciągania” Ziemi, ponieważ pędy niektórych grawitonów absorbowanych przez nią z góry nie są równoważone przez pędy grawitonów absorbowanych z dołu (wypadkowy pęd grawitonów absorbowanych przez kulę jest skierowany w dół). Jeżeli winda porusza się do góry ze wzrastającą prędkością, wówczas część grawitonów absorbowanych przez kulę z dołu jest potrzebna do zmiany pędu kuli. Ilość grawitonów absorbowanych z góry, których pęd nie jest równoważony przez grawitony absorbowane z dołu jest większa, niż w przypadku spoczywającej windy. Wypadkowy pęd grawitonów absorbowanych przez kulę jest skierowany w dół i jego wartość jest większa, niż w przypadku spoczywającej windy. Na kulę działa siła skierowana w dół będąca sumą siły „przyciągania” i siły bezwładności. Prawie taki sam efekt byłby, gdyby odpowiednio powiększyć masę Ziemi.

Jeżeli kula razem z windą spada swobodnie, to pędy grawitonów absorbowanych przez kulę równoważą się (nie biorę pod uwagę grawitonów zmieniających pęd kuli) i spadająca winda jest dla kuli inercjalnym układem odniesienia.

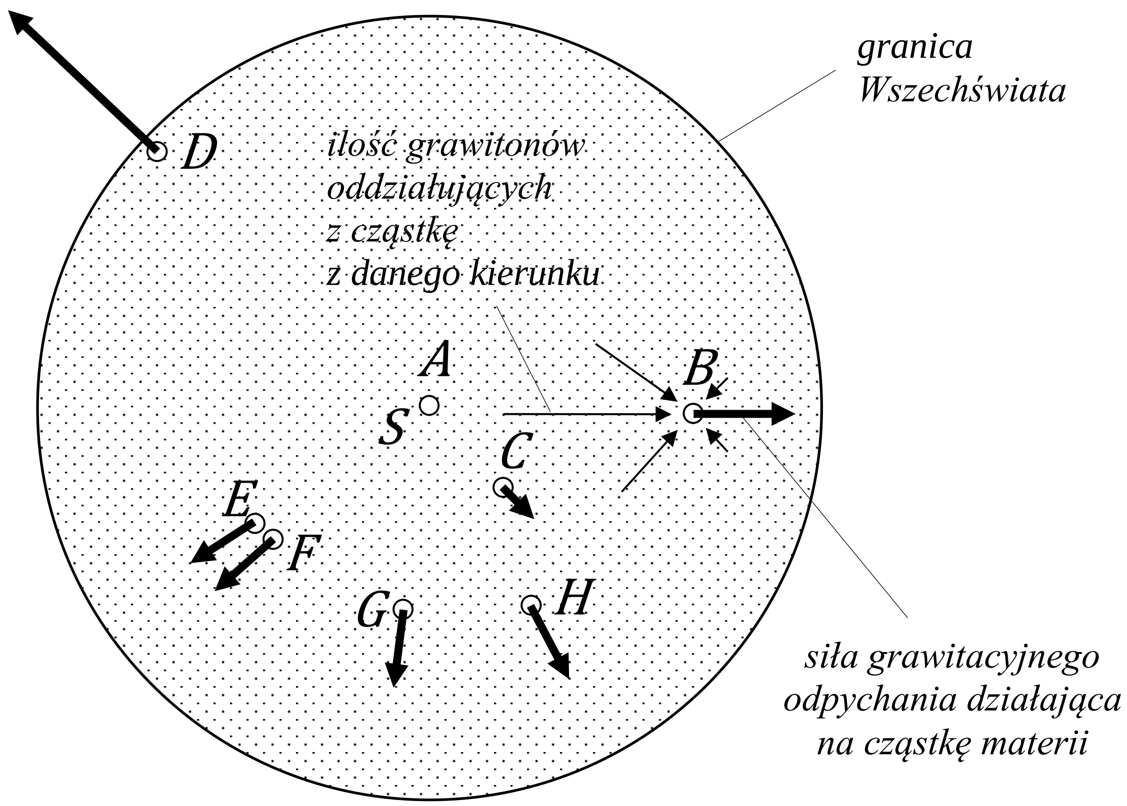
Siły grawitacyjnego „przyciągania” i siły bezwładności powstają w wyniku działania tego samego mechanizmu; suma pędów grawitonów absorbowanych i emitowanych przez ciało z jednej strony, jest większa niż suma pędów grawitonów absorbowanych i emitowanych z drugiej strony. Nie liczą się te grawitony, które są potrzebne do zmiany pędu ciała, ponieważ nie działają na niego żadną siłą. Siły grawitacji i siły bezwładności są wynikiem oddziaływania ciała z materią i przestrzenią całego Wszechświata.

Masa grawitacyjna ciała jest konsekwencją działania siły „przyciągania” tego ciała przez inne ciała. Masa bezwładna ciała jest wynikiem działania na to ciało siły bezwładności.

Masa grawitacyjna jak również bezwładna ciała jest efektem oddziaływania tego ciała z materią i przestrzenią Wszechświata, za pośrednictwem grawitonów.

9. Oddziaływanie grawitacyjne w skali Wszechświata

Zakładam, że Wszechświat jest kulą utworzoną z cząstek przestrzeni, w której znajdują się obiekty utworzone z cząstek materii, przy czym w dużej skali materia i cząstki przestrzeni są rozłożone równomiernie. Grawitony są emitowane i absorbowane tylko przez cząstki znajdujące się w tej kuli. Poza tą kulą nie ma cząstek materii i przestrzeni.



Siły grawitacji są siłami wzajemnego odpychania między elementarnymi cząstkami materii oraz cząstkami przestrzeni.

Do cząstki materii A, znajdującej się w środku Wszechświata, grawitony emitowane przez cząstki przestrzeni i cząstki materii dochodzą równomiernie z każdego kierunku i na cząstkę nie działa żadna siła. Z cząstką B, znajdującą się w pewnej odległości od środka Wszechświata, oddziałuje więcej grawitonów od strony środka, ponieważ z tej strony jest więcej cząstek przestrzeni i materii emitujących i absorbujących grawitony niż ze strony przeciwnej. Pędy grawitonów oddziałujących z cząstką B nie są zrównoważone; wypadkowy pęd przekazany przez grawitony do tej cząstki jest skierowany w stronę przeciwną niż środek Wszechświata. Na cząstkę B działa siła grawitacyjnego odpychania, skierowana w przeciwną stronę niż środek S Wszechświata. Ze wzrostem odległości cząstki od środka S wartość tej siły rośnie. Analogiczne siły, pochodzące od cząstek materii i cząstek przestrzeni, działają na cząstki przestrzeni. Te siły powodują rozszerzanie się Wszechświata.

Jeżeli ciała E i F znajdują się niedaleko od siebie, to siły grawitacyjnego odpychania powodują jednakowy wzrost prędkości tych ciał i ich względna prędkość jest bliska zeru. Różnica między siłami grawitacyjnego odpychania działającymi na te ciała jest niewielka i prawie nie wpływa na ich względny ruch. W tym przypadku działają na nie siły „przyciągania" określone prawem powszechnej grawitacji Newtona. Siły „przyciągania" działają jeszcze, jak wynika z obserwacji astronomicznych, w skali gromady galaktyk.

Jeżeli ciała G i H znajdują się daleko od siebie, to siły „przyciągania" są słabe lub zerowe i siły grawitacyjnego odpychania powodują, że zwiększają się odległości między tymi ciałami, ponieważ Wszechświat się powiększa, przy czym prędkość ich oddalania wzrasta w miarę upływu czasu. Ze wzrostem odległości między ciałami wzrasta różnica między siłami odpychania działającymi na te ciała. Gromady galaktyk oddalają się od siebie, przy czym prędkość ich oddalania rośnie wraz z odległością.

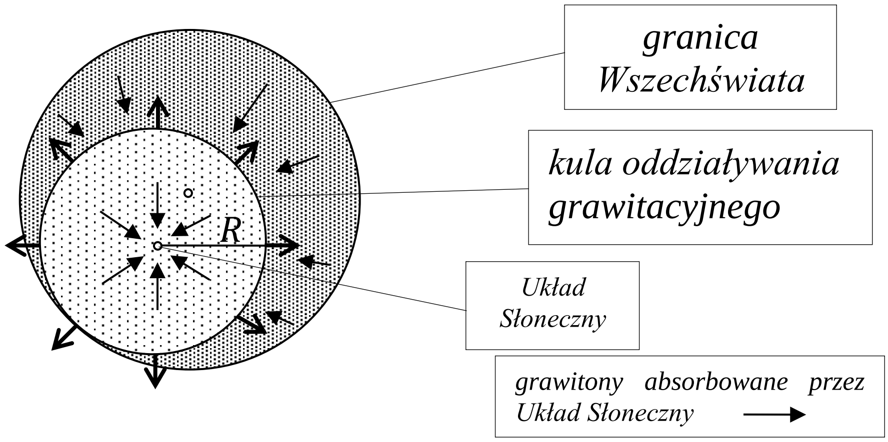
Ze względu na siły grawitacyjnego odpychania, działające zarówno na cząstki materii jak i na cząstki przestrzeni, Wszechświat może się tylko rozszerzać z coraz większą prędkością, zachowując odległości ciał w mniejszej skali w wyniku ich grawitacyjnego „przyciągania".

Prędkość rozszerzania Wszechświata wzrasta, wobec tego czas jego istnienia jest większy, niż wynika z obliczeń przyjmujących, że rozszerzanie zachodzi ze stałą prędkością (taką jak obecnie) lub malejącą.

Galaktyki, ogromne skupiska miliardów gwiazd, są otoczone kulą przestrzeni o gęstości większej niż średnia. Taka kula może być znacznie większa niż galaktyka. Na gwiazdy, znajdujące się w centrum galaktyki, działają siły „przyciągania" zgodne z prawem powszechnej grawitacji, ponieważ kula przestrzeni absorbuje i emituje grawitony równomiernie dla każdego kierunku. Na gwiazdy znajdujące się dalej od centrum, oprócz siły wynikającej z oddziaływania grawitacyjnego z materią, działa dodatkowa siła wynikająca z ich oddziaływania z kulą cząstek przestrzeni, o zwiększonej gęstości, otaczającej galaktykę. Ta dodatkowa siła rośnie, w stosunku do siły „przyciągania" materii, wraz ze zwiększaniem odległości gwiazdy od centrum galaktyki. Jeżeli gęstość przestrzeni jest dostatecznie duża, to siła działająca na gwiazdy znajdujące się na obrzeżu galaktyki może być znacznie większa, niż wynika to z prawa powszechnej grawitacji Newtona. Również siły grawitacyjnego „przyciągania" między galaktykami mogą być większe, niż wynika to z oddziaływania samej materii. Planety poruszają się dookoła Słońca zgodnie z prawem powszechnej grawitacji Newtona. Oddziaływanie planet z kulą przestrzeni o zwiększonej gęstości otaczającej Słońce jest znikome i może nie być brane pod uwagę.

Słońce i planety krążące dookoła niego są częścią naszej Galaktyki (Drogi Mlecznej). Siły grawitacyjnego odpychania działające na ciała, znajdujące się w Galaktyce, nadają tym ciałom niemal jednakowe przyspieszenie i Galaktyka porusza się jako całość, z pewną wzrastającą prędkością, w stosunku do środka Wszechświata. Ten ruch jest analogiczny do swobodnego spadku ciała na Ziemię.

Galaktyka spada swobodnie w stronę brzegu Wszechświata. Od strony środka Wszechświata z Galaktyką oddziałuje więcej grawitonów niż ze strony przeciwnej. Część tych grawitonów zmienia pęd ciał w Galaktyce, tak jak gdyby Galaktyka stanowiła jedną całość. Pozostałe nie wpływają na ruch Galaktyki; pędy przekazywane przez nie równoważą się. Układ odniesienia poruszający się razem z Galaktyką jest z dobrym przybliżeniem układem inercjalnym. Nie liczą się te grawitony, które zmieniają równomiernie pęd ciał w Galaktyce.



Wygląda to tak, jak gdyby Układ Słoneczny znajdował się w środku kuli o promieniu R, z której grawitony dochodzą do niego równomiernie z każdego kierunku. Taką kulę nazywam kulą oddziaływanie grawitacyjnego. Kula oddziaływania grawitacyjnego powiększa się równomiernie w każdym kierunku od jej środka. Grawitony oddziałujące z Układem Słonecznym oraz materią i przestrzenią Wszechświata, znajdującą się poza kulą oddziaływania grawitacyjnego (ciemniejsza część na rysunku), przekazują do Układu Słonecznego niezerowy pęd. To oddziaływanie grawitacyjne nadaje ciałom Układu Słonecznego jednakowe przyspieszenie skierowane przeciwnie do środka Wszechświata, niezauważalne przez obserwatora znajdującego się w Układzie Słonecznym.

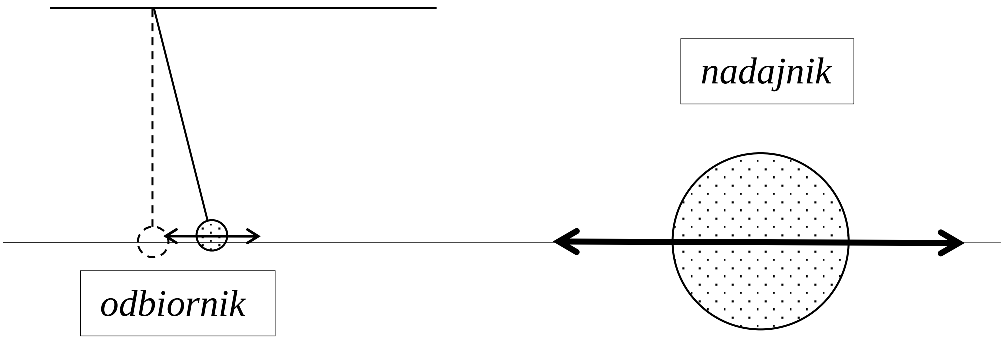
Gromady galaktyk znajdujące się w kuli oddziaływania grawitacyjnego oddalają się od siebie, ze względu na rozszerzanie się Wszechświata. Dla obserwatora znajdującego się na Ziemi te gromady oddalają się od niego, w przybliżeniu równomiernie w każdym kierunku. Prędkość oddalanie wzrasta proporcjonalnie do odległości tych gromad od Ziemi. Równocześnie z powiększaniem promienia Wszechświata, proporcjonalnie powiększa się promień kuli oddziaływania grawitacyjnego.

Oddziaływanie grawitacyjne w skali całego Wszechświata powoduje wzajemne „odpychanie” ciał materialnych znajdujących się w dostatecznie dużej odległości, natomiast to samo oddziaływanie grawitacyjne powoduje wzajemne „przyciąganie” ciał, w skali galaktyki lub gromady galaktyk.

10. Fale grawitacyjne

Zawieśmy na nitce niewielki ciężarek (odbiornik). Jeżeli zbliżymy do niego masywną kulę (nadajnik) wówczas nitka, na której zawieszony jest ciężarek odchyli się od pionu, ze względu na wzajemne „przyciąganie" ciężarka i kuli. Do ciężarka dochodzi mniej grawitonów od strony kuli niż ze strony przeciwnej.

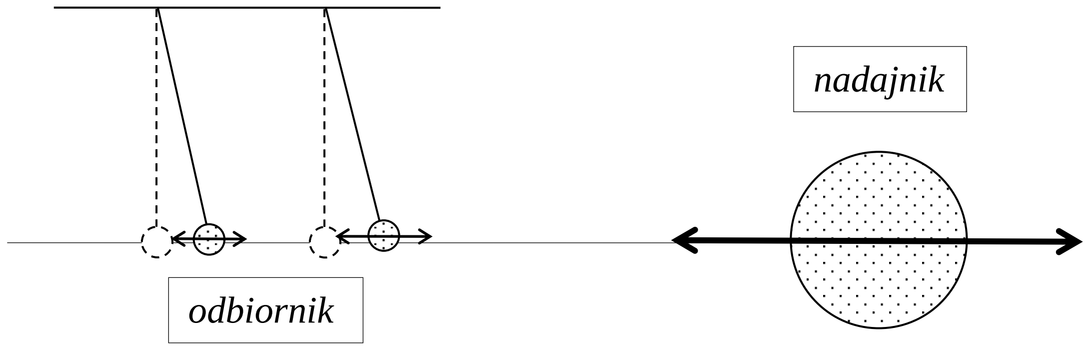
Szybkość rozchodzenia się oddziaływania grawitacyjnego jest równa szybkości, z jaką poruszają się grawitony, ponieważ oddziaływanie grawitacyjne jest przekazywane za pośrednictwem grawitonów.



Ustawmy kulę w pewnej odległości od ciężarka i wprawmy ją w ruch drgający tak, aby z ustaloną częstością zbliżała i oddalała się od ciężarka. Ilość grawitonów dochodzących do ciężarka od strony kuli zmienia się w zależności od odległości kuli od ciężarka. Siła „przyciągania" zależy od odległości między ciężarkiem a kulą. Dlatego ciężarek będzie okresowo silniej i słabiej „przyciągany" przez kulę i zostanie wprawiony w ruch drgający. Te drgania ciężarka są na ogół silnie tłumione. Jeżyli jednak okres drgań własnych ciężarka jest równy okresowi drgań kuli, wówczas w wyniku rezonansu amplituda drgań ciężarka może być dość duża.

Drgania ciężarka można zamienić na pracę, a więc kula przekazała do ciężarka pewną energię w wyniku oddziaływania grawitacyjnego. To przekazywanie energii zachodzi niezależnie od prędkości rozchodzenia się oddziaływania grawitacyjnego; szybkość tego oddziaływania może być skończona lub nieskończona.

Aby przekonać się czy istnieją fale grawitacyjne możemy zmodyfikować poprzednie doświadczenie. Zawieśmy dwa jednakowe ciężarki (odbiornik) w pewnej odległości od siebie tak, aby obydwa ciężarki i kula znajdowały się na jednej prostej i pierwszy ciężarek znajdował się bliżej kuli niż drugi. Po wprawieniu w ruch drgający kuli zaczną również drgać obydwa ciężarki.



Jeżeli ich maksymalne wychylenia, w stronę kuli, nie zachodzą równocześnie, wówczas istnieje fala grawitacyjna i jej prędkość jest równa odległości d między ciężarkami podzielonej przez odstęp czasu Δt potrzebny drugiemu ciężarkowi do uzyskania maksymalnego wychylenia od chwili, gdy pierwszy ciężarek wychylił się maksymalnie. Jeżeli obydwa ciężarki drgają zgodnie wówczas prędkość oddziaływania grawitacyjnego jest nieskończona i nie ma fali grawitacyjnej.

Te doświadczenia myślowe pozwalają wyjaśnić problemy związane z falami grawitacyjnym, ale nie ulega wątpliwości, że gdyby je rzeczywiście przeprowadzić to ich przebieg byłby całkowicie zgodny z tym, co napisałem.

Doświadczenia należy przeprowadzić tak, aby wyeliminować zewnętrzne czynniki działające na odbiornik fali grawitacyjnej, co jest bardzo trudne. Odbiornik i nadajnik nie muszą być tak prymitywne, ale ten sposób opisania doświadczeń pozwala zrozumieć czy istnieje fala grawitacyjna i czy przenosi pewną energię. Opisane doświadczania można przeprowadzić, ale jest bardzo wątpliwy pomiar prędkości rozchodzenia się oddziaływania grawitacyjnego ze względu na bardzo małą wartość Δt, praktycznie niemożliwą do zmierzenia.

Obydwa odbiorniki teoretycznie mogą wykrywać ewentualne fale grawitacyjne wytwarzane w laboratorium.

Do wykrywania fal grawitacyjnych nadchodzących z kosmosu obydwa odbiorniki nie nadaje się. Fala grawitacyjna dochodząca z kosmosu spowoduje jednakowe przesunięcie ciężarków odbiornika i całego laboratorium łącznie z obserwatorem, w tym samym czasie. Dlatego obserwator żadnego ruchu ciężarków nie zobaczy.

Fala grawitacyjna dochodząca z kosmosu powoduje zmianę odległości między ciałami materialnymi znajdującymi się w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku rozchodzenia się tej fali. Mierząc zmiany tej odległości można wykryć falę grawitacyjną. Ten efekt łatwiej wykryć, gdy odległość między ciałami jest duża. Dlatego urządzenia budowane do wykrywania fal grawitacyjnych są bardzo duże. Oczywiście nie używa się do tego ciężarków, ale na przykład luster ustawionych w dużej odległości od siebie i zmiany ich odległości są odpowiednio wykrywane przy pomocy światła wysyłanego przez laser. Jeżeli lustra oddalają [zbliżają] się od [do] siebie, to równocześnie maleje [rośnie] gęstość cząstek przestrzeni między nimi i wzrasta [maleje] prędkość światła poruszającego się między nimi. Ta zmiana prędkości światła utrudnia wykrycie zmiany odległości między lustrami.

Można zbudować stosunkowo niewielki detektor fal grawitacyjnych, który opisuję w części drugiej 1.5., wykorzystując niezależność masy grawitacyjnej od prędkości.

Fale grawitacyjne dochodzące z kosmosu są bardzo słabe i dlatego niełatwo je wykryć. Nadajnikami fal grawitacyjnych dochodzących z kosmosu mogą być dwie gwiazdy o bardzo dużej masie, znajdujące się blisko siebie, krążących wokół wspólnego środka ich masy, w wyniku oddziaływania grawitacyjnego.

Przez każdy element przestrzeni (obszar przestrzeni o bardzo małych rozmiarach) przelatują grawitony w różnych kierunkach i w różnej ilości dla danego kierunku.

Fala grawitacyjna jest okresową zmianą struktury grawitonów, w każdym elemencie przestrzeni, zarówno co do ich ilości jak i kierunku w którym się poruszają. Te zmiany przemieszczają się z prędkością światła, jeżeli taka jest prędkość grawitonów. Jeżeli w takim elemencie objętości znajdują się cząstki materii lub przestrzeni, to poruszają się zgodnie ze zmianami struktury grawitonów przechodzących przez ten element.

Jeżeli oddziaływanie grawitacyjne rozchodzi się ze skończoną prędkością, to w środowisku cząstek przestrzeni rozchodzi się fala podobnie jak fala dźwiękowa w powietrzu. Analogia nie jest zupełna. Fale dźwiękowe rozchodzą się w powietrzu w wyniku wzajemnego oddziaływania cząstek powietrza, natomiast fala rozchodząca się w przestrzeni powstaje w wyniku oddziaływania cząstek przestrzeni z grawitonami. Ta fala rozchodzi się z taką prędkością, z jaką poruszają się grawitony. Powoduje to okresowe zmiany gęstości cząstek przestrzeni w ustalonym miejscu odbiornika. Ta fala nie oddziałuje z odbiornikiem, ponieważ cząstki przestrzeni nie oddziałują bezpośrednio z cząstkami materii. Zmiana gęstości cząstek przestrzeni powodują zmianę prędkości światła w ustalonym miejscu odbiornika.

Przy pomocy oddziaływania grawitacyjnego energia może być przekazywana również w inny sposób. Księżyc przekazuje energię Ziemi wywołując przypływy i odpływy morskie. Można nawet zbudować niewielką elektrownię wykorzystującą energię tych pływów. Również Ziemia przekazuje energię Księżycowi zmniejszając swoją energię kinetyczną ruchu obrotowego. W wyniku tego przekazu Księżyc oddala się od Ziemi o kilka centymetrów w ciągu roku a Ziemia zmniejsza swoją prędkość obrotową i doba staje się coraz dłuższa.

Zakładam, że grawitony poruszają się z prędkością światła. Stąd wynika, że istnieją fale grawitacyjne i rozchodzą się z taką samą prędkością jak grawitony.

Część druga

Wstęp do części drugiej

Przez wiele stuleci przyjmowano, jako oczywiste, że Słońce i planety poruszają się dookoła nieruchomej Ziemi. Nawet w dzisiejszych czasach można niekiedy spotkać pogląd, że równie dobrze można mówić o ruchu Słońca i planet dookoła Ziemi (system geocentryczny) jak o ruchu Ziemi i planet dookoła Słońca (system heliocentryczny). Z punktu widzenia kinematyki oba opisy ruchu są równoważne, chociaż opis w systemie geocentrycznym jest dość skomplikowany. Natomiast z punktu widzenia dynamiki te opisy ruchu są zdecydowanie różne. Jak wiadomo, ciało może poruszać się po okręgu, jeżeli działa na niego odpowiednia siła skierowana do środka tego okręgu. Jaka siła w układzie geocentrycznym zmusza Słońce do ruchu po okręgu dookoła Ziemi? Z planetami jest jeszcze gorzej. Żeby wyjaśnić ich ruch dookoła Ziemi musimy oprócz ruchu po okręgu, którego środkiem jest Ziemia, wprowadzić dodatkowy ruch po mniejszym okręgu o środku leżącym na większym okręgu. Oczywiście można by powiedzieć, że istnieje w otoczeniu Ziemi specjalne pole, które zmusza Słońce do ruchu po okręgu i planety po bardziej skomplikowanych orbitach. Ale wprowadzenie takiego pola niczego nie wyjaśnia, jedynie maskuje naszą niewiedzę. W systemie heliocentrycznym sytuacja jest znacznie prostsza. Zarówno Ziemia jak i planety podlegają takiemu samemu prawu powszechnej grawitacji i opis ich ruchu jest prosty i zrozumiały.

W teorii grawitacji Newtona przyjmuje się, że ciała się przyciągają bez podania fizycznej przyczyny, dlaczego tak się dzieje. W OTW Einsteina ciała materialne zmieniają geometrię czasoprzestrzeni, która wpływa na ruch ciał, ale brak wyjaśnienia w jaki sposób. Teoria Newtona dobrze opisuje oddziaływanie grawitacyjne. Ten opis jest jeszcze lepszy w teorii Einsteina ale w obydwu brak mechanizmu oddziaływania grawitacyjnego. Jak wytłumaczyć, że Wszechświat rozszerza się z coraz większą prędkością? Powołuje się do życia specjalne pole o ujemnej energii, które odpowiada za takie rozszerzanie. Żeby wyjaśnić, dlaczego cząstki mają masę bezwładną, wprowadza się specjalne pole, które ma nadawać cząstkom masę. Jaka jest przyczyna spadania ciał? Brak wyjaśnienia – wprowadza się pole grawitacyjne.

W tej książce obserwowane rozszerzanie Wszechświata, istnienie masy, przyczyna spadania ciał wynikają, w prosty sposób, z określenia grawitacji, jako wynik oddziaływania między cząstkami za pośrednictwem grawitonów. Nie trzeba wprowadzać żadnych dodatkowych pól. Ponadto ta teoria w prosty i zrozumiały sposób wyjaśnia szereg innych zjawisk związanych z oddziaływaniem grawitacyjnym i z tego powodu zasługuje na uwagę czytelnika zainteresowanego grawitacją.

Przestrzeń, to miejsce gdzie znajdują się rzeczy i zachodzą zdarzenia (zjawiska). Czas, to sposób porządkowania zdarzeń (zjawisk). W przestrzeni można mierzyć odległość między rzeczami; w czasie odstęp między zdarzeniami.

Czas, odległość i pojęcia pochodne są wytworami ludzkiego umysłu powstającymi wtedy, gdy pojawia się obserwator mający zegar odmierzający kolejne jednostki czasu oraz jednostkę długości do mierzenia odległości. Pojęcie czasu powstało ze względu na zmiany zachodzące w naszym świecie. Czas jest nierozłącznie związany z zegarem. Przy pomocy zegara obserwator może porządkować kolejne wydarzenia, przez niego obserwowane.

Jeżeli mówimy o czasie, to musimy wyraźnie określić obserwatora i wskazać zegar, którym ten obserwator odmierza czas. Obserwator porządkuje zdarzenia w takiej kolejności, w jakiej otrzymuje informacje o ich zaistnieniu.

O odległości możemy mówić wtedy, gdy wskażemy sposób jej porównywania z odległością, którą obserwator określa jako jednostkową.

Jak wiadomo z STW różni obserwatorzy mający identyczne zegary i jednakowe jednostki długości mogą widzieć świat w różny sposób.

Dla potrzeb fizyki odległość i czas powinny być dobrze zdefiniowane. Odległością nazywamy funkcję, w której punktom przestrzeni A i B jest przyporządkowana liczba rzeczywista $|AB|$ zwana odległością punktów A i B, określona przez obserwatora i jego jednostkę długości. Odległość powinna spełniać dobrze znane własności. Czas jest funkcją, w której zdarzeniu M jest przyporządkowana liczba rzeczywista $t(M)$ zwana chwilą czasu, określona przez obserwatora przy pomocy zegara z nim związanego. Odległość i czas są bezpośrednio określone jedynie w pobliżu obserwatora mającego odpowiednią jednostkę długości i zegar. Dla odległych punktów przestrzeni obserwator ustala odległość punktów i chwilę czasu zdarzenia w sposób pośredni, na przykład przez wykonanie odpowiednich obliczeń.

W praktyce odległość i czas są określone z pewną dokładnością. Na ogół zdarzeniu można przyporządkować jedynie przedział czasu $[t_1, t_2]$, w którym zaszło dane zdarzenie. Różnicę $\Delta t = t_2 - t_1$ nazywam czasem w którym nastąpiło dane zdarzenie.

W życiu codziennym pojęcie czasu nie jest sprecyzowane i używane w różnych znaczeniach, co prowadzi do pewnych nieporozumień. Niekiedy danemu zdarzeniu jest przyporządkowane inne zdarzenie, ale w końcowym wyniku zdarzeniu jest przyporządkowana liczba.

W dalszym ciągu zakładam, że każdy obserwator ma własny zegar pozostający względem niego w spoczynku, który odmierza jednostki czasu i pokazuje rosnący ciąg liczb określający ilość jednostek czasu od chwili początkowej do chwili obecnej. Zegary dla każdego obserwatora są tak samo zbudowane i jeżeli znajdują się w spoczynku względem siebie i obok siebie, to odmierzają jednakowe jednostki czasu. Takim zegarem może być zegar świetlny zbudowany z dwóch równolegle ustawionych, w odległości l, zwierciadeł połączonych sztywnym prętem. Między zwierciadłami prostopadle do nich porusza się foton odbijający się od tych zwierciadeł. Jednostką czasu j niech będzie czas potrzebny fotonowi na przebycie podwójnej odległości między zwierciadłami. Za jednostkę długości możemy przyjąć podwojoną odległość $2l$ między zwierciadłami zegara.

Długość odcinka, pozostającego w spoczynku względem obserwatora, mierzona taką jednostką długości nie zależy od kierunku (orientacji), w jakim jest on ustawiony w przestrzeni. Identycznie zbudowane zegary znajdujące się blisko siebie, różnie zorientowane w przestrzeni odmierzają takie same jednostki czasu. Jest to potwierdzone w eksperymencie Michelsona-Morleya. Prędkość światła $c = \frac{2l}{j}$. Każdy obserwator, który zmierzy prędkość światła blisko siebie, otrzyma taką samą wartość liczbową prędkości światła, co jest wynikiem używanego sposobu mierzenia długości i czasu.

Każdy obserwator O znajduje się w początku prostokątnego układu współrzędnych $OXYZ$ i zegar świetlny z nim związany określa dla niego jednostkę czasu i jednostkę długości odkładaną na każdej osi układu. Układ $OXYZ$ nie musi być układem inercjalnym. Zakładam, że przestrzeń jest trójwymiarowa.

Czasoprzestrzeń jest tylko wygodną konstrukcją matematyczną, ale nie jest rzeczywistością fizyczną. Czas jest zupełnie czymś innym niż przestrzeń. Dla każdego obserwatora rzeczywistość fizyczna istnieje tu i teraz. Do rzeczywistości istniejącej w chwilach wcześniejszych nie ma powrotu. W układach inercjalnych obowiązuje STW i wszystkie wynikające z niej wnioski.

Cząstki elementarne mają swoje własności, takie jak: położenie, masa, ładunek elektryczny, pęd, energia …. Te własności istnieją niezależnie od tego czy je mierzymy czy nie. Zakładam realizm ale wykluczam lokalność.

OTW jest opisem oddziaływań grawitacyjnych, ale nie podaje mechanizmu tych oddziaływań. W OTW ciała materialne powodują zakrzywienie przestrzeni, a więc między materią i przestrzenią zachodzi pewne oddziaływanie. Jaki jest mechanizm tego oddziaływania? Tego OTW nie wyjaśnia.

Możemy to wyjaśnić poprzez oddziaływanie między cząstkami materii oraz przestrzeni za pośrednictwem cząsteczki-grawitonu.

Myślę, że w fizyce trzeba na równi traktować materię i przestrzeń. Własności materii zależą od własności przestrzeni i odwrotnie własności przestrzeni zależą od własności materii.

W Feynmana wykładach z fizyki[2] można przeczytać następujący fragment.

"Proponowano wiele mechanizmów wyjaśniających działanie prawa ciążenia. Warto się zastanowić nad jedną z tych propozycji, którą w różnych okresach wysuwało wielu badaczy. Kiedy po raz pierwszy „ wpada się” na tę myśl, jest się bardzo szczęśliwym i podnieconym, ale wkrótce okazuje się, że jest ona błędna. Pierwszy raz wysunięto ją około roku 1750. Wyobraźmy sobie, że w przestrzeni porusza się we wszystkich kierunkach i z wielką szybkością ogromna liczba cząstek, które przy przechodzeniu przez materię ulegają tylko bardzo słabemu pochłonięciu. Cząstki, które *zostaną* pochłonięte, nadadzą Ziemi pewien impuls. Ponieważ jednak tyle samo cząstek przychodzi ze wszystkich stron, impulsy się równoważą. Ale jeśli w pobliżu znajduje się Słońce, do Ziemi przychodzi z tej strony

[2] Richard P. Feynman, Robert B. Leighton, Matthew Sands: Feynmana wykłady z fizyki, tom I, część 1, Warszawa 1968, PWN, s. 120

mniej cząsteczek niż ze strony przeciwnej, ponieważ zostały one po drodze częściowo pochłonięte przez Słońce. Ziemia zostaje więc popchnięta w kierunku Słońca i łatwo obliczyć, że impuls ten jest odwrotnie proporcjonalny do kwadratu odległości, gdyż w takim stosunku maleje kąt bryłowy idący od Słońca do Ziemi. Co w tym mechanizmie szwankuje? Pociąga on za sobą pewne konsekwencje, które się po prostu *nie zgadzają* z rzeczywistością. Mamy mianowicie następujący kłopot. Na poruszającą się dokoła Słońca Ziemię uderzałoby więcej cząstek od przodu niż od tyłu (kiedy biegniemy podczas deszczu, deszcz mocniej pada na twarz niż na tył głowy!). Zatem impuls od przodu byłby silniejszy niż ze strony przeciwnej i Ziemia napotykałaby pewien opór *hamujący ruch* i zmuszający ją do zwalniania biegu po orbicie. Można obliczyć, ile trzeba by czasu, aby ten opór spowodował zatrzymanie się Ziemi, i okazuje się, że Ziemia powinna by się już była dawno zatrzymać, a więc wyjaśnienie jest po prostu błędne. Nie wymyślono, jak dotąd, żadnego mechanizmu „wyjaśniającego" grawitację, który by jednocześnie nie przewidywał jakichś zjawisk, których w rzeczywistości *nie ma*."

Po przeczytaniu tego fragmentu chciałem zbudować taki model oddziaływania grawitonów z cząstkami, w którym nie byłoby oporu hamującego ruch jednostajny i który wyjaśniałby mechanizm bezwładności i grawitacji. Rozpocząłem budowę modelu oddziaływania grawitacyjnego od zera. Założyłem, że przestrzeń nie jest ciągła, ale podobnie jak materia, składa się z cząstek. Grawitony są cząsteczkami wirtualnymi, które mogą oddziaływać z cząstkami materii oraz przestrzeni. Za pośrednictwem grawitonów cząstki elementarne mogą wymieniać między sobą energię i pęd. Zbudowałem kilka takich modeli, prostych i skomplikowanych, w których grawitony oddziaływały w różny sposób z cząstkami materii oraz przestrzeni, jednak występowały w nich sprzeczności, lub jeśli wyjaśniały bezwładność to nie działała w nich grawitacja lub Feynman miał rację.

Podczas budowy tych modeli popełniałem dużo błędów. Jednak z tych nieudanych modeli wynikały pewne wnioski pozwalające zbudować taki, który pozwala wyjaśnić bezwładność i grawitację, jako wynik wzajemnego oddziaływania elementarnych cząstek materii oraz elementarnych cząstek przestrzeni (próżni), za pośrednictwem innych cząsteczek - grawitonów. W przedstawionym obecnie modelu Ziemia nie doznaje oporu hamującego, ze względu na jej oddziaływanie z grawitonami, podczas jej ruchu po orbicie.

Przedstawiony w tym wydaniu model grawitacji, jak obecnie sądzę, najlepiej wyjaśnia zjawiska związane z oddziaływaniem grawitacyjnym.

Zbudowanie prezentowanego w tej książce modelu grawitacji było możliwe dzięki szybkiemu rozwojowi fizyki w ubiegłym stuleciu; w szczególności Teorii Kwantowej i Ogólnej Teorii Względności.

Chciałem wyjaśnić oddziaływanie grawitacyjne na gruncie znanej fizyki, ale jak obecnie sądzę to jest niemożliwe. Podczas pisania tej książki zmieniłem swoje poglądy na niektóre pojęcia fizyczne, które wydawały się mocno ugruntowane. Odrzuciłem równość masy grawitacyjnej i bezwładnej, jak również, w pewnym stopniu, względność ruchu. Swoje proste wyobrażenie ruchu cząstek elementarnych musiałem zmienić na zupełnie inne, takie, aby oddziaływanie grawitacyjne nie hamowało jednostajnego ruchu ciała w układzie inercjalnym.

Oddziaływanie grawitacyjne zachodzi między elementarnymi cząstkami. **Mechanizm oddziaływania grawitacyjnego można zrozumieć tylko wtedy, jeżeli przyjmiemy, że nasz świat ma charakter kwantowy.**

Wartości wielkości fizycznych są wyrażone w układzie SI.

W tej książce proponuję nową teorię oddziaływania grawitacyjnego między materią oraz przestrzenią za pośrednictwem grawitonów, w której:

- Przestrzeń tak jak i materia ma sens fizyczny.
- We Wszechświecie istnieje jeden wyróżniony układ odniesienia, w którym ruch cząstek elementarnych ma szczególny charakter.
- Ruch cząstek elementarnych nie jest ciągły, ale jest skokowy i jest podobny do ruchu falowego. Pozwala to wyjaśnić dlaczego ciała poruszające się ruchem jednostajnym w układzie inercjalnym nie są hamowane w wyniku oddziaływania z grawitonami. Możemy w prosty sposób wyjaśnić w jaki sposób elektron wysyła promieniowanie podczas jego hamowania w polu elektrycznym. Również z tego założenia wynika dlaczego elektron nie spada na proton i dlaczego atom wodoru nie traci energii przez promieniowanie.
- W układzie inercjalnym ruch jednostajny ciała materialnego, na które nie działają żadne siły, jest skutkiem oddziaływania tego ciała z materią oraz przestrzenią całego Wszechświata za pośrednictwem grawitonów. To oddziaływanie nie powoduje hamowania tego ruchu ciała.
- Określam prosty mechanizm wyjaśniający bezwładność ciał oraz „przyciąganie” grawitacyjne między materialnymi ciałami, w wyniku ich oddziaływania z materią oraz przestrzenią za pośrednictwem grawitonów.
- W dużej skali do oddziaływania grawitacyjnego można stosować rachunek różniczkowy, natomiast w skali mikro wraz ze zmniejszaniem się masy cząstek to oddziaływanie staje się nieciągłe i coraz bardziej chaotyczne. Oddziaływanie grawitonów z cząstkami o małych masach powoduje niepewność w określaniu ich położenia, pędu i energii. Ta niepewność jest podstawową cechą naszego świata i nie może być usunięta.
- Masa bezwładna oraz grawitacyjna ciała jest efektem oddziaływania jego cząstek elementarnych z innymi cząstkami elementarnymi Wszechświata, za pośrednictwem grawitonów.
- Masa bezwładna ciała nie jest równa jego masie grawitacyjnej.
- Masa ciała i tempo upływu czasu są ściśle ze sobą powiązane.
- Istnieje prosty związek między jednostkami czasu i odległości, w polu grawitacyjnym, dla różnych obserwatorów pozostających względem siebie w spoczynku.

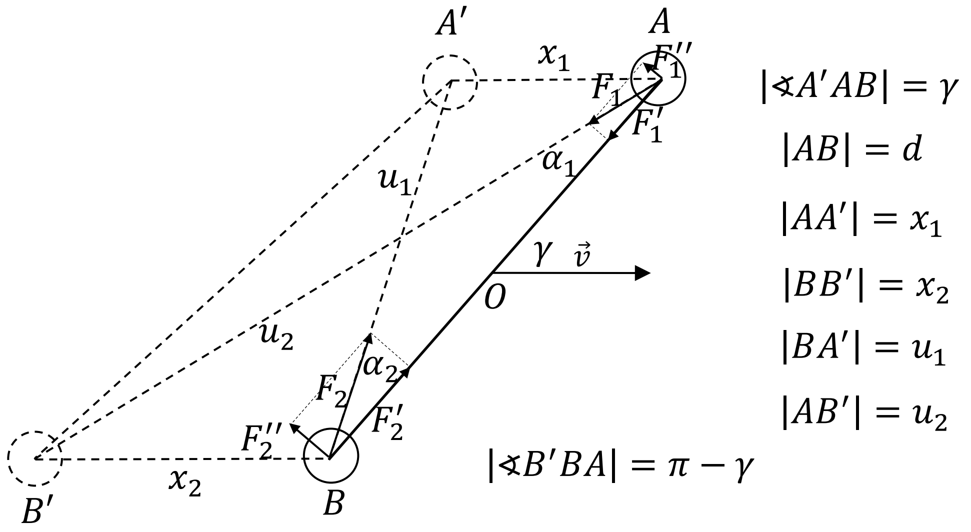
- Oddziaływanie grawitacyjne określa prosty mechanizm zmiany energii wewnętrznej (masy grawitacyjnej) ciała, poruszającego się w niejednorodnym polu grawitacyjnym, na energię kinetyczną lub pracę i odwrotnie.
- Ugięcie promieni świetlnych przebiegających blisko Słońca jest wynikiem zmiany prędkości światła w polu grawitacyjnym.
- Siły działające na jednostkę masy ciała w każdym przypadku są skończone i ograniczone z góry. Siły grawitacji w żadnych warunkach nie są nieskończone.
- Przesunięcie peryhelium planety można wyjaśnić przez wprowadzenie, z oczywistych powodów, niewielkiej modyfikacji równania ruchu ciała w polu grawitacyjnym.
- Tempo upływu czasu w polu grawitacyjnym nigdy nie zmniejsza się do zera.
- Oddziaływania grawitacyjne, materialnych ciał, dla małych odległości (do wielkości gromad galaktyk) są „siłami przyciągania”, natomiast dla większych odległości są „siłami odpychania”.
- Wszechświat może się tylko rozszerzać ze wzrastającą prędkością i malejącym przyspieszeniem. Czas jego istnienia jest większy, niż szacowany przy założeniu, że tempo ekspansji jest takie jak obecnie lub zmniejsza się.
- Stała grawitacji G i stała Plancka h mają odpowiednio taką samą wartość dla każdego obserwatora i w każdym miejscu. Prędkość światła c ma taką samą wartość dla każdego obserwatora, który dokonuje jej pomiaru blisko siebie. Dla ustalonego obserwatora wartość prędkości światła może się zmieniać w zależności od miejsca w przestrzeni, dla którego jest przez tego obserwatora obliczana.

Rozdział 1

1.1. Szybkość rozchodzenia się oddziaływania grawitacyjnego. Czy zasada względności jest prawdziwa?

Przypuśćmy, że oddziaływanie grawitacyjne dwóch materialnych ciał jest ich wzajemnym przyciąganiem i to oddziaływanie jest przekazywane z jednego ciała do drugiego z prędkością światła c. Weźmy dwie jednakowe kule o masie m każda, połączone sztywnym prętem w ten sposób, że odległość środków tych kul jest równa d. Takie dwie kule połączone sztywnym prętem nazywam obiektem 2k.

Załóżmy, że istnieje układ inercjalny UI, w którym na te spoczywające kule nie działają żadne siły, niezależnie od ich ustawienia w przestrzeni. Niech te kule poruszają się ruchem jednostajnym z prędkością $\vec{v}$ w układzie inercjalnym UI tak, że pręt łączący kule tworzy kąt o mierze γ z wektorem prędkości. Ze względu na skończoną szybkość rozchodzenia się oddziaływania grawitacyjnego, kula znajdująca się w punkcie A oddziałuje z kulą znajdującą się w punkcie B' natomiast kula znajdująca się w punkcie B oddziałuje z kulą znajdującą się w punkcie A'.



Rys. 1.1.1.

Oznaczmy przez t_1 czas potrzebny na przebycie odległości u_1 między kulami B i A' przez światło w danym układzie inercjalnym.

$$t_1 = \frac{u_1}{c},$$

$$u_1 = ct_1.$$

W tym czasie kula A przesunie się z punktu A' do punktu A o odcinek

$$x_1 = vt_1.$$

$$u_1^2 = x_1^2 + d^2 - 2x_1 d\cos\gamma$$

$$c^2 t_1^2 = v^2 t_1^2 + d^2 - 2vt_1 d\cos\gamma$$

$$(c^2 - v^2)t_1^2 + 2vdt_1\cos\gamma - d^2 = 0$$

Stąd otrzymujemy

$$t_1 = \frac{d\left(\sqrt{c^2 - v^2\sin^2\gamma} - v\cos\gamma\right)}{c^2 - v^2},$$

$$u_1 = \frac{dc\left(\sqrt{c^2 - v^2\sin^2\gamma} - v\cos\gamma\right)}{c^2 - v^2}.$$

$$\frac{x_1}{\sin\propto_2} = \frac{u_1}{\sin\gamma}$$

$$\sin\alpha_2 = \frac{x_1}{u_1}\sin\gamma = \frac{vt_1}{ct_1}\sin\gamma = \frac{v}{c}\sin\gamma$$

$$sin\,\alpha_2 = \frac{v}{c}sin\,\gamma$$

$$cos\,\alpha_2 = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}sin^2\,\gamma}$$

Na kulę znajdującą się w punkcie B działa siła przyciągania

$$F_2 = G\frac{m^2}{u_1^2}$$

(mająca zwrot wektora $\overrightarrow{BA'}$) pochodząca od kuli A tak, jakby ta ostatnia znajdowała się w punkcie A' (ze względu na skończoną szybkość rozchodzenia się oddziaływania grawitacyjnego). Wartość siły F_2 może być inna, ale dla oszacowania przyjąłem wzór Newtona. Składowa tej siły równoległa do pręta ma wartość

$$F_2' = G\frac{m^2}{u_1^2}cos\,\alpha_2,$$

natomiast składowa prostopadła do pręta

$$F_2'' = G\frac{m^2}{u_1^2}sin\,\alpha_2.$$

Oznaczmy przez t_2 czas potrzebny na przebycie odległości u_2 między kulami A i B' przez światło w danym układzie inercjalnym.

$$t_2 = \frac{u_2}{c},$$

$$u_2 = ct_2.$$

W tym czasie kula B przesunie się z punktu B' do punktu B o odcinek

$$x_2 = vt_2.$$

$$u_2^2 = x_2^2 + d^2 + 2x_2 d\cos\gamma$$

$$c^2t_2^2 = v^2t_2^2 + d^2 + 2vt_2 d\cos\gamma$$

$$(c^2 - v^2)t_2^2 - 2vdt_2\cos\gamma - d^2 = 0$$

Stąd otrzymujemy

$$t_2 = \frac{d\left(\sqrt{c^2 - v^2\sin^2\gamma} + v\cos\gamma\right)}{c^2 - v^2},$$

$$u_2 = \frac{dc\left(\sqrt{c^2 - v^2\sin^2\gamma} + v\cos\gamma\right)}{c^2 - v^2}.$$

$$\frac{x_2}{\sin\propto_1} = \frac{u_2}{\sin\gamma}$$

$$\sin\alpha_1 = \frac{x_2}{u_2}\sin\gamma = \frac{vt_2}{ct_2}\sin\gamma = \frac{v}{c}\sin\gamma$$

$$\sin\alpha_1 = \frac{v}{c}\sin\gamma$$

$$\cos\alpha_1 = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}\sin^2\gamma}$$

$$\alpha_2 = \alpha_1$$

Na kulę znajdującą się w punkcie A działa siła przyciągania F_1 (mająca zwrot wektora $\overrightarrow{AB'}$)

$$F_1 = G\frac{m^2}{u_2^2}$$

pochodząca od kuli B tak jakby ta ostatnia znajdowała się w punkcie B'.

Składowa tej siły równoległa do pręta ma wartość

$$F_1' = G\frac{m^2}{u_2^2}\cos\alpha_1,$$

natomiast składowa prostopadła do pręta

$$F_1'' = G\frac{m^2}{u_2^2}\sin\alpha_1.$$

Na obiekt 2k, względem środka pręta, działa moment siły określony wzorem

$$M_O = 0{,}5F_2''d - 0{,}5F_1''d.$$

$$M_0 = \frac{Gm^2dv\sin\gamma}{2c}\left(\frac{1}{u_1^2} - \frac{1}{u_2^2}\right)$$

$$M_0 = \frac{Gm^2dv\sin\gamma}{2c} \cdot \frac{4v\cos\gamma\sqrt{c^2-v^2\sin^2\gamma}}{d^2c^2}$$

$$M_0 = \frac{2Gm^2v^2\sin\gamma\cos\gamma\sqrt{c^2-v^2\sin^2\gamma}}{dc^3}$$

$$M_0 = \frac{Gm^2\, sin\, 2\gamma}{d}\left(\frac{v}{c}\right)^2\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}sin^2\gamma}$$

Dla $\gamma \neq 0$ i $\gamma \neq \frac{\pi}{2}$ moment siły jest różny od zera i stara się ustawić obiekt 2k równolegle do kierunku ruchu.

Równolegle do pręta działa wypadkowa siła

$$F_r = F_2' - F_1'$$

o zwrocie od punktu B do punktu A.

$$F_r = F_2' - F_1' = \frac{Gm^2}{u_1^2}\cos\alpha_2 - \frac{Gm^2}{u_2^2}\cos\alpha_1$$

$$F_r = Gm^2\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}\sin^2\gamma}\left(\frac{1}{u_1^2} - \frac{1}{u_2^2}\right)$$

$$F_r = \frac{4Gm^2v\cos\gamma}{d^2c}\left(1-\frac{v^2}{c^2}\sin^2\gamma\right)$$

$$F_r = \frac{4Gm^2 \cos\gamma}{d^2} \cdot \frac{v}{c}\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\sin^2\gamma\right)$$

Prostopadle do pręta działa siła

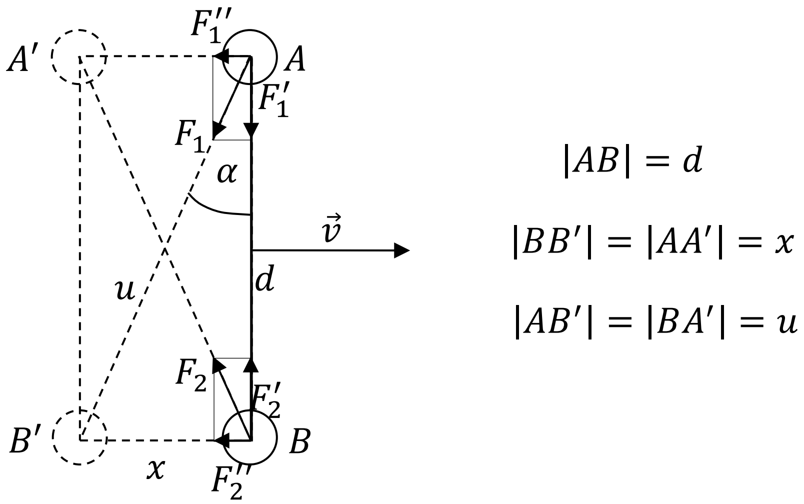
$$F_p = F_2'' + F_1''.$$

$$F_p = F_2'' + F_1'' = \frac{Gm^2}{u_1^2}\sin\alpha_2 + \frac{Gm^2}{u_2^2}\sin\alpha_1$$

$$F_p = \frac{Gm^2 v \sin\gamma}{c}\left(\frac{1}{u_1^2} + \frac{1}{u_2^2}\right)$$

$$F_p = \frac{Gm^2 v \sin\gamma}{c} \cdot \frac{2[c^2 - v^2(\sin^2\gamma - \cos^2\gamma)]}{d^2 c^2}$$

$$F_p = \frac{2Gm^2 \sin\gamma}{d^2} \cdot \frac{v}{c} \cdot \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\cos 2\gamma\right)$$



Rys. 1.1.2.

W przypadku $\gamma = \frac{\pi}{2}$ moment siły $M_O = 0$, $F_r = 0$ i obiekt 2k porusza się bez zmiany swojego ustawienia względem wektora prędkości. To ustawienie nie jest stabilne. Wystarczy niewielka zmiana tego ustawienia i na ten obiekt działa moment siły starający się ustawić go równolegle do wektora prędkości.
Na obiekt 2k działa siła

$$F_p = F_2'' + F_1'',$$

przeciwnie do zwrotu wektora prędkości, która hamuje ruch tego obiektu.

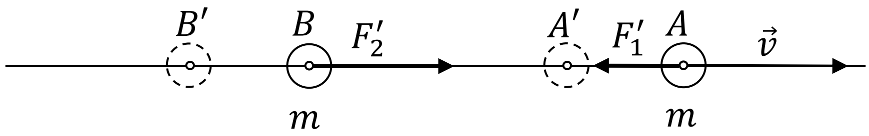
$$F_p = \frac{2Gm^2}{d^2} \cdot \frac{v}{c} \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)$$

$$\overrightarrow{F_p} = -\frac{2Gm^2}{d^2 c}\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)\vec{v}$$

Układ złożony z tych kul jest więc hamowany, siłą F_p, ze względu na ich wzajemne oddziaływanie grawitacyjne. Hamowanie to wystąpi, gdy tylko siła $F_1 > 0$. W tych obliczeniach nie uwzględniałem oddziaływania grawitacyjnego między cząstkami dla każdej z tych kul z osobna. Efektu hamowania dla układu obu kul nie byłoby wtedy, gdyby na pojedynczą kulę działała siła przeciwna do siły F_1 pochodząca z wzajemnego oddziaływania grawitacyjnego cząstek tej kuli. Wtedy jednak jedna kula poruszająca się z prędkością v w układzie inercjalnym byłaby przyspieszana tylko ze względu na wzajemne oddziaływanie grawitacyjne swoich cząsteczek.

Siły te są bardzo małe w zwykłych warunkach, ale z przyjętych założeń wynika, że istnieją.

Jeżeli każda kula ma masę $100\ kg$, odległość między nimi jest $2\ m$ i kule poruszają się z prędkością $10\frac{km}{s}$, to siła działająca na nie jest w przybliżeniu równa $10^{-11}\ N$. Przyspieszenie działające na te kule jest $5 \cdot 10^{-13}\ \frac{m}{s^2}$.



Rys.1.1.3.

W przypadku $\gamma = 0$ moment siły $M_O = 0$, $F_p = 0$ i obiekt 2k porusza się bez zmiany swojego ustawienia względem wektora prędkości. To ustawienie jest stabilne. Jeżeli zmienimy to ustawienie to na obiekt działa moment siły starający się przywrócić poprzednie ustawienie.

Siła wypadkowa działająca na układ kul jest równa

$$F_r = F_2' - F_1'.$$

$$F_r = \frac{4Gm^2 v}{d^2 c}$$

Siła F_r ma zwrot zgodny ze zwrotem wektora prędkości i powoduje wzrost prędkości układu złożonego z kuli A i kuli B.

$$\overrightarrow{F_r} = \frac{4Gm^2}{d^2 c}\vec{v}$$

$$\overrightarrow{F_r} = \delta\vec{v},$$

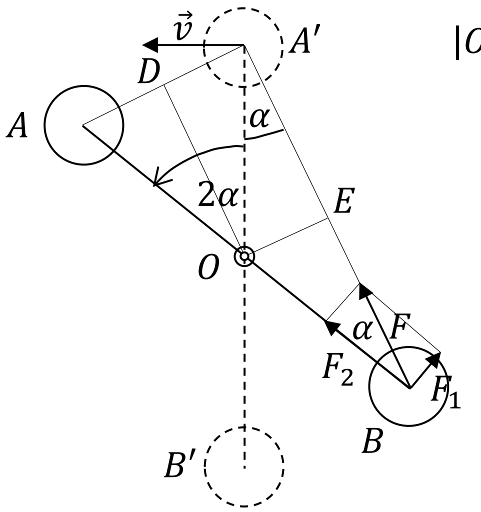
gdzie

$$\delta = \frac{4Gm^2}{d^2c}\,.$$

Jeżeli uwzględnimy skracanie długości w kierunku ruchu to zamiast długości d należy podstawić

$$d\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}cos^2\,\gamma}\,.$$

Weźmy dwie jednakowe kule, o masie m każda, połączone sztywnym prętem o długości $2r$. Kule poruszają się po okręgu o promieniu r dookoła środka pręta O z prędkością liniową v, w układzie inercjalnym UI.



$$|OA| = |OA'| = |OB| = |OB'| = r$$

$$sin\,\alpha = \frac{v\cdot\Delta t}{2r} \quad cos\,\alpha = \frac{u}{2r}$$

$$|A'B| = u \quad u = c\cdot\Delta t$$

$$F = \frac{Gm^2}{u^2} = \frac{Gm^2}{c^2\cdot\Delta t^2}$$

$$F_1 = F\,sin\,\alpha$$

Rys. 1.1.4.

W czasie Δt, gdy światło przebędzie odległość $|A'B|$, pręt obróci się o kąt 2α.

$$\sin^2\alpha + \cos^2\alpha = \frac{v^2\Delta t^2+u^2}{4r^2} = \frac{v^2\Delta t^2+c^2\Delta t^2}{4r^2} = \frac{v^2+c^2}{4r^2}\Delta t^2 = 1$$

$$\Delta t = \frac{2r}{\sqrt{c^2+v^2}}$$

Na kulę B działa siła

$$F_1 = \frac{Gm^2}{c^2\Delta t^2}\cdot\frac{v\Delta t}{2r} = \frac{Gm^2 v}{2rc^2\Delta t}$$

prostopadła do pręta AB.

$$F_1 = \frac{Gm^2 v}{4r^2 c}\sqrt{1+\frac{v^2}{c^2}}$$

Na kulę A działa siła równa, co do wartości F_1, ale przeciwnie skierowana. Układ dwu kul obracający się dookoła środka ciężkości z prędkością kątową różną od zera, zwiększa swoją prędkość ze względu na wzajemne oddziaływanie grawitacyjne swoich cząstek.

Jeżeli każda kula ma masę $100\,kg$ i porusza się z prędkością $2\frac{km}{s}$ po okręgu o promieniu $10\,m$ (gdyby to było możliwe), to siła F_1 działająca na każdą z nich jest w przybliżeniu równa $10^{-14}\,N$. Przyspieszenie jest $10^{-16}\,\frac{m}{s^2}$.

Dwie gwiazdy o zbliżonej masie obiegające wspólny środek masy powinny poruszać się z coraz większą prędkością kątową, czego w rzeczywistości się nie obserwuje ze względu na znikome wartości działających sił w porównaniu z innymi siłami, które na te gwiazdy działają.

Dla ciała materialnego w kształcie kuli efekt przyspieszania lub hamowania jest znikomy lub zerowy.

Pokazane wyżej efekty są wynikiem początkowego założenia: oddziaływanie grawitacyjne dwóch materialnych ciał jest ich wzajemnym przyciąganiem i to oddziaływanie jest przekazywane z jednego ciała do drugiego z prędkością światła c. Pokazane wyżej efekty wystąpią również dla dowolnej skończonej prędkości rozchodzenia się oddziaływania grawitacyjnego.

Na obiekt 2k działa siła hamująca lub przyspieszająca, w zależności od jego ustawienia w stosunku do wektora prędkości, gdy te kule poruszają się z prędkością v w układzie inercjalnym UI. Siły te są jedynie wynikiem wzajemnego oddziaływania grawitacyjnego kul obiektu 2k. Stanowi to sprzeczność z zasadą zachowania pędu.

Wielkość tej siły zależy od prędkości kul w układzie inercjalnym UI. Można wybrać takie układy inercjalne, w których ta siła nie istnieje, jeśli kule są w spoczynku lub takie, w których ta siła jest bardzo duża. Stanowi to sprzeczność z zasadą względności.

Początkowo sądziłem, że opisane efekty są niemożliwe ze względu na zasady zachowania energii i pędu. Potem jednak zrozumiałem, że te efekty mogą występować w rzeczywistości i nie naruszają zasad zachowania pędu i energii. Można je wyjaśnić w przedstawionej dalej teorii, w której oddziaływanie grawitacyjne polega na wymianie energii i pędu między cząstkami materii oraz cząstkami przestrzeni za pośrednictwem grawitonów, poruszających się z prędkością światła. Opisane efekty są przykładami wymiany pędu i energii między ciałami materialnymi oraz cząstkami przestrzeni i cząstkami materii Wszechświata. Układy ciał materialnych nigdy nie są izolowane od pozostałych cząstek Wszechświata. Zasady zachowania pędu i energii należy uogólnić tak, aby uwzględniały oddziaływanie materialnych ciał również z pozostałymi cząstkami materii i cząstkami przestrzeni. W dalszym ciągu zakładam, że prędkości kul są małe w stosunku do prędkości światła.

Jeżeli oddziaływanie grawitacyjne rozchodzi się ze skończoną prędkością, to nie mogą istnieć dwa układy inercjalne poruszające się względem siebie z prędkością $\vec{v} \neq 0$, w których na unieruchomiony w tych układach, dowolnie zorientowany obiekt 2k nie działają żadne siły.

Jeżeli istnieje wyróżniony inercjalny układ UI, w którym na unieruchomiony, dowolnie zorientowany obiekt 2k nie działają żadne siły, to w układzie U_1 poruszającym się z prędkością

$$\vec{v}_1 \neq \vec{0},$$

względem UI, na unieruchomiony obiekt 2k ustawiony równolegle do wektora $\vec{v}_1$ działa siła

$$\vec{F}_{r1} = \delta \vec{v}_1,$$

gdzie

$$\delta = \frac{4Gm^2}{d^2c}.$$

Jeżeli inercjalny układ U_2 porusza się z prędkością $\vec{v}_2$ względem U_1, a więc z prędkością $\vec{v}_1 + \vec{v}_2$ względem UI, to na unieruchomiony obiekt 2k ustawiony równolegle do wektora $\vec{v}_1 + \vec{v}_2$ działa siła

$$\vec{F}_{r2} = \delta(\vec{v}_1 + \vec{v}_2) = \delta\vec{v}_1 + \delta\vec{v}_2.$$

Taki wyróżniony układ UI istnieje. Jeżeli obserwator O związany z układem inercjalnym U_1 stwierdzi, że na unieruchomiony, dowolnie zorientowany obiekt 2k nie działa żadna siła, to znaczy, że U_1 jest układem UI. W przeciwnym przypadku obserwator ustawia obiekt 2k tak, aby $M_O = 0$ i $F_p = 0$.

Jeżeli na obiekt 2k przy takim ustawieniu działa siła o wartości $\vec{F}_r$, to obserwator O porusza się względem układu UI z prędkością

$$\vec{v} = \frac{1}{\delta}\vec{F}_r$$

i wyróżnionym układem UI jest taki, który porusza się względem niego z prędkością

$$\vec{v} = -\frac{1}{\delta}\vec{F}_r.$$

Wektor $\vec{v}$ jest równoległy do pręta łączącego kule. Dla każdego układu inercjalnego U_1 wyróżniony układ UI jest taki sam z dokładnością do przesunięcia i obrotu.

Obserwator O znajdujący się w zamkniętym pomieszczeni może stwierdzić, z jaką prędkością $\vec{v}$ porusza się względem wyróżnionego układu UI bez wyglądania na zewnątrz. Wyróżniony układ UI jest układem lokalnym.

Jeżeli oddziaływanie grawitacyjne rozchodzi się z prędkością światła, to zasada względności nie jest prawdziwa. Można ją jednak stosować z bardzo dobrym przybliżeniem.

Jeżeli przyjmiemy, że zasada względności jest prawdziwa, to prędkość rozchodzenia się oddziaływania grawitacyjnego jest nieskończona. Wówczas trzeba przyjąć, że istnieje pewien wyróżniony układ odniesienia, w którym oddziaływanie grawitacyjne rozchodzi się z nieskończoną prędkością. Niezależnie od tego czy prędkość rozchodzenia się oddziaływania grawitacyjnego jest skończona czy nieskończona musimy przyjąć istnienie wyróżnionego układu odniesienia, w którym grawitacja ma szczególny charakter.

Założenie, że oddziaływanie grawitacyjne rozchodzi się z nieskończoną prędkością wydaje się trudne do przyjęcia.

W dalszym ciągu przyjmuję, że grawitony poruszają się z prędkością światła.

Z tego założenia wynika, że oddziaływanie grawitacyjne rozchodzi się z prędkością światła.

1.2. Ruch elementarnej cząstki materii lub przestrzeni

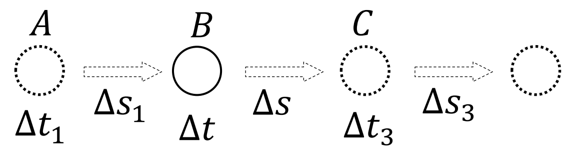
W rozdziale 1 przyjmuję minimalną liczbę koniecznych założeń, z których wynika istnienie grawitacji i bezwładności ciał zgodnie ze znanymi faktami potwierdzonymi doświadczalnie.

W mechanice klasycznej i kwantowej przyjmuje się, że ruch elementarnej cząstki jest ciągły, ale to jest tylko założenie. Gdyby elementarna cząstka poruszała się w ten sposób w układzie inercjalnym, wówczas, jak można obliczyć, byłaby hamowana w wyniku jej oddziaływania z grawitonami. Tego w rzeczywistości nie obserwujemy. W układzie inercjalnym cząstka porusza się ruchem jednostajnym. Dlatego powinniśmy zmodyfikować sposób, w jaki poruszają się cząstki elementarne.

Założenie 1.

Wszechświat zbudowany jest z materii i przestrzeni. Przestrzeń (próżnia) tak jak i materia ma budowę cząsteczkową, tzn. przestrzeń nie jest ciągła, lecz jest zbudowana z dyskretnych elementów – cząstek elementarnych.

We Wszechświecie istnieje jeden wyróżniony układ odniesienia UW ***(z dokładnością do przesunięcia i obrotu), w którym ruch cząstki elementarnej ma szczególny charakter. W niektórych miejscach przestrzeni układ*** UW ***może być układem lokalnie inercjalnym, dla obserwatora*** O***, w innych nie.***



Rys. 1.2.1.

Ruch każdej elementarnej cząstki materii lub cząstki przestrzeni, w układzie UW***, nie jest ciągły, ale odbywa się w sposób skokowy. Cząstka w czasie*** Δt_1 ***spoczywa w określonym miejscu*** A ***przestrzeni a następnie momentalnie, w chwili*** t_1***, przenosi się w inne miejsce*** B***. Znika w miejscu*** A ***i pojawia się w miejscu*** B***. Pozostaje w spoczynku w punkcie*** B***, w czasie*** Δt ***a następnie przenosi się momentalnie do miejsca*** C***, wykonując skok na odległość*** Δs ***i tak dalej. Czas spoczynku*** Δt ***w miejscu*** B ***jest równocześnie odstępem czasu między skokiem z*** B ***do*** C***. Przez prędkość cząstki (w zwykłym znaczeniu tego pojęcia), w układzie*** UW***, rozumiem wielkość***

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}.$$

Należy jednak zdawać sobie sprawę, że cząstka w układzie UW ***cały czas pozostaje w spoczynku, niezależnie od jej prędkości*** v***, wykonując jedynie momentalne skoki z jednego punktu do drugiego.***

Elementarna cząstka materii oraz przestrzeni podczas spoczynku w układzie UW posiada pewien pęd $\vec{p}$, który określa odstęp czasu między skokami oraz długość i kierunek skoku. Zwrot wektora przesunięcia

$$\overrightarrow{\Delta s} = \overrightarrow{BC}$$

jest zgodny ze zwrotem wektora pędu cząstki w chwili wykonywania skoku z punktu B do C.

Podczas skoku z jednego miejsca do drugiego położenie cząstki jest nieokreślone i cząstka nie oddziałuje z innymi cząstkami materii lub przestrzeni. Zmiana pędu i energii kinetycznej cząstki może nastąpić tylko wtedy, gdy cząstka pozostaje w spoczynku w układzie UW. Jeżeli z dowolnych przyczyn zmieni się pęd i energia cząstki, to odpowiednio zmieni się długość skoku, czas między jednym a drugim skokiem i wektor jej skoku.

W wyróżnionym układzie odniesienia UW, po wykonaniu skoku, z punktu A do B, cząstka pozostaje w spoczynku w punkcie B w czasie Δt, w zależności od jej masy spoczynkowej (grawitacyjnej) m_0 i pędu p jaki posiada w tym układzie. Pęd cząstki $p = p(t)$ w czasie spoczynku w punkcie B może się zmieniać w zależności od czasu t, liczonego od chwili skoku do punktu B. Na przykład, jeżeli elektron znajduje się w polu elektrycznym.

Po wykonaniu każdego skoku zaczynamy odliczać czas od zera.

Prędkość cząstki

$$v = v(t)$$

w zależności od pędu p jest określona wzorem

$$v = \frac{p}{\sqrt{m_0^2 + \frac{p^2}{c^2}}}.$$

Niech

$$E(t) = pv = \frac{p^2}{\sqrt{m_0^2 + \frac{p^2}{c^2}}},$$

gdzie

$$t \in [0, \Delta t].$$

Jeżeli

$$tE(t) < h \qquad \left(t < \frac{h}{E(t)}\right),$$

to cząstka pozostaje w spoczynku w punkcie B. Skok z punktu B do C następuje w chwili

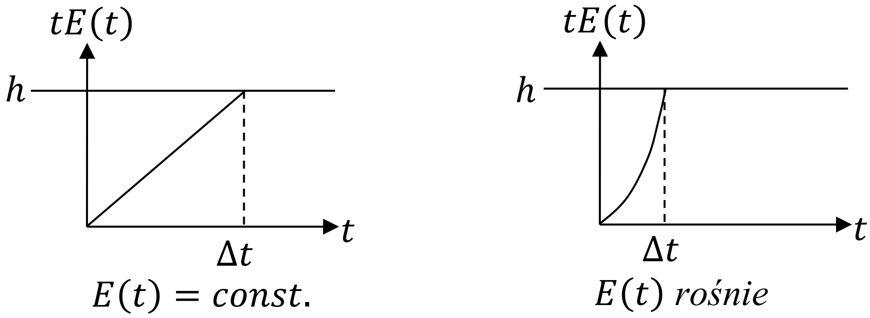
$$t = \Delta t,$$

gdy iloczyn

$$tE(t) = h \qquad \left(t = \frac{h}{E(t)}\right),$$

gdzie h ***jest stałą Plancka.***

Czas $t = \Delta t$ ***po jakim następuje skok z jednego punktu do drugiego jest najmniejszym rozwiązaniem równania*** $tE(t) = h$.



Rys. 1.2.2.

Czas spoczynku Δt ***w punkcie*** B ***(odstęp czasu między kolejnymi skokami)***

$$\Delta t = \frac{h}{E(\Delta t)}.$$

$$\Delta t = \frac{h}{pv} = \frac{h\sqrt{m_0^2 + \frac{p^2}{c^2}}}{p^2},$$

gdzie

$$p = p(\Delta t)$$

jest pędem cząstki w chwili skoku z punktu B ***do*** C.

$$\Delta s = v\Delta t = \frac{h}{p}$$

jest długością jednego skoku cząstki.

Długości skoków

$$|AB| = \Delta s_1,$$

$$|BC| = \Delta s, \ldots$$

są odwrotnie proporcjonalne do pędu cząstki w tym układzie, w momencie skoku.

$$\Delta s = \frac{h}{p}$$

$$\overrightarrow{\Delta s} = \frac{h}{p^2}\vec{p}$$

$$\Delta s = \frac{h}{m_0 v}\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}\ .$$

Ruch cząstki w układzie UW ***jest podobny do ruchu falowego. Jeżeli przyjmiemy,***

$$\lambda = v\Delta t$$

jako długość tej fali, to

$$\lambda = \frac{h}{p}.$$

$$\lambda = \Delta s$$

Częstotliwość tego ruchu

$$n = \frac{1}{\Delta t} = \frac{pv}{h}.$$

$$n = \frac{p^2}{h\sqrt{m_0^2+\frac{p^2}{c^2}}} = \frac{v}{\lambda}$$

$$E(t) = pv = E_k\left(1+\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}\right),$$

gdzie E_k ***jest energią kinetyczną cząstki.***

$$\Delta t = \frac{h}{E_k\left(1+\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}\right)}.$$

$$\Delta s = \frac{hv}{E_k\left(1+\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}\right)}$$

$$n = \frac{E_k\left(1+\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}\right)}{h}$$

Dla małych prędkości, w porównaniu z prędkością światła otrzymujemy.

$$p = m_0 v$$

$$E_k = \frac{m_0 v^2}{2}$$

$$E(t) = 2E_k$$

$$\Delta t = \frac{h}{pv} = \frac{h}{2E_k}$$

$$\Delta s = \frac{h}{p} = \frac{hv}{2E_k}$$

$$n = \frac{pv}{h} = \frac{2E_k}{h}$$

Dla małej prędkości czas spoczynku cząstki Δt jest odwrotnie proporcjonalny do jej energii kinetycznej natomiast ilość skoków n, jakie wykonuje cząstka w jednostce czasu, jest wprost proporcjonalna do jej energii kinetycznej.

Ponieważ $\lim_{v \to c} \Delta s = \lim_{v \to c} \frac{h}{m_0 v}\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 0$, więc prędkość cząstki nie może być większa lub równa od prędkości światła.

Ruch elementarnej cząstki materii wydaje się ciągły, ponieważ odległość, na jaką jest wykonywany skok jest bardzo mała i odstęp czasu między kolejnymi skokami jest bardzo krótki. Wprowadzony sposób ruchu cząstek elementarnych będzie może mniej dziwny, jeżeli zauważymy, że cząstka w swoim ruchu wykazuje własności falowe. Istnienie fali związanej z ruchem materialnej cząstki jest potwierdzone doświadczalnie.

Dla elektronu, w układzie UW, długość skoku, czas między jednym a drugim skokiem i częstotliwość skoków, w zależności od prędkości, są określone w następującej tabeli.

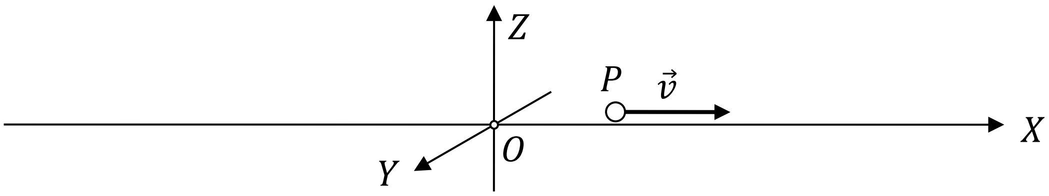
$v \quad \left[\frac{m}{s}\right]$	$\lambda = \Delta s \quad [m]$	$\Delta t \quad [s]$	$n \quad \left[\frac{1}{s}\right]$
1	$7{,}3 \cdot 10^{-4}$	$7{,}3 \cdot 10^{-4}$	$1{,}4 \cdot 10^{3}$
10^3	$7{,}3 \cdot 10^{-7}$	$7{,}3 \cdot 10^{-10}$	$1{,}4 \cdot 10^{9}$
10^6	$7{,}3 \cdot 10^{-10}$	$7{,}3 \cdot 10^{-16}$	$1{,}4 \cdot 10^{15}$

Na ruch elementarnej cząstki należy spojrzeć w nowy sposób. Dotychczas przyjmowałem, że cząstka ma pewien pęd, ponieważ się porusza. W rzeczywistości jest odwrotnie: cząstka się porusza, ponieważ ma określony pęd.

Energia kinetyczna cząstki jest określona jednoznacznie za pomocą pędu i masy spoczynkowej.

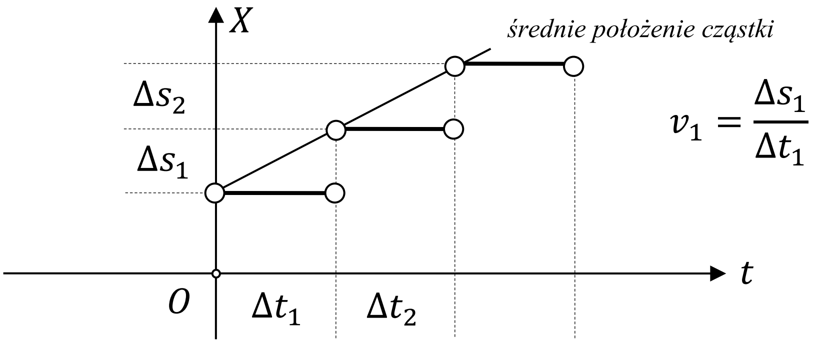
$$E_k = c\sqrt{m_0^2c^2 + p^2} - m_0c^2$$

Weźmy prostokątny układ współrzędnych $OXYZ$, który spoczywa, w inercjalnym układzie UW.



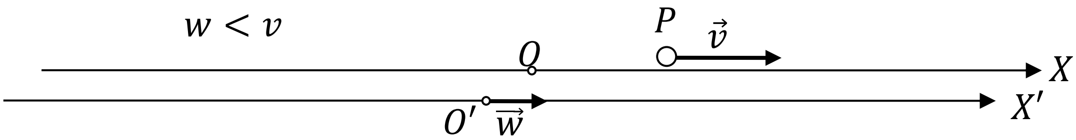
Rys. 1.2.3.

Niech cząstka P porusza się ruchem jednostajnym z prędkością $\vec{v}$ po osi OX, zgodnie z jej zwrotem. Dla obserwatora O położenie x tej cząstki w zależności od czasu t jest pokazane na Rys. 1.2.4..

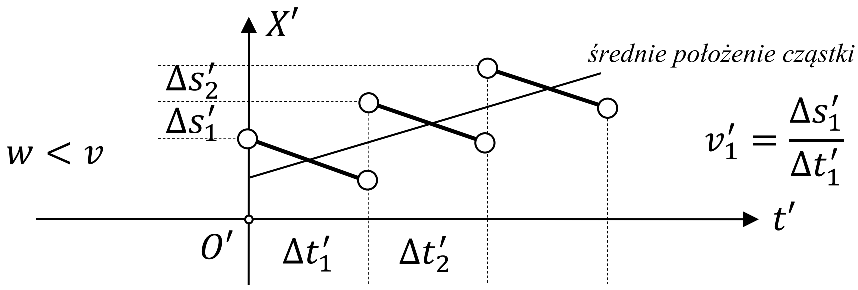


Rys. 1.2.4.

Niech prostokątny układ współrzędnych $O'X'Y'Z'$ porusza się z prędkością $\vec{w}$ względem układu $OXYZ$ tak, że oś $O'X'$ porusza się po osi OX zgodnie z jej zwrotem, przy czym $w < v$.



Rys. 1.2.5

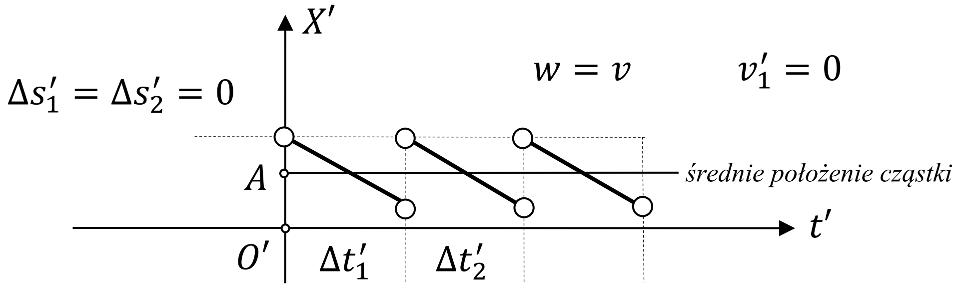


Rys. 1.2.6.

Dla obserwatora O' położenie cząstki zmienia się tak, jak na Rys. 1.2.6..

Ruch elementarnej cząstki w układzie $O'X'Y'Z'$ jest również serią skoków, ale między jednym a drugim skokiem cząstka nie spoczywa w tym układzie, lecz w układzie UW. Dla obserwatora O' związanego z układem $O'X'Y'Z'$ długości skoków oraz czasy spoczynku między skokami, mogą być inne niż w UW, ale są zgodnie ze Szczególną Teorią Względności.

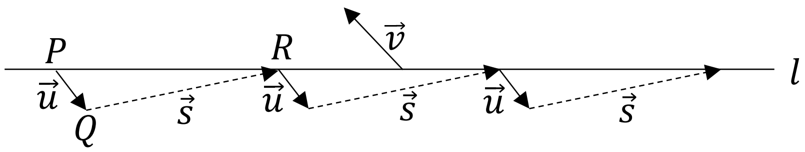
Niech obserwator O' porusza się z prędkością $w = v$.



Rys. 1.2.7.

Dla takiego obserwatora O' cząstka wykonuje pewien rodzaj oscylacji względem stałego punktu A w układzie $O'X'Y'Z'$.

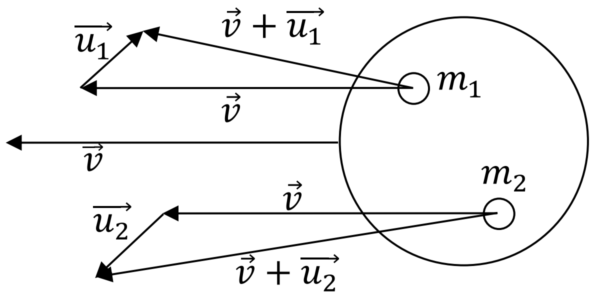
W układzie poruszającym się względem układu UW spoczynek cząstki elementarnej jest niemożliwy.



Rys. 1.2.8.

Niech cząstka elementarna porusza się ruchem jednostajnym wzdłuż prostej l, która porusza się ruchem jednostajnym, z prędkością $\vec{v}$, względem układu UW . Po wykonaniu skoku cząstka znajdzie się w punkcie P na prostej l. Następnie przesuwa się ruchem jednostajnym o wektor $\vec{u}$ do punktu Q (w wyniku ruchu jednostajnego prostej l względem układu UW, w którym ta cząstka pozostaje w spoczynku), potem wykonuje skok o wektor $\vec{s}$ powracając na prostą l do punktu R. Jeżeli cząstka poruszając się w dalszym ciągu po prostej zmniejsza [zwiększa] prędkość, to długości wektorów $\vec{u}$ i $\vec{s}$ w kolejnych skokach stają się odpowiednio większe [mniejsze].

Cząstki elementarne, wchodzące w skład cząstek złożonych, poruszają się skokowo, ale ze względu na wzajemne oddziaływanie (elektromagnetyczne, jądrowe) poruszają się średnio, w większych odstępach czasu, z jednakową prędkością. W bardzo małych odstępach czasu cząstki elementarne, w cząstce złożonej, poruszają się względem siebie ze stale zmieniającymi się prędkościami. Spoczynek cząstek elementarnych tworzących cząstkę złożoną jest niemożliwy.



Rys. 1.2.9.

Weźmy cząstkę złożoną z dwóch cząstek elementarnych o masach m_1 i m_2. Niech cząstka, jako całość porusza się z prędkością $\vec{v}$ w układzie UW. Ze względu na wzajemne oddziaływanie cząstek elementarnych ich prędkości są odpowiednio $\vec{v}+\overrightarrow{u_1}$ oraz $\vec{v}+\overrightarrow{u_2}$.

Suma pędów cząstek elementarnych jest równa

$$\overrightarrow{p_1}+\overrightarrow{p_2}=m_1(\vec{v}+\overrightarrow{u_1})+m_2(\vec{v}+\overrightarrow{u_2})=(m_1+m_2)\vec{v}+m_1\overrightarrow{u_1}+m_2\overrightarrow{u_2}.$$

Ponieważ prędkości $\overrightarrow{u_1}$ i $\overrightarrow{u_2}$ wynikają ze wzajemnego oddziaływania cząstek elementarnych, więc $m_1\overrightarrow{u_1}+m_2\overrightarrow{u_2}=\vec{0}$.

Pęd cząstki, jako całości jest równy

$$\vec{p}=(m_1+m_2)\vec{v}=\overrightarrow{p_1}+\overrightarrow{p_2}.$$

Wektory $\overrightarrow{p_1}$ i $\overrightarrow{p_2}$ są równoległe i mają zgodne zwroty, więc

$$p=p_1+p_2.$$

$$\frac{p}{h}=\frac{p_1}{h}+\frac{p_2}{h}$$

$$\frac{1}{\Delta s}=\frac{1}{\Delta s_1}+\frac{1}{\Delta s_2}$$

Δs_1 i Δs_2 są długościami skoków cząstek elementarnych i Δs jest długością skoku cząstki. Gdyby cząstki elementarne miały równe masy wówczas

$$\Delta s_1=\Delta s_2$$

i

$$\Delta s=\frac{1}{2}\Delta s_1.$$

Dla n cząstek elementarnych tworzących cząstkę złożoną mamy

$$p=\sum_{i=1}^{n}p_i$$

i odpowiednio

$$\frac{1}{\Delta s} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\Delta s_i}.$$

Cząstki elementarne o bardzo małym pędzie i bardzo małej energii kinetycznej, w układzie UW, mogą wykonywać skoki na duże odległości pod warunkiem, że zachowają ten pęd i tą energię kinetyczną przez dostatecznie długi odstęp czasu. Cząstki elementarne w jądrze atomowym również poruszają się skokowo. Jeżeli cząstka elementarna w jądrze atomu uzyska przypadkiem bardzo mały pęd, w układzie UW, to niekiedy może wykonać skok na taką odległość, że znajdzie się poza sferą oddziaływania jądra.

Niech elektron porusza się z malejącą prędkością. Podczas pierwszego skoku miał energię kinetyczną E_{k1}. Przed wykonaniem tego skoku pozostawał w spoczynku w czasie

$$\Delta t_1 = \frac{h}{2E_{k1}}.$$

Następny skok wykona z energią kinetyczną $E_{k2} < E_{k1}$ po upływie czasu

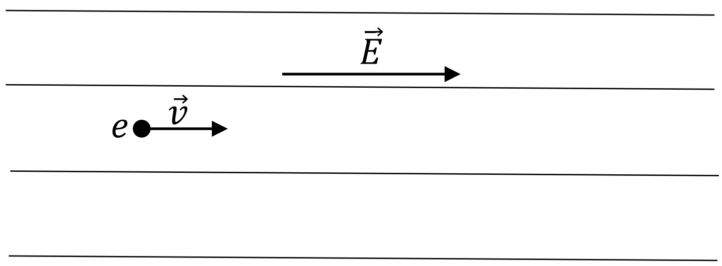
$$\Delta t_2 = \frac{h}{2E_{k2}}.$$

Różnicę energii $E_{k1} - E_{k2}$ emituje w postaci kwantu promieniowania elektromagnetycznego z częstotliwością ν_2.

$$E_{k1} - E_{k2} = h\nu_2$$

$$\frac{h}{2\Delta t_1} - \frac{h}{2\Delta t_2} = h\nu_2$$

$$\nu_2 = \frac{1}{2\Delta t_1} - \frac{1}{2\Delta t_2}$$



Rys. 1.2.10.

Elektron porusza się w polu elektrycznym o natężeniu $\vec{E}$, równolegle do linii siły tego pola, jak na rysunku powyżej.

Na elektron działa siła

$$F = eE$$

zmniejszająca jego prędkość. Opóźnienie z jakim porusza się elektron jest równe

$$a = \frac{F}{m_e} = \frac{eE}{m_e}.$$

Po wykonaniu skoku, w pewnej chwili, prędkość elektronu jest równa v_0. Weźmy funkcję

$$E(t) = m_e(v_0 - at)^2.$$

Następny skok następuje w chwili t w której

$$tE(t) = h.$$

$$tm_e(v_0 - at)^2 = h$$

Oznaczmy

$$D(t) = tm_e(v_0 - at)^2$$

dla

$$t \epsilon \left[0, \frac{v_0}{a}\right].$$

$$D(0) = 0$$

$$D\left(\frac{v_0}{a}\right) = 0$$

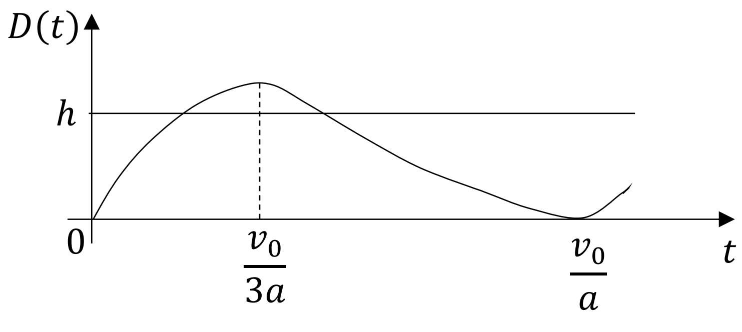
$$D'(t) = m_e(v_0 - at)(v_0 - 3at)$$

Funkcja $D(t)$ ma maksimum dla

$$t = \frac{v_0}{3a}$$

a jej wartość

$$D\left(\frac{v_0}{3a}\right) = \frac{4m_e v_0^3}{27a} = \frac{4m_e^2 v_0^3}{27eE}.$$



Rys. 1.2.11.

Jeżeli

$$D\left(\frac{v_0}{3a}\right) = \frac{4m_e^2 v_0^3}{27eE} \geq h,$$

to skok elektronu nastąpi po czasie

$$t \leq \frac{v_0}{3a} \;.$$

Ten warunek jest spełniony gdy

$$E \leq \frac{4m_e^2 v_0^3}{27eh}.$$

Oznaczmy

$$H(v) = \frac{4m_e^2 v^3}{27eh}.$$

$$E \leq H(v_0) = 1{,}158 \cdot 10^{-9} v_0^3$$

Weźmy

$$v_0 = 3 \cdot 10^7 \ \frac{m}{s}.$$

Wówczas

$$E \leq 3{,}127 \cdot 10^{13} \ \frac{V}{m}.$$

Niech

$$E = 10^{13} \ \frac{V}{m}.$$

$$a = \frac{eE}{m_e} = 1{,}758820174 \cdot 10^{24} \ \frac{m}{s^2}$$

$$t \leq 5{,}685629576 \cdot 10^{-18} \ s$$

Czas t_1 po jakim zostanie wykonany pierwszy skok jest mniejszym rozwiązaniem równania

$$t m_e (v_0 - at)^2 - h = 0$$

w przedziale

$$\left[0, \frac{v_0}{a}\right] \, .$$

$$t(v_0 - at)^2 - 7{,}273895032 \cdot 10^{-4} = 0$$

dla

$$t\epsilon[0; 1{,}705688 \cdot 10^{-17}].$$

Prędkość v_1 po wykonaniu tego skoku jest równa

$$v_1 = v_0 - at_1.$$

Czas t_k, dla $k = 1,2,3, \ldots$, po jakim zostaną wykonane następne skoki jest mniejszym rozwiązaniem równania

$$tm_e(v_{k-1} - at)^2 - h = 0$$

w przedziale

$$\left[0, \frac{v_{k-1}}{a}\right].$$

Prędkość v_k po wykonaniu tego skoku jest równa

$$v_k = v_{k-1} - at_k.$$

Po wykonaniu skoku elektron emituje foton którego częstotliwość obliczamy ze wzoru

$$\nu_k = \frac{m_e}{2h}(v_{k-1}^2 - v_k^2)$$

lub

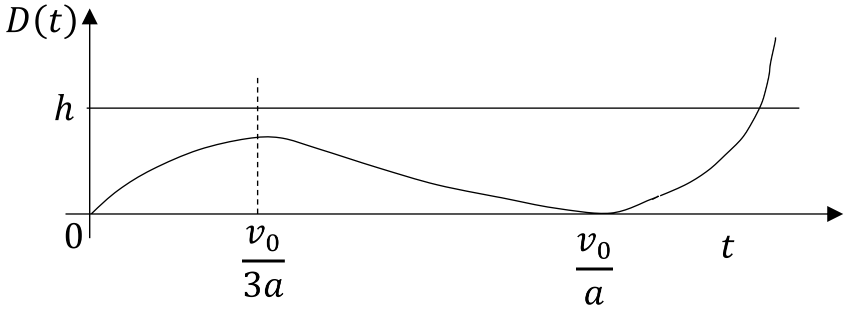
$$\nu_k = \frac{1}{2t_{k-1}} - \frac{1}{2t_k}.$$

k	$t_k\ [s]$	$v_k\ \left[\frac{m}{s}\right]$	$\nu_k\ \left[\frac{1}{s}\right]$
0		$3 \cdot 10^7$	
1	$9{,}008544328935 \cdot 10^{-19}$	$2{,}841555905 \cdot 10^7$	$6{,}362 \cdot 10^{16}$
2	$1{,}02734375 \cdot 10^{-18}$	$2{,}660864614 \cdot 10^7$	$6{,}834 \cdot 10^{16}$
3	$1{,}21453637695313 \cdot 10^{-18}$	$2{,}447249506 \cdot 10^7$	$7{,}501 \cdot 10^{16}$
4	$1{,}53421926879885 \cdot 10^{-18}$	$2{,}177407925 \cdot 10^7$	$8{,}578 \cdot 10^{16}$
5	$2{,}32640624999999 \cdot 10^{-18}$	$1{,}768234900 \cdot 10^7$	$1{,}110 \cdot 10^{17}$

$$E \leq H(v_0) = 3{,}127 \cdot 10^{13} \qquad E \leq H(v_1) = 2{,}589 \cdot 10^{13}$$
$$E \leq H(v_2) = 2{,}125 \cdot 10^{13} \qquad E \leq H(v_3) = 1{,}653 \cdot 10^{13}$$
$$E \leq H(v_4) = 1{,}164 \cdot 10^{13} \qquad E \geq H(v_5) = 6{,}402 \cdot 10^{12}$$

Po wykonaniu piątego skoku nie jest spełniony warunek

$$D\left(\frac{v_0}{3a}\right) \geq h.$$



Rys. 1.2.12.

Jeżeli

$$D\left(\frac{v_0}{3a}\right) = \frac{4m_e^2 v_0^3}{27eE} < h,$$

to w czasie

$$t = \frac{v_0}{a}$$

skoku nie będzie. Wektor pędu elektronu zmieni zwrot na przeciwny i skok nastąpi po czasie

$$t > \frac{v_0}{a}$$

w stronę przeciwną do poprzedniego skoku.

$$v_5 = 1{,}768234900 \cdot 10^7 \ \frac{m}{s}$$

$$E > 1{,}158 \cdot 10^{-9} v_0^3$$

$$E \geq H(v_5) = 6{,}402 \cdot 10^{12} \ \frac{V}{m}$$

$$a = \frac{eE}{m_e} = 1{,}758820174 \cdot 10^{24} \ \frac{m}{s^2}$$

$$t > \frac{v_5}{a} = 1{,}005352864 \cdot 10^{-17} \ s$$

Czas t po jakim nastąpi skok jest jedynym rozwiązaniem równania

$$t m_e (v_5 - at)^2 - h = 0.$$

$$t(v_5 - at)^2 - 7{,}273895032 \cdot 10^{-4} = 0$$

dla

$$t > 1{,}005352864 \cdot 10^{-17} \ s.$$

Rozwiązaniem jest

$$t = 1{,}41325000000004 \cdot 10^{-17}\ s.$$

Prędkość elektronu po wykonaniu skoku jest równa

$$v_6 = a\left(t - \frac{v_5}{a}\right).$$

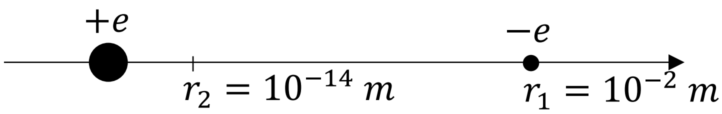
$$v_6 = 7{,}174177109 \cdot 10^{7}\ \frac{m}{s}$$

Ponieważ $v_6 > v_5$ więc elektron nie wyemituje fotonu, zostanie jedynie odrzucony w przeciwną stronę, pobierając pewną energię z pola elektrycznego.

Podczas kolejnych pięciu skoków częstotliwość emitowanych kwantów jest coraz większa. Obliczone wartości ν_k wynikają w prosty sposób z przyjętego założenia, że elementarne cząstki poruszają się w sposób skokowy.

Gdyby elektron poruszał się w sposób ciągły to jak wytłumaczyć emisję fotonów w postaci określonych porcji energii.

Wykonując odpowiednie doświadczenie z hamowaniem elektronu w polu elektrycznym moglibyśmy się przekonać, czy założenie o skokowym ruchu cząstek elementarnych jest prawdziwe.



Rys. 1.2.13.

Elektron spada na proton z odległości r_1 na odległość r_2. (Rys. 1.2.13.)

Jeżeli początkowa energia kinetyczna jest równa zero, to końcową możemy obliczyć ze wzoru

$$\frac{m_e v^2}{2} = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}\right).$$

Prędkość końcowa elektronu

$$v = e\sqrt{\frac{1}{2\pi\varepsilon_0 m_e}\left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}\right)}.$$

Dla podanych odległości

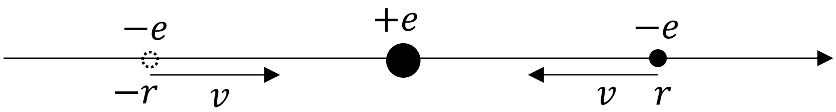
$$v = 1{,}593 \cdot 10^{8}\ \frac{m}{s}.$$

Jeżeli elektron porusza się z taką prędkością, to wykonuje skoki o długości

$$\Delta s = \frac{h}{m_e v} = 4{,}568 \cdot 10^{-12}\ m.$$

W tym przykładzie elektron znajdzie się po drugiej stronie protonu. Dalej elektron wykona kilka skoków tracąc energię kinetyczną przez promieniowanie, następnie wykona kilka skoków lub jeden skok w stronę protonu i znajdzie się po jego drugiej stronie. Ostatecznie elektron będzie przeskakiwał z jednej strony protonu na drugą zachowują jednakową odległość z każdej strony. Również proton będzie wykonywał skoki, ale ze względu na jego dużą masę w stosunku do elektronu, można je pominąć. Przypuszczam, że prawdopodobieństwo trafienia elektronu w proton jest bardzo małe i praktycznie nie występuje.

To, że elektron nie spada na proton jest wnioskiem z przyjętego założenia o skokowym charakterze ruchu cząstek elementarnych.



Rys. 1.2.14.

Obliczmy odległość r dla której elektron, o masie m będzie przeskakiwał z jednej strony protonu na drugą przy zachowaniu odległości od niego. Do odpowiednich równań zamiast h podstawmy

$$\frac{nh}{\pi}$$

dla

$$n = 1,2,3, \dots.$$

Czas t po którym nastąpi skok obliczmy z równania

$$tm_e\left(\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 m_e r^2}t - v\right)^2 = \frac{nh}{\pi}.$$

Odległość jest zachowana gdy

$$\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 m_e r^2}t - v = v.$$

Długość skoku $2r$ obliczamy ze wzoru

$$\frac{\frac{nh}{\pi}}{m_e v} = 2r.$$

Z tych trzech równań otrzymujemy

$$r_n = \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi m_e e^2}n^2,$$

$$t_n = \frac{4\varepsilon_0^2 h^3}{\pi m_e e^4} n^3,$$

$$v_n = \frac{e^2}{2\varepsilon_0 h} \cdot \frac{1}{n},$$

energia kinetyczna elektronu podczas przeskoku

$$E_{kn} = \frac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2},$$

energia potencjalna w odległości r_n jest równa

$$E_{pn} = -\frac{m_e e^4}{4\varepsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2},$$

energia całkowita

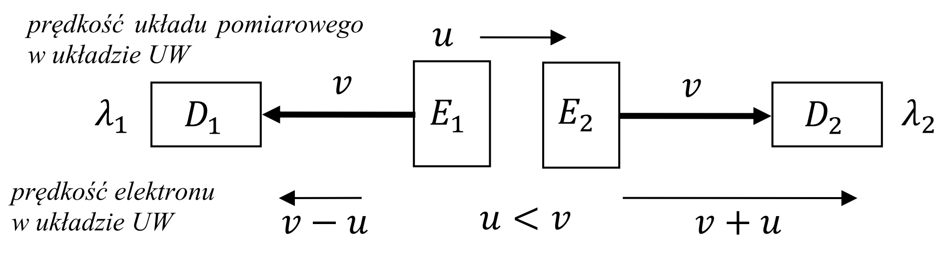
$$E_n = -\frac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2}.$$

r_n i E_n są znanymi wartościami obliczonymi z modelu atomu wodoru Bohra, ale tutaj są wynikiem założenia o skokowym charakterze ruchu cząstek elementarnych. Odległość elektronu od protonu $r_1 = 5{,}292 \cdot 10^{-11}\ m$. Czas po jakim następuje przeskok elektronu $t_1 = 4{,}838 \cdot 10^{-17}\ s$.

Po każdym skoku, przy zachowaniu odległości, elektron ma taką samą energię kinetyczną i potencjalną a więc nie traci energii przez promieniowanie. Atom wodoru możemy sobie wyobrazić jako układ złożony z protonu i elektronu przeskakującego z jednej strony protonu na drugą.

Dla obserwatora związanego z cząstką prędkość światła dochodzącego do cząstki jest taka sama niezależnie od prędkości, z jaką porusza się ta cząstka. Jeżeli zmierzymy prędkość fotonu poruszającego się blisko cząstki, w czasie jej spoczynku w układzie UW, to dla każdej takiej cząstki prędkość tego fotonu jest taka sama i równa c, niezależnie od prędkości v tej cząstki względem układu UW.

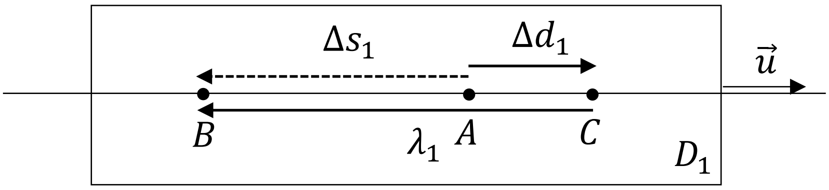
Wykonajmy następujące doświadczenie.



Rys. 1.2.15.

Z urządzeń E_1 i E_2 są emitowane w przeciwne strony, z jednakową szybkością v, elektrony. Następnie te elektrony trafiają do detektorów D_1 i D_2, które mierzą odpowiednie długości fal λ_1 i λ_2 tych elektronów. Detektory D_1 i D_2 oraz emitery E_1 i E_2 leżą na prostej k. Pomiary należy powtarzać przy różnym ustawieniu układu pomiarowego w przestrzeni. Jeżeli jesteśmy w układzie UW, to podczas tych pomiarów elektrony, poruszające się w przeciwne strony, będą miały te same prędkości względem układu UW i odpowiednio równe, odpowiadające im, długości fal. Jeżeli przy pewnym ustawieniu układu pomiarowego elektrony poruszające się w przeciwne strony mają różne długości fal ($\lambda_1 \neq \lambda_2$), to znaczy, że ten układ pomiarowy porusza się względem układu UW. Różnice długości tych fal będą największe, jeżeli elektrony poruszające się w jedną stronę będą miały prędkość porównywalną z prędkością układu pomiarowego $\vec{u}$ względem układu UW oraz gdy prosta k jest równoległa do wektora $\vec{u}$. Jeżeli prosta k jest prostopadła do wektora $\vec{u}$, to $\lambda_1 = \lambda_2$.

Niech układ pomiarowy porusza się z prędkością $\vec{u}$, równoległą do prostej k, względem układu UW.



układ UW

Rys. 1.2.16.

Niech w układzie UW elektron po wykonaniu skoku znajdzie się w punkcie A. Następny skok wykona na odległość

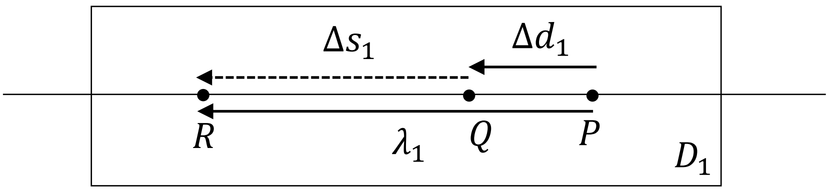
$$\Delta s_1 = \frac{h}{m_e(v-u)}$$

i znajdzie się w punkcie B, po upływie czasu

$$\Delta t_1 = \frac{h}{m_e(v-u)^2}\,.$$

W tym czasie detektor D_1 przesunie się o

$$\Delta d_1 = u\Delta t_1 = \frac{hu}{m_e(v-u)^2}\,.$$



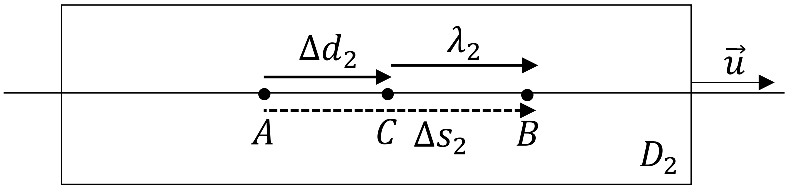
detektor D_1

Rys. 1.2.17.

Według obserwatora związanego z detektorem D_1 elektron po wykonaniu skoku znalazł się w punkcie P, następnie poruszał się ruchem jednostajnym do punktu Q i z tego punktu wykonał skok do punktu R. W efekcie przesunął się na odległość

$$\lambda_1 = \Delta s_1 + \Delta d_1.$$

$$\lambda_1 = \frac{hv}{m_e(v-u)^2}$$



układ UW

Rys. 1.2.18.

W układzie UW elektron po wykonaniu skoku znajdzie się w punkcie A. Następny skok wykona na odległość

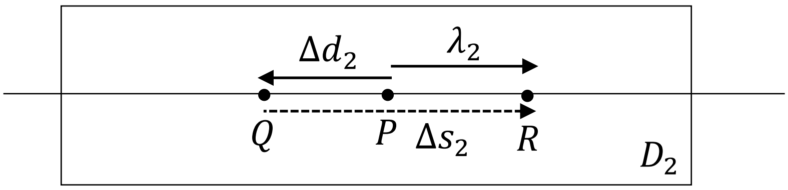
$$\Delta s_2 = \frac{h}{m_e(v+u)}$$

i znajdzie się w punkcie B, po upływie czasu

$$\Delta t_2 = \frac{h}{m_e(v+u)^2}\,.$$

W tym czasie detektor D_2 przesunie się o

$$\Delta d_2 = u\Delta t_2 = \frac{hu}{m_e(v+u)^2}\,.$$



detektor D_2

Rys. 1.2.19.

Dla obserwatora związanego z detektorem D_2 elektron po wykonaniu skoku znalazł się w punkcie P, następnie poruszał się ruchem jednostajnym do punktu Q i z tego punktu wykonał skok do punktu R. W efekcie przesunął się na odległość

$$\lambda_2 = \Delta s_2 - \Delta d_2.$$

$$\lambda_2 = \frac{hv}{m_e(v+u)^2}$$

$$\lambda_1 - \lambda_2 = \frac{hv}{m_e(v-u)^2} - \frac{hv}{m_e(v+u)^2} = \frac{2huv^2}{m_e(v+u)^2(v-u)^2}$$

$$\lambda_1 - \lambda_2 = \lambda_2 \frac{2uv}{(v-u)^2}$$

Być może układ odniesienia UW spoczywa względem mikrofalowego kosmicznego promieniowania tła (CMB). Ziemia porusza się względem CMB w przybliżeniu z prędkością $u = 600 \frac{km}{s}$. Jeżeli tak jest rzeczywiście, to swobodny elektron, spoczywający względem Ziemi, wykonuje w przybliżeniu rodzaj drgań z częstotliwością $5 \cdot 10^{14} \frac{1}{s}$ i amplitudą $1{,}2 \cdot 10^{-9}\ m$. Każda elementarna cząstka znajdująca się w pobliżu innych cząstek wykonuje, względem Ziemi, chaotyczne ruchy ze zmienną częstotliwością i amplitudą. W układzie poruszającym się względem układu UW spoczynek cząstki elementarnej jest niemożliwy.

Jeżeli $u = 600 \frac{km}{s}$ i elektron porusza się z prędkością $v = 3000 \frac{km}{s}$, to $\lambda_1 - \lambda_2 = 0{,}6\lambda_2$. Jeżeli $u = 600 \frac{km}{s}$ i $v = 30000 \frac{km}{s}$, to $\lambda_1 - \lambda_2 = 0{,}04\lambda_2$.

Dla $v = 100000 \frac{km}{s}$ $\lambda_1 - \lambda_2 = 0{,}012\lambda_2$.

Jeżeli układ UW jest określony inaczej to różnica $\lambda_1 - \lambda_2$ może być inna.

Dla $v \gg u$ długości skoków w obydwu detektorach są w przybliżeniu równe

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \frac{h}{m_e v}\,.$$

1.3. Oddziaływanie grawitacyjne między elementarnymi cząstkami materii i przestrzeni, pęd i energia przekazywane przez grawiton

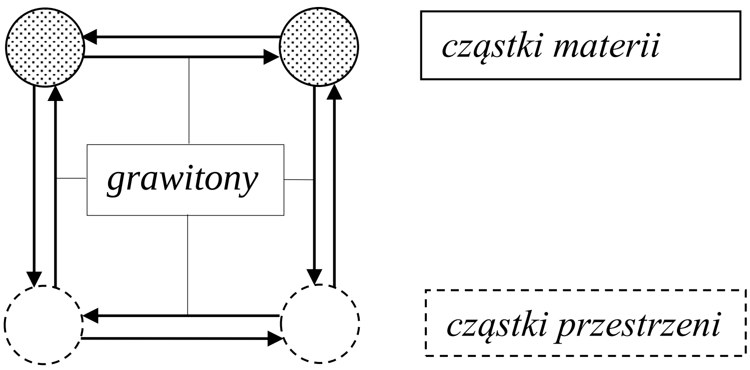
Obecność jednego ciała materialnego w przestrzeni fizycznej (próżni) powoduje, że na inne ciało materialne działa siła grawitacyjna. Nie oznacza to jednak, że oddziaływanie grawitacyjne zachodzi między ciałami materialnymi. Jest to widoczne w OTW. Na ruch ciała wpływa zakrzywienie czasoprzestrzeni, które może być wywołane przez obecność w przestrzeni materii, a nie oddziaływanie między ciałami. Obecność ciała materialnego A w pobliżu ciała B powoduje jedynie zmianę oddziaływania czasoprzestrzeni na ciało B, w stosunku do oddziaływania czasoprzestrzeni bez obecności ciała A.

Brak jednak wyjaśnienia, dlaczego materialne ciało zakrzywia czasoprzestrzeń (oddziałuje na przestrzeń i czas) i w jaki sposób czasoprzestrzeń oddziałuje na drugie ciało.

Założenie 2.

Elementarna cząstka materii oraz przestrzeni jest kulą, o bardzo małym promieniu, która ma, między innymi, następujące właściwości: energię wewnętrzną, energią kinetyczną i pęd.

Między cząstkami elementarnymi występuje oddziaływanie grawitacyjne, polegające na przekazywaniu z jednej cząstki elementarnej do drugiej cząstki elementarnej pewnego pędu i energii za pośrednictwem cząsteczki – grawitonu. Oddziaływanie grawitacyjne zachodzi między parą cząstek materii lub parą cząstek przestrzeni lub między cząstką materii i cząstką przestrzeni, w losowo wybranych chwilach czasu



Rys. 1.3.1.

Cząstki materii mogą oddziaływać ze sobą bezpośrednio podczas zderzeń. Podobnie mogą oddziaływać ze sobą cząstki przestrzeni. Natomiast cząstki materii i przestrzeni nie oddziałują bezpośrednio ze sobą, mogą oddziaływać jedynie za pomocą grawitonów.

Elementarne cząstki materii oraz przestrzeni emitują grawitony wirtualne, poruszające się z prędkością światła c, które mogą być absorbowane przez inne elementarne cząstki materii lub przestrzeni. Od chwili emisji grawitonu wirtualnego przez cząstkę do chwili jego absorpcji przez inną cząstkę jego energia i pęd są nieokreślone. W tym czasie pęd i energia cząstki, która wyemitowała

ten grawiton, pozostają niezmienione. Cząstka Q i wirtualny grawiton pozostają w stanie splątania kwantowego pędu i energii. Grawiton wirtualny nie jest samodzielną cząstką, istnieje tylko w powiązaniu z cząstką materii lub przestrzeni, która go wyemitowała. Grawiton oddziałuje z cząstką, jeżeli przekazuje jej pęd i energię. Jeżeli wirtualny grawiton g jest absorbowany przez cząstkę P, to dla obserwatora O_P związanego z cząstką P, grawiton staje się rzeczywisty i jego pęd $\vec{p}$ oraz energia E zostają ustalone i momentalnie przekazane tej cząstce.

Ustalenie pędu i energii grawitonu podczas jego absorpcji przez cząstkę P, znajdującej się w punkcie A, wpływa natychmiast na zmianę pędu i energii cząstki Q, znajdującej się w punkcie B, niezależnie od dzielącej te cząstki odległości. W wyniku absorpcji grawitonu przez cząstkę P, cząstce Q jest przekazany pęd $-\vec{p}$ i energia $-E$, według obserwatora O_Q znajdującego się blisko cząstki Q.

Oddziaływanie między cząstkami za pośrednictwem grawitonu jest nielokalne.

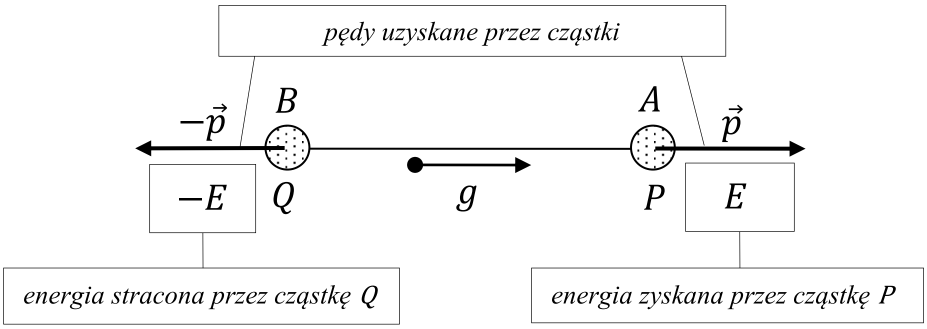
Jeżeli w chwili absorpcji grawitonu cząstka P znajduje się w punkcie A i cząstka Q w punkcie B, to dla obserwatora O_P, grawiton rzeczywisty uzyskuje pęd $\vec{p}$ i energię E określone wzorami

$$\vec{p} = \frac{h}{|AB|} \cdot \frac{\overrightarrow{BA}}{|AB|}$$

i

$$E = pc \, .$$

h jest stałą Plancka i c jest prędkością światła.



grawiton został wyemitowany z cząstki Q i zaabsorbowany przez cząstkę P

Rys. 1.3.2.

Pęd grawitonu rzeczywistego ma zwrot zgodny ze zwrotem wektora $\overrightarrow{BA}$. Cząstce Q jest przekazany pęd skierowany przeciwnie do pędu, jaki został przekazany do cząstki P i z cząstki Q jest pobrana energia, jaką uzyskała cząstka P za pośrednictwem grawitonu.

Zmiana pędu i energii cząstki jest skokowa. Cząstka absorbuje i emituje grawitony tylko podczas spoczynku w układzie UW. Podczas skoku z jednego miejsca do drugiego cząstka nie oddziałuje z grawitonami i jej położenie jest nieokreślone. Wartość przekazanego pędu i energii nie zależy od prędkości cząstek Q i P, zależy jedynie od położenia punktów A i B.

Jeżeli w wyniku oddziaływania cząstki z grawitonami zmieni się jej pęd i energia, to odpowiednio zmieni się długość skoku, czas między jednym a drugim skokiem i wektor jej skoku.

Cząstka Q może być zarówno cząstką materii lub cząstką przestrzeni, P również cząstką materii lub cząstką przestrzeni.

Jeżeli odległość między cząstkami Q i P jest mniejsza od $d_w = 10^{24}\ m$, to każdy wirtualny grawiton wyemitowany przez cząstką Q, który znajdzie się na powierzchni cząstki P, nie jest absorbowany przez cząstkę P i przestaje istnieć.

Jeżeli odległość między cząstkami Q i P jest większa lub równa od odległości $d_w = 10^{24}\ m$, to grawiton wirtualny wyemitowany przez cząstkę Q, który znajdzie się na powierzchni cząstki P, zostaje zaabsorbowany przez cząstkę P (zostaną przekazane pęd i energia z cząstki Q do P) lub przestaje istnieć, w zależności od stanu energii wewnętrznej cząstki Q.

Energia przekazana przez grawiton $E \le \frac{hc}{d_w} = 1{,}98 \cdot 10^{-49}\ J$ i odpowiednio pęd $p \le \frac{h}{d_w} = 6{,}63 \cdot 10^{-58}\ Ns$.

Oddziaływanie grawitacyjne może wystąpić między dwiema dowolnymi cząstkami materii lub przestrzeni znajdującymi się we Wszechświecie, których odległość jest większa od d_w.

Ilość grawitonów absorbowanych przez elementarną cząstkę materii lub przestrzeni, w jednostce czasu, w ustalonych warunkach jest stała. Między ilością grawitonów emitowanych i absorbowanych przez cząstkę występuje równowaga. Energia przekazana cząstce, w czasie Δt, przez grawitony przez nią absorbowane jest równa energii uniesionej z tej cząstki przez grawitony przez nią emitowane, w tym samym czasie.

Elementarne cząstki materii, jak również elementarne cząstki przestrzeni, emitują grawitony równomiernie w każdym kierunku. Natomiast ilości grawitonów absorbowanych, przez cząstkę materii lub przestrzeni, mogą być inne z różnych kierunków.

Elementarne cząstki emitują grawitony od chwili, gdy Wszechświat miał jeszcze niewielkie rozmiary. Każda elementarna cząstka jest otoczona przez ogromną ilość wirtualnych grawitonów z nią związanych, znajdujących się w różnych odległościach od tej cząstki, nieustannie emitowanych i oddalających się od niej z prędkością światła. Dlatego w obecnym czasie z elementarnymi cząstkami Ziemi mogą oddziaływać grawitony powiązane z elementarnymi cząstkami materii i przestrzeni znajdującymi się nawet na krańcach Wszechświata.

W każdej chwili swojego istnienia Wszechświat rozszerza się z prędkością mniejszą od prędkości światła.

Oddziaływanie grawitacyjne między cząstkami elementarnymi nie zależy od ich wzajemnej prędkości, ponieważ podczas tego oddziaływania pozostają względem siebie w spoczynku, ze względu na skokowy charakter ich ruchu.

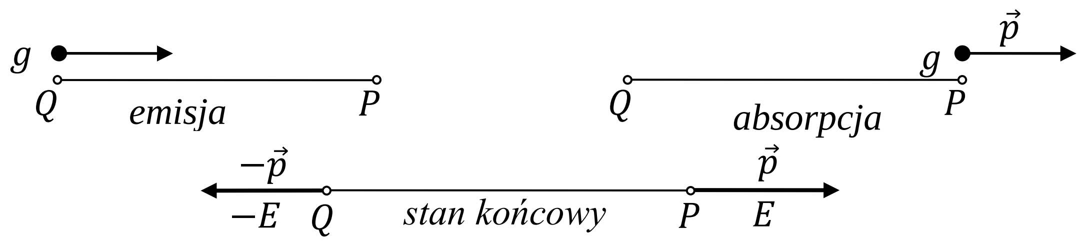
Grawiton wirtualny porusza się z prędkością światła. „Dla grawitonu" chwila jego emisji z cząstki Q jest równocześnie chwilą jego absorpcji przez cząstkę P i „dla niego" odległość między cząstkami jest równa zero. Dlatego w chwili jego emisji jest równocześnie ustalony pęd przekazany do cząstki Q jak również energia pobrana z tej cząstki. Równocześnie w tej samej chwili „według grawitonu" są przekazane do cząstki P odpowiedni pęd i odpowiednia energia.

Dla dowolnego ustalonego obserwatora O grawiton wirtualny od chwili jego emisji do chwili jego absorpcji może poruszać się miliardy lat, ale dla grawitonu chwile jego emisji i absorpcji są identyczne, niezależnie od odległości między cząstkami P i Q.

Obserwator znajdujący się blisko elementarnej cząstki może stwierdzić (przynajmniej teoretycznie), że w pewnej chwili nastąpiła zmiana pędu i energii tej cząstki. Stąd może wyciągnąć wniosek, że nastąpiła emisja lub absorpcja grawitonu przez cząstkę, odpowiednio do zmiany energii cząstki. W zależności od zmiany wektora pędu cząstki mógłby określić kierunek ruchu grawitonu i odległość między punktem jego emisji i absorpcji.

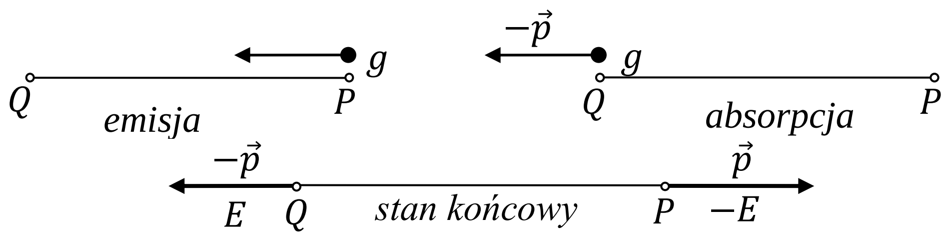
W praktyce takie obserwacje są niewykonalne ze względu na ogromną liczbę oddziaływań cząstki z grawitonami w czasie jednej sekundy i znikome wartości pędu i energii przekazywane do cząstki przez grawiton. Można jedynie obserwować sumaryczną zmianę pędu i energii cząstki, w pewnym przedziale czasu, w wyniku jej oddziaływania z innymi cząstkami, za pośrednictwem grawitonów.

Zamiast mówić: w chwili t absorpcji grawitonu przez cząstkę P, grawiton uzyskuje pewien pęd i energię, które momentalnie przekazuje cząstce P; możemy powiedzieć: w chwili t absorpcji grawitonu przez cząstkę P, z cząstki Q są przekazane pewien pęd i pewna energia do cząstki P. Grawiton tworzy między cząstkami Q i P kanał, przez który z cząstki Q są przekazywane pęd i energia do cząstki P.



Rys. 1.3.3.

Jeżeli grawiton g został wyemitowany z cząstki Q i zaabsorbowany przez cząstkę P, to przekazuje do cząstki P pęd $\vec{p}$ i energię E. Dla cząstki Q nastąpi zmiana pędu o wektor $\Delta\vec{p}_{czQ} = -\vec{p}$ i zmiana energii o $\Delta E_{czQ} = -E$, natomiast dla cząstki P zmiana pędu jest równa $\Delta\vec{p}_{czP} = \vec{p}$ i zmiana energii $\Delta E_{czP} = E$.



Rys. 1.3.4.

Jeżeli grawiton został wyemitowany z cząstki P i zaabsorbowany przez cząstkę Q, to przekazuje do cząstki Q pęd $-\vec{p}$ i energię E. Dla cząstki Q zmiana pędu $\Delta\vec{p}_{czQ} = -\vec{p}$ i zmiana energii $\Delta E_{czQ} = E$, natomiast dla cząstki P zmiana pędu $\Delta\vec{p}_{czP} = \vec{p}$ i zmiana energii $\Delta E_{czP} = -E$.

W obydwu przypadkach zmiana pędu dla cząstki Q jest taka sama. Podobnie jest dla cząstki P. Natomiast energia jest przeniesiona z cząstki emitującej grawiton do cząstki absorbującej ten grawiton. W wyniku tego oddziaływania na te cząstki działają siły wzajemnego odpychania.

Oddziaływanie cząstek Q i P, za pośrednictwem grawitonu, zmienia pędy i energie tych cząstek tak, że $\Delta\vec{p}_{czQ} + \Delta\vec{p}_{czP} = \vec{0}$ i $\Delta E_{czQ} + \Delta E_{czP} = 0$. Wektor $\Delta\vec{p}_{czQ}$ ma zwrot zgodny ze zwrotem wektora $\overrightarrow{PQ}$, wektor $\Delta\vec{p}_{czP}$ ma zwrot zgodny ze zwrotem wektora $\overrightarrow{QP}$. Zmiana pędu układu cząstek Q i P jest wektorem zerowym, zmiana energii tego układu jest równa zero.

Wymiana grawitonów między cząstkami materii oraz przestrzeni nie zmienia całkowitego pędu i całkowitej energii Wszechświata.

Iloczyn energii przekazywanej przez grawiton i czasu potrzebnego na przebycie grawitonu między cząstkami jest równy

$$Et = \frac{hc}{|AB|} \cdot \frac{|AB|}{c} = h.$$

Grawiton w chwili oddziaływania z cząstkami elementarnymi przekazuje z jednej cząstki do drugiej masę $m = \frac{p}{c}$.

Ponieważ

$$p = \frac{E}{c},$$

więc

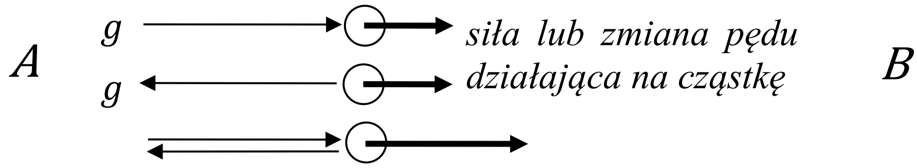
$$m = \frac{E}{c^2}.$$

Grawitony przenoszą z jednej cząstki elementarnej do drugiej masę $m = \frac{E}{c^2}$ i pęd $p = mc$.

Kulę o środku P i promieniu d_w oznaczam, jako K_P. Między cząstką P i cząstką Q znajdującą się w kuli K_P nie ma oddziaływania za pośrednictwem grawitonów. Jeżeli cząstka Q znajduje się poza kulą K_P, to cząstki P i Q mogą ze sobą oddziaływać za pośrednictwem grawitonów.

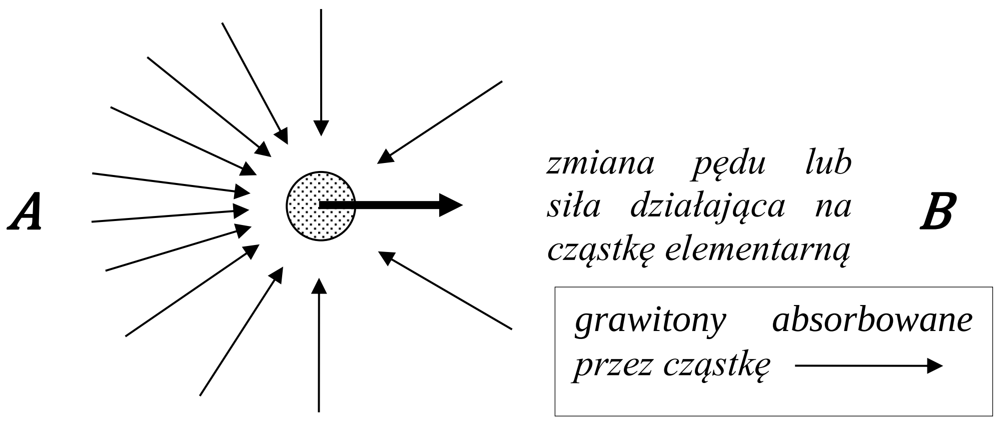
W dalszym ciągu „grawiton emitowany przez cząstkę" oznacza grawiton emitowany przez cząstkę, który jest absorbowany przez inną cząstkę. Grawiton oddziałuje z cząstką, jeżeli jest przez nią absorbowany lub emitowany.

Grawiton absorbowany przez cząstkę elementarną od strony A przekazuje do niej pęd o zwrocie w stronę B. Również grawiton emitowany przez cząstkę w stronę A przekazuje do niej pęd zwrócony w stronę B .



Rys. 1.3.5.

Jeżeli ze strony A cząstka elementarna absorbuje więcej grawitonów niż ze strony B (wypadkowy pęd przekazany przez oddziałujące grawitony jest niezerowym wektorem zwróconym w stronę B), to na tę cząstkę działa siła zwrócona w stronę B lub cząstka zyskuje dodatkowy pęd skierowany w stronę B .



Rys. 1.3.6.

Jeżeli grawitony absorbowane przez cząstkę przekażą do niej wypadkowy pęd $\Delta\vec{p}$, w czasie Δt, to cząstka zmieni swój pęd o $\Delta\vec{p}$ w tym czasie lub jeżeli jest unieruchomiona, to podziała na nią siła

$$\vec{F} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t}.$$

Siła przekazywana elementarnej cząstce przez grawitony, dla ustalonego obserwatora, nie zależy od jej prędkości ze względu na skokowy sposób jej poruszania.

1.4. Ruch elementarnej cząstki materii lub przestrzeni w układzie inercjalnym i oddziaływanie grawitacyjne

Elementarne cząstki materii oraz przestrzeni poruszają się skokowo z jednego punktu przestrzeni do drugiego i oddziałują z grawitonami tylko podczas spoczynku w układzie UW. Każde dwie cząstki elementarne mogą poruszać się w dowolny sposób w układzie UW, ale podczas oddziaływania grawitacyjnego pozostają względem siebie w spoczynku. Każdy grawiton oddziałujący z elementarną cząstkę ma wobec niej prędkość c. Dlatego pęd i energia przekazane do cząstek Q i P, w wyniku absorpcji grawitonu przez cząstkę P, wyemitowanego przez cząstkę Q, nie zależą od tego czy cząstki pozostają, w układzie UW, w spoczynku czy poruszają się w dowolny sposób; zależą tylko od położenia tych cząstek, w chwili przekazywania tego pędu i tej energii.

Każdy obserwator związany z poruszającą się cząstką, niezależnie od prędkości tej cząstki w pewnym układzie odniesienia, widzi otoczenie w taki sam sposób i oddziaływanie z grawitonami przebiega identyczne w każdym miejscu i w każdej chwili.

Weźmy prostokątny układ współrzędnych $OXYZ$ z obserwatorem znajdującym się w punkcie O. Jeżeli w pewnym przedziale czasowym dla dowolnej elementarnej cząstki materii, znajdującej się w spoczynku w tym układzie, pęd przekazywany przez grawitony z nią oddziałujące jest wektorem zerowym i odpowiednio energia przekazywana przez te grawitony jest równa zero, to układ $OXYZ$ jest układem inercjalnym w danym przedziale czasu. W rzeczywistości fizycznej układy mogą być jedynie lokalnie inercjalne.

W układzie lokalnie inercjalnym, z każdego kierunku cząstka absorbuje taką samą ilość grawitonów i wypadkowy pęd przekazywany do tej cząstki jest wektorem zerowym. Cząstka absorbuje i emituje taką samą ilość grawitonów, w jednostce czasu, niezależnie od prędkości v jej ruchu, ponieważ podczas oddziaływania z grawitonami pozostaje w spoczynku względem pozostałych cząstek w układzie UW.

Pęd i energia przekazywane do materialnej cząstki Q, w wyniku oddziaływania tej cząstki z elementarnymi cząstkami materii i cząstkami przestrzeni Wszechświata, za pośrednictwem grawitonów, nie zależą od tego czy cząstka Q, w układzie lokalnie inercjalnym, pozostaje w spoczynku czy porusza się z pewną prędkością.

Dlatego w układzie lokalnie inercjalnym, taka cząstka nie jest hamowana, podczas swojego jednostajnego ruchu, w wyniku oddziaływania z grawitonami.

Niech w układzie inercjalnym $OXYZ$, w czasie Δt, z elementarną cząstką Q, pozostającą w spoczynku lub poruszającą się ruchem jednostajnym, oddziałuje n grawitonów przekazujących pędy $\vec{p}_i = [p_{xi}, p_{yi}, p_{zi}]$ i energie E_i, takich grawitonów, że zmiana pędu cząstki w wyniku tych oddziaływań $\Delta\vec{p} = \sum_{i=1}^{n} \vec{p}_i = \vec{0}$ $(\Delta p_x = 0, \Delta p_y = 0, \Delta p_z = 0)$ i zmiana jej energii $\Delta E = \sum_{i=1}^{n} E_i = 0$.

Jeżeli i - ty grawiton jest emitowany przez cząstkę, to $E_i < 0$. Jeżeli i - ty grawiton jest absorbowany przez cząstkę, to $E_i > 0$.

Weźmy układ $O'X'Y'Z'$ poruszający się ruchem jednostajnym z prędkością $\vec{v}$ względem układu $OXYZ$ tak, że oś $O'X'$ porusza się po osi OX i obie mają ten sam zwrot. Ze wzorów na transformację pędu i energii wynika, że zmiany pędu i energii cząstki w układzie $O'X'Y'Z'$ określają wzory $\Delta p_x' = \gamma\left(\Delta p_x - v\frac{\Delta E}{c^2}\right)$, $\Delta p_y' = \Delta p_y$, $\Delta p_z' = \Delta p_z$, $\Delta E' = \gamma(\Delta E - v\Delta p_x)$.

Stąd w układzie $O'X'Y'Z'$ zmiana pędu cząstki Q jest $\Delta\vec{p}' = \vec{0}$ i zmiana jej energii $\Delta E' = 0$.

Jeżeli w pewnym układzie inercjalnym, w czasie Δt, w wyniku oddziaływania z grawitonami zmiana pędu cząstki jest wektorem zerowym i zmiana jej energii jest równa zero, to odpowiednio w każdym innym układzie poruszającym się ruchem jednostajnym względem pierwszego zmiana pędu cząstki jest wektorem zerowym i zmiana jej energii jest równa zero. Drugi układ jest również układem inercjalnym.

W każdym układzie poruszającym się ruchem jednostajnym względem układu lokalnie inercjalnego, cząstka nie jest hamowana, w wyniku oddziaływania z grawitonami, podczas ruchu jednostajnego.

W układzie inercjalnym cząstka elementarna nie może zmienić swojego pędu i swojej energii tylko w wyniku oddziaływania z grawitonami. Zmiana pędu i energii cząstki elementarnej, w układzie inercjalnym, może nastąpić tylko w wyniku działania innych przyczyn, niż oddziaływanie z grawitonami.

Jeżeli w pewnym miejscu układ nie jest inercjalny, to oddziaływanie cząstki z grawitonami zmienia jej pęd i energię i równocześnie zmienia czas spoczynku i wektor skoku.

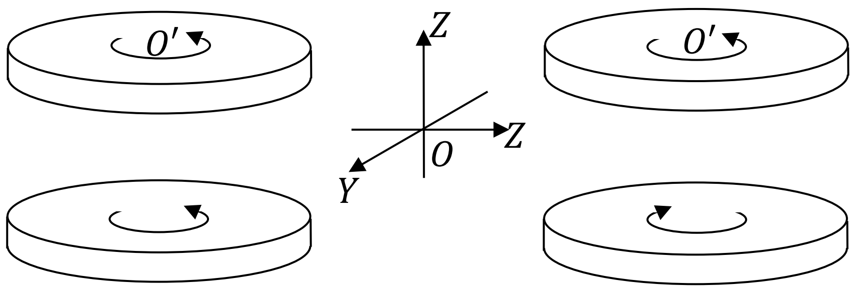
Ponieważ w małych odstępach czasu w przypadkowy sposób może zmieniać się pęd cząstki, ze względu na losowe oddziaływanie z grawitonami, wobec tego położenie cząstki nie jest dokładnie określone, przy czym w mniejszych odstępach czasu nieokreśloność położenia jest większa. Podobnie, w krótkich odstępach czasu, energia cząstki nie jest dokładnie określona. W mniejszych odstępach czasu nieokreśloność energii cząstki jest większa.

Między elementarnymi cząstkami ciała działają siły jądrowe i elektromagnetyczne, które nieustannie zmieniają pędy i energie tych cząstek. Wskutek tego cząstki poruszają się skokowo w sposób chaotyczny. Jednak te oddziaływania nie zmieniają całkowitego pędu i energii ciała.

W układzie inercjalnym żadna cząstka ciała nie zmienia pędu i energii skutkiem oddziaływania z grawitonami a więc i ciało złożone z tych cząstek nie zmienia swojego pędu i energii.

1.5. Masa bezwładna i masa grawitacyjna

Masa bezwładna ciała jest sumą jego masy spoczynkowej i energii kinetycznej. Przypuśćmy, że masa grawitacyjna ciała jest równa jego masie bezwładnej. Weźmy w prostokątnym układzie współrzędnych $OXYZ$ dwie jednakowe materialne tarcze ustawione równolegle do siebie, jedna pod drugą, które dla obserwatora O, w pierwszym przypadku, obracają się zgodnie z tą samą prędkością kątową ω. W drugim przypadku górna tarcza obraca się tak samo jak w pierwszym przypadku, natomiast dolna obraca się w przeciwną stronę z prędkością kątową ω. W obydwu przypadkach tarcze znajdują się w tej samej odległości od siebie.



Rys. 1.5.1.

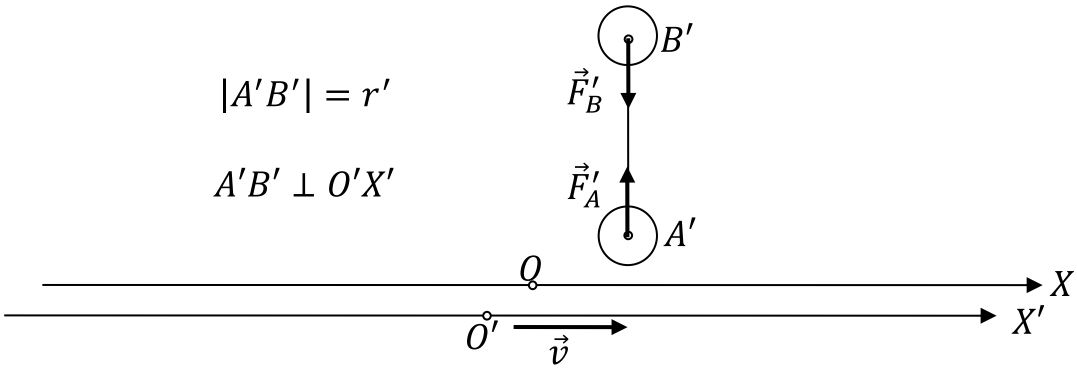
Dla obserwatora O w obydwu przypadkach masy grawitacyjne tarcz są większe od mas spoczynkowych o wartość ich energii kinetycznej. Obydwie tarcze przyciągają się z siłą większą niż gdyby były w spoczynku. Dla obserwatora O w obydwu przypadkach siły przyciągania są jednakowe, niezależnie od kierunku obrotu tarcz.

Obserwator O' jest związany z górną tarczą. W pierwszym przypadku dolna tarcza pozostaje względem niego w spoczynku. Siła przyciągania tarcz jest dla tego obserwatora równa sile przyciągania ciał znajdujących się w spoczynku względem siebie. W drugim przypadku dolna tarcza obraca się z prędkością kątową 2ω i ma masę grawitacyjną większą od masy spoczynkowej o wartość jej energii kinetycznej. W drugim przypadku siła przyciąganie między tarczami, dla obserwatora O', jest większa niż w pierwszym przypadku.

Otrzymaliśmy sprzeczność. Siła przyciągania między tarczami, dla obserwatora O, nie zależy od kierunku obrotu tarcz, natomiast dla obserwatora O', poruszającego się w taki sam sposób względem O, zależy od sposobu ich obrotu. Unikniemy tej sprzeczności, jeżeli założymy, że siła przyciągania tarcz zależy tylko od ich mas spoczynkowych i nie zależy od ich energii kinetycznej.

W podobny sposób pokazano w części pierwszej, że masa bezwładna ciała nie jest równa jego masie grawitacyjnej.

Weźmy inercjalny układ współrzędnych $O'X'Y'Z'$, poruszający się ruchem jednostajnym względem układu $OXYZ$, którego oś $O'X'$ porusza się z prędkością $\vec{v}$ wzdłuż osi OX.



Osie OY i OZ nie są narysowane

Rys. 1.5.2.

W układzie $O'X'Y'Z'$ spoczywają dwie kule o masach m_0' każda, których środki są w odległości r'. Odcinek łączący środki tych kul jest prostopadły do osi OX i równocześnie prostopadły do wektora prędkości $\vec{v}$. Na każdą kulę działa siła grawitacji określona w tym układzie wzorem

$$F_A' = F_B' = G\,\frac{{m_0'}^2}{{r'}^2}\,.$$

W układzie $OXYZ$ masa bezwładna każdej kuli jest równa

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}\,,$$

$$m_0 = m_0'.$$

Jeżeli masa grawitacyjna jest równa masie bezwładnej, to w układzie $OXYZ$ siła oddziaływania grawitacyjnego między kulami ($r' = r$) jest równa

$$F_A = F_B = G\,\frac{m^2}{r^2} = \frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}}\,G\,\frac{m_0^2}{r^2}.$$

Jeżeli w układzie $O'X'Y'Z'$ siła $\vec{F}_A' = [0, F_A' 0]$ i w układzie $OXYZ$ odpowiednio $\vec{F}_A = [F_{Ax}, F_{Ay}, F_{Az}]$, to zgodnie ze wzorami na transformację siły w STW

$$F_{Ax} = 0,$$

$$F_{Ay} = \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}\cdot F_A',$$

$$F_{Az} = 0.$$

$$F_{Ay} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot G\frac{m_0^2}{r^2} \neq F_A$$

Ta sprzeczność nie wystąpi, jeżeli przyjmiemy, że masa grawitacyjna nie zależy od prędkości ciała i jest równa masie spoczynkowej ciała. Do siły oddziaływania grawitacyjnego nie można, z całą dokładnością, stosować wzorów na transformację siły ze względu na skończoną prędkość rozchodzenia się oddziaływania grawitacyjnego. Jeżeli to uwzględnimy wówczas F_{Ay} z dużą dokładnością jest równa rzeczywistej współrzędnej, względem osi OY, siły oddziaływania grawitacyjnego między kulami. Rzeczywista współrzędna tej siły, względem osi OX jest równa

$$F_1 = G\frac{m_0^2 v}{r^2 c}\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right). \qquad \text{(Patrz podrozdział 1.1.)}$$

$$F^2 = F_1^2 + F_2^2 \qquad \text{(oznaczenia jak na rysunku 1.1.)}$$

$$F^2 = \left(G\frac{m_0^2 v}{r^2 c}\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)\right)^2 + \left(G\frac{m_0^2}{r^2}\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}\right)^2$$

$$F^2 = \left(G\frac{m_0^2}{r^2}\right)^2\left(\frac{v^2}{c^2} - 2\frac{v^4}{c^4} + \frac{v^6}{c^6} + 1 - \frac{v^2}{C^2}\right)$$

$$F^2 = \left(G\frac{m_0^2}{r^2}\right)^2\left(1 - 2\frac{v^4}{c^4} + \frac{v^6}{c^6}\right) \approx \left(G\frac{m_0^2}{r^2}\right)^2$$

$$F = G\frac{m_0^2}{r^2}$$

Masa grawitacyjna ciała nie zależy od prędkości, z jaką porusza się ciało i jest równa jego masie spoczynkowej.

Ten sam wniosek wynika również z tego, że siła grawitacyjnego oddziaływania między cząstkami elementarnymi nie zależy od ich prędkości ze względu na skokowy charakter ich ruchu.

Niech pęd cząstki pozostającej w spoczynku zmienia się o Δp_0, w czasie 1 sekundy, w wyniku jej oddziaływania z grawitonami. Jeżeli cząstka porusza się z prędkością v, wówczas wykonuje skoki na odległość

$$\Delta s = \frac{h}{p}$$

w czasie

$$\Delta t = \frac{h}{pv}.$$

Cząstka wykona

$$\frac{1}{\Delta s}$$

skoków na drodze 1 metra i

$$\frac{1}{\Delta s} v$$

skoków w czasie 1 sekundy. Zmiana jej pędu w czasie 1 sekundy

$$\Delta p = \Delta p_0 \Delta t \frac{1}{\Delta s} v \ .$$

$$F = \Delta p = \Delta p_0 \frac{h}{pv} \frac{p}{h} v = \Delta p_0 = F_0$$

Masa grawitacyjna $m_g = m_0$ i masa bezwładna

$$m_b = \frac{m_g}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\frac{m_g}{m_b} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Dla małych prędkości energia kinetyczna ciała jest niewielka w stosunku do jego masy spoczynkowej m_0, dlatego z bardzo dobrym przybliżeniem uznajemy, że te masy są równe. Jeżeli ciało o masie m_0 porusza się z prędkością $100 \frac{km}{s}$ wówczas masa bezwładna tego ciała jest o $5{,}6 \cdot 10^{-8}$ większa od jego masy spoczynkowej.

Niech dwie kule zbudowane z tego samego materiału mają taką samą masę i temperaturę. Jeżeli umieścimy je na tej samej wysokości nad powierzchnią Ziemi, to stwierdzimy, że mają taki sam ciężar. Jeżeli jedną z nich ogrzejemy do wyższej temperatury to zobaczymy, że w dalszym ciągu obydwie mają taki sam ciężar. Zwiększona energia kinetyczna cząstek kuli o wyższej temperaturze nie powiększa masy grawitacyjnej kuli, powiększa jedynie jej masę bezwładną.

Powszechnie uważa się, że doświadczenie Braginskiego[3] i Panowa (oraz podobne) z bardzo dużą dokładnością dowodzi równości masy bezwładnej i grawitacyjnej. Tak jednak nie jest. To doświadczenie pokazuje w gruncie rzeczy, że ciała zbudowane z różnych materiałów, znajdujące się blisko siebie, spadają w polu grawitacyjnym z tym samym przyspieszeniem. Oznacza to równocześnie, że stosunek masy bezwładnej ciała do jego masy grawitacyjnej jest jednakowy

[3] Andrzej Kajetan Wróblewski, Janusz Andrzej Zakrzewski: Wstęp do fizyki, tom 2, część 1, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1989, str. 267-269.

dla każdego ciała w tym doświadczeniu. Trzeba jednak dodać, że w tym doświadczeniu spełniony jest warunek: badane ciała spadają z taką samą prędkością początkową.

Jest to precyzyjna wersja doświadczenia Galileusza ze spadającymi ciałami.

To doświadczenie dowodzi jedynie, że każdy punkt materialny spadający swobodnie, w takim samym polu grawitacyjnym, z takimi samymi warunkami początkowymi, porusza się dokładnie z tym samym przyspieszeniem i równocześnie, że stosunek masy bezwładnej m_b punktu materialnego do jego masy grawitacyjnej m_g jest jednakowy dla każdego punktu materialnego, niezależnie od rodzaju materiału. Jeżeli punkty materialne C_1 i C_2 w każdej chwili mają taką samą prędkość, to

$$\frac{m_{bC_1}}{m_{gC_1}} = \frac{m_{bC_2}}{m_{gC_2}}.$$

To nie dowodzi jednak, że stosunek $\frac{m_b}{m_g}$ jest stały niezależnie od prędkości spadającego ciała. W tym doświadczeniu nie mierzy się $\frac{m_b}{m_g}$, tylko porównuje się te wartości dla różnych ciał, poprzez porównywanie ich przyspieszeń. Warunki tych doświadczeń powodują, że masa bezwładna każdego spadającego swobodnie ciała powiększa się w tym samym stopniu w zależności od prędkości (masa spoczynkowa jest mnożona przez ten sam czynnik), co powoduje, że stosunek $\frac{m_b}{m_g}$ jest jednakowy dla każdego ciała, niezależnie od tego czy masa grawitacyjna powiększa się równocześnie z masą bezwładną, czy też nie.

Aby rozstrzygnąć czy $m_b = m_g$ albo $m_b \neq m_g$ należy zmodyfikować doświadczenie Galileusza. Z wysokości H nad powierzchnią Ziemi puszczamy swobodnie punkt materialny i mierzymy jego przyspieszenie a_H, gdy znajdzie się na niewielkiej wysokości d nad powierzchnią Ziemi ($H > d$). Następnie ten sam punkt materialny puszczamy swobodnie z wysokości h nad powierzchnią Ziemi ($H > h > d$) i mierzymy jego przyspieszenie a_h, gdy znajdzie się na wysokości d. Spadający punkt materialny ma, na wysokości d, większą prędkość w pierwszym przypadku niż w drugim. Dlatego w chwili pomiaru przyspieszenia masa bezwładna punktu materialnego w pierwszym przypadku jest większa niż w drugim.

Gdyby okazało się, że $a_H = a_h$, to mielibyśmy dowód, że $m_b = m_g$. Jestem jednak przekonany, że w tym doświadczeniu otrzymamy $a_H < a_h$. Oznaczałoby to, że masa grawitacyjna nie zwiększa się równocześnie ze wzrostem masy bezwładnej.

W dalszym ciągu zakładam, że masa grawitacyjna ciała nie zależy od jego prędkości.

Jeżeli spadające swobodnie ciało o masie spoczynkowej m ma na wysokości d prędkość v i siła, z jaką jest przyciągane przez Ziemię jest równa F, to jego przyspieszenie jest równe

$$a = \frac{F}{m}\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}.$$

Dla prędkości v_1 i v_2 mamy odpowiednio

$$a_1 = \frac{F_1}{m}\sqrt{1 - \frac{v_1^2}{c^2}},$$

$$a_2 = \frac{F_2}{m}\sqrt{1 - \frac{v_2^2}{c^2}}$$

i

$$F_1 = F_2$$

(masa grawitacyjna nie zależy od prędkości).

Jeżeli

$$v_1 = 0,$$

to

$$a_1 = \frac{F_1}{m} = \frac{F_2}{m} = g$$

i

$$a_2 = g\sqrt{1 - \frac{v_2^2}{c^2}} \approx g\left(1 - \frac{v_2^2}{2c^2}\right).$$

$$a_1 - a_2 = g - a_2 = g\,\frac{v_2^2}{2c^2}$$

Jeżeli

$$v_2 = 30\,\frac{km}{h},$$

to

$$g - a_2 = \frac{1}{2}g \cdot 10^{-8}\,\frac{m}{s^2} = 4{,}9 \cdot 10^{-8}\,\frac{m}{s^2}.$$

Ze względu na bardzo małą różnicę $g - a_2$ trudno wykazać doświadczalnie, że masa grawitacyjna nie zależy od prędkości ciała, nawet dla bardzo dużej prędkości v_2.

Weźmy, w polu grawitacyjnym Ziemi, swobodnie spadającą windę, w której znajdują się dwa swobodnie spadające ciała. Jedno ma względem windy prędkość równą zero, drugie porusza się z pewną niezerową prędkością względem windy. Obserwator poruszający się razem z windą stwierdzi, że pierwsze ciało ma względem windy przyspieszenie zerowe, natomiast drugie porusza się względem windy z pewnym przyspieszeniem zależnym od prędkości ciała. Spadająca swobodnie winda nie jest równoważna układowi inercjalnemu.

Weźmy w układzie inercjalnym windę poruszającą się z pewnym przyspieszeniem, w której znajdują się dwa ciała poruszające się z różnymi prędkościami. Obserwator poruszający się z windą stwierdzi, że obydwa ciała mają względem windy takie samo przyspieszenie. Układ odniesienia poruszający się w układzie inercjalnym z pewnym przyspieszeniem nie jest równoważny z układem odniesienia spoczywającym w polu grawitacyjnym.

Podstawą geometrycznej konstrukcji Ogólnej Teorii Względności jest równość masy bezwładnej i grawitacyjnej. Ponieważ ta równość, jak zostało wcześniej stwierdzone, jest przybliżona (zależy od prędkości ciała), więc również zasada równoważności przyjęta w OTW określa w pewnym przybliżeniu rzeczywisty ruch ciał „w spadającym swobodnie, nieobracającym się laboratorium, które zajmuje mały obszar czasoprzestrzeni”.[4] Ciała swobodnie spadające z bardzo dużą prędkością poruszają się z pewnym niezerowym przyspieszeniem względem laboratorium. Zakładam, że te ciała poruszają się w niewielkim obszarze zajmowanym przez to laboratorium. Gdyby masa grawitacyjna byłaby równa masie bezwładnej wówczas wszystkie spadające swobodnie ciała (poruszające się w obszarze laboratorium), niezależnie od ich prędkości, powinny poruszać się w stosunku do laboratorium z przyspieszeniem zerowym.

W OTW zakłada się, że każde dwa ciała wyrzucone z tego samego miejsca pola grawitacyjnego, z takimi samymi prędkościami początkowymi poruszają się po tym samym torze.

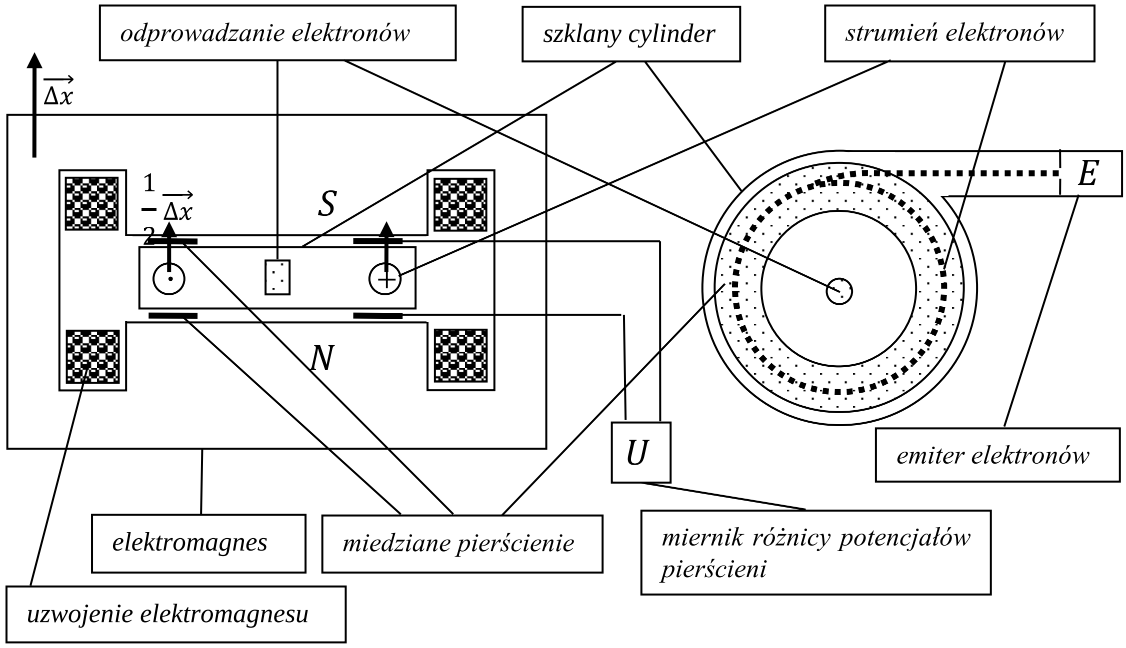
Weźmy dwie kule. Jedna wiruje z dużą prędkością druga nie. Jeżeli wyrzucimy je z takiego samego miejsca pola grawitacyjnego, taką samą prędkością początkową, to nie będą poruszać się po tym samym torze. Stosunek $\frac{m_b}{m_g}$ nie jest taki sam dla tych kul. Tak samo zachowają się dwie kule o różnych temperaturach.

W przypadku małych prędkości (Układ Słoneczny, podwójne układy gwiazd) wnioski wynikające z OTW zgadzają się bardzo dobrze z rzeczywistością. Dla bardzo dużych prędkości ciał przewidywania OTW mogą znacznie odbiegać od stanu faktycznego.

Wykorzystując niezależność masy grawitacyjnej od prędkości można zbudować opisany poniżej detektor fal grawitacyjnych.

---

[4] J. Foster i J.D. Nightingale: Ogólna teoria względności, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1985, str.9.



Rys. 1.5.3.

Lewa strona rysunku przedstawia widok detektora z przodu, prawa szklany cylinder z emiterem widziany z góry.

Między biegunami elektromagnesu lub magnesu znajduje się szklany, płaski cylinder, w którym, prostopadle do linii sił pola magnetycznego, porusza się po okręgu strumień elektronów. Natężenie pola magnetycznego elektromagnesu jest stałe. Po obu stronach cylindra znajdują się płaskie miedziane pierścienie, które zamiast znajdować się na zewnątrz cylindra mogłyby znajdować się w jego wnętrzu. Wewnątrz cylindra znajduje się próżnia. Elektrony są wprowadzane do szklanego cylindra z emitera, który nadaje im taką energię, aby ich masa bezwładna była przynajmniej dwa razy większa niż masa spoczynkowa a zarazem grawitacyjna. Wystarczy $1\,MeV.$ Z czasem elektrony stopniowo tracą energię i poruszają się po spirali coraz bliżej środka cylindra. Do strumienia należy wprowadzić jak najwięcej elektronów i każdy elektron powinien dostatecznie długo znajdować się w tym strumieniu. Ostatecznie elektrony są odprowadzane na zewnątrz przez elektrodę znajdującą się w środku cylindra. Na ich miejsce wprowadzane są nowe mające odpowiednią energię. Odpowiednie ukształtowanie pola magnetycznego powinno zapewnić stabilne położenie strumienia elektronów w jednakowej odległości od miedzianych pierścieni i jego symetrię względem osi cylindra. Jeżeli nastąpi odchylenie strumienia elektronów od tego położenia, to po pewnym czasie nastąpi powrót do stanu początkowego.

Ustawmy detektor tak, aby siła, z jaką działa na niego fala grawitacyjna, była prostopadła do płaszczyzny, w której poruszają się elektrony. Siła, F_g z jaką fala grawitacyjna działa na elektron nie zależy od tego, czy elektron pozostaje w spoczynku czy porusza się. Elektron spoczywający, jak również każda inna spoczywająca cząstka, uzyska przyspieszenie

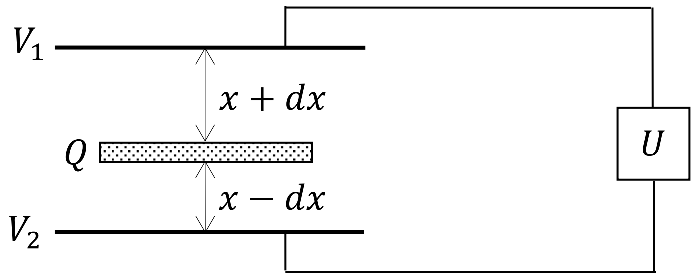
$$a = \frac{F_g}{m_e},$$

natomiast elektron poruszający się w strumieniu

$$a_2 = \frac{F_g}{2m_e}.$$

$$a_2 = \frac{1}{2}a$$

Jeżeli w wyniku działania fali grawitacyjnej detektor przesunie się o wektor $\overrightarrow{\Delta x}$ (jak na rysunku 1.5.3.), wówczas strumień elektronów przesunie się o wektor $\overrightarrow{\Delta x_2} = \frac{1}{2}\overrightarrow{\Delta x}$, ponieważ jego masa bezwładna jest dwa razy większa od masy grawitacyjnej. W efekcie strumień elektronów zbliży się do jednego miedzianego pierścienia o wektor $-\frac{1}{2}\overrightarrow{\Delta x}$ oraz oddali się od drugiego o wektor $\frac{1}{2}\overrightarrow{\Delta x}$. Spowoduje to zmianę różnicy potencjałów między pierścieniami, co może zostać zarejestrowane. Jeżeli detektor zostanie przesunięty w przeciwną stronę, wówczas różnica potencjałów zmieni znak na przeciwny.



Rys. 1.5.4.

Początkowo między pierścieniami znajduje się ładunek Q, strumienia elektronów, w odległości x od każdego z nich. Różnica potencjałów między pierścieniami jest równa zero.

Po przesunięci ładunku Q o dx (jak na rysunku 1.5.4.), potencjał górnego pierścienia jest równy

$$V_1 = k\frac{Q}{x+dx},$$

natomiast dolnego

$$V_2 = k\frac{Q}{x-dx}.$$

Różnica potencjałów U między pierścieniami jest określona wzorem

$$U = V_2 - V_1 = \frac{2kQ}{(x-dx)(x+dx)}dx.$$

Ponieważ dx jest bardzo małe w stosunku do x, to możemy z bardzo dobrym przybliżeniem przyjąć

$$U = \frac{2kQ}{x^2} dx.$$

Niech $x = 2 \cdot 10^{-2}\ m$, $Q = 10^{-8}\ C$, $dx = 10^{-10}\ m$.

Wówczas $U = 2 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{10^{-8}}{4 \cdot 10^{-4}} \cdot 10^{-10} = 4{,}5 \cdot 10^{-5}\ V$.

Zamiast strumienia elektronów można wziąć strumień protonów. Użycie protonów zamiast elektronów skomplikowało by konstrukcję detektora, ale byłby on bardziej odporny na zakłócenia elektromagnetyczne.

1.6. Masa elementarnej cząstki materii lub przestrzeni oraz ciała złożonego z cząstek

Cząstki elementarne nie są tworem statycznym. W każdej sekundzie z cząstką oddziałuje ogromna ilość grawitonów, emitowanych i absorbowanych przez nią. Elementarna cząstka materii lub przestrzeni jest obiektem wypełnionym energią, której ilość może się zmieniać w wyniku jej wymiany z innymi cząstkami za pośrednictwem grawitonów. Cząstkę elementarną możemy sobie wyobrazić, jako wrzącą kulę energii o bardzo małym promieniu, nieustannie emitującą oraz absorbującą grawitony w ogromnych ilościach (jest to uproszczone spojrzenie na cząstkę tylko ze względu na oddziaływanie grawitacyjne).

Grawitony absorbowane przez cząstkę, w czasie Δt, zwiększają zawartą w niej energię o ΔE_a (masę o $\Delta m_a = \frac{\Delta E_a}{c^2}$) natomiast grawitony emitowane, w tym czasie, zmniejszają jej energię o ΔE_e (masę o $\Delta m_e = \frac{\Delta E_e}{c^2}$).

Energia wewnętrzna (masa) cząstki elementarnej jest wprost proporcjonalna do ilości grawitonów przez nią absorbowanych i równocześnie do ilości energii przekazywanej do niej przez te grawitony, w jednostce czasu.

Różne rodzaje cząstek elementarnych w tym samym odstępie czasu mogą absorbować inną ilość grawitonów, dlatego różnią się ilością energii wewnętrznej (masą).

Masa* grawitacyjna cząstki (materii lub przestrzeni) oraz ciała złożonego z cząstek, dla ustalonego obserwatora O, jest równa ilości grawitonów oddziałujących (absorbowanych i emitowanych) z cząstkę lub ciałem w jednostce czasu, odmierzanej przez zegar obserwatora O.

Tak zdefiniowaną masę grawitacyjną będę oznaczał symbolem m^*. Masa m^* ciała jest miarą jego oddziaływania z cząstkami materii i przestrzeni zawartymi we Wszechświecie w odległości większej niż $d_w = 10^{24}\, m$ od tego ciała.

$$m^* = \frac{N}{\Delta t}$$

N oznacza ilość grawitonów oddziałujących z cząstkę lub ciałem, w czasie Δt. Wymiarem tak określonej masy m^* jest $[m^*] = \frac{1}{s}$.

W ustalonych warunkach ilość grawitonów absorbowanych przez cząstkę, w jednostce czasu, jest stała. Między ilością grawitonów absorbowanych a ilością grawitonów emitowanych przez cząstkę, w jednostce czasu, ustala się równowaga; ilość grawitonów emitowanych przez cząstkę jest równa ilości grawitonów przez nią absorbowanych. Dlatego ilość energii wewnętrznej (masa*) cząstki jest niemal stała. Ponieważ grawitony są absorbowane i emitowane w przypadkowych chwilach czasu, więc w bardzo małych odstępach czasu masa* cząstki może się zmieniać, oscylując wokół pewnej średniej wielkości ustalonej w dłuższym odstępie czasu. Masa* cząstki, w krótkich odstępach czasu, zmienia się w niewielkim stopniu w sposób chaotyczny.

Jeżeli zmniejszy się ilość grawitonów absorbowanych przez cząstkę, wówczas odpowiednio zmniejszy się ilość grawitonów przez nią emitowanych. Zmaleje energia wewnętrzna cząstki i zarazem jej masa* odpowiednio do ilości absorbowanych grawitonów. Część energii wewnętrznej cząstki zostanie przekazana do cząstek przestrzeni i innych cząstek materii, za pośrednictwem grawitonów, lub zostanie zamieniona na pracę lub energię.

Jeżeli zwiększy się ilość grawitonów absorbowanych przez cząstkę, wówczas odpowiednio zwiększy się ilość grawitonów przez nią emitowanych. Wzrośnie jej energia wewnętrzna i zarazem masa* odpowiednio do ilości absorbowanych grawitonów. Cząstka pobierze pewną ilość energii z cząstek przestrzeni i innych cząstek materii, za pośrednictwem grawitonów.

Energia wewnętrzna cząstki może się również powiększyć kosztem pracy wykonanej przez zewnętrzną siłę lub przez zamianę energii kinetycznej na wewnętrzną.

Zmiana masy* elementarnej cząstki jest możliwa dzięki nieustannej wymianie energii między tą cząstką i innymi elementarnymi cząstkami materii i przestrzeni. Gdyby do cząstki nie dochodziły grawitony z zewnątrz, to cząstka wyemitowałaby całkowicie swoją energię i jej masa byłaby równa zero. Wynika stąd następujący wniosek.

Cząstka elementarna jest obiektem zbudowanym, w znacznym stopniu, z energii.

Jak wiadomo ze Szczególnej Teorii Względności energia wewnętrzna cząstki jest równa $E_w = mc^2$.

Masa grawitacyjna m^* cząstki, podobnie jak ładunek elektryczny, nie zależy od ruchu tej cząstki względem obserwatora O, ponieważ cząstka oddziałuje z grawitonami tylko podczas spoczynku w układzie UW. Masa grawitacyjna cząstki jest równa jej masie spoczynkowej.

Jeżeli elementarna cząstka o promieniu d i polu powierzchni $S = 4\pi d^2$, znajduje się daleko od innych cząstek elementarnych, to energia E pobierana przez taką cząstkę za pośrednictwem grawitonów przez nią absorbowanych, w czasie Δt, jest wprost proporcjonalna do pola powierzchni cząstki i czasu Δt.

$$E = E_s S \Delta t$$

$$E = E_s 4\pi d^2 \Delta t$$

W ustalonych warunkach, w jednostce czasu, ilość energii absorbowanej przez cząstkę jest równa ilości energii przez nią emitowanej.

Założenie 3.

Masa grawitacyjna m^* cząstki lub ciała, dla ustalonego obserwatora O, jest wprost proporcjonalna do masy grawitacyjnej m_g.

$$m^* = \eta m_g$$

Współczynnik η jest taki sam dla każdego obserwatora.

Jeżeli grawitony absorbowane przez materialną cząstkę o promieniu d, znajdującą się daleko od innych cząstek, pobierają z cząstek materii i przestrzeni energię E, w czasie Δt, to dla obserwatora, związanego z cząstką, wielkość

$$E_s = \frac{E}{4\pi d^2 \Delta t}$$

Jest stała i nie zależy od rodzaju cząstki elementarnej.

Jeżeli w pewnej odległości od elementarnej cząstki znajdują się inne cząstki, to pewne elementy jej powierzchni mogą absorbować mniejsze ilości grawitonów, niż wówczas, gdy cząstka znajdowała się daleko od innych cząstek. Jeżeli zmniejszy się ilość grawitonów absorbowanych i emitowanych przez cząstkę, wówczas zmaleje ciśnienie wywierane przez grawitony na jej powierzchnię. Cząstka powiększy swoją powierzchnię, tak aby częściowo skompensować zmniejszenie swojej masy*. Jednak ilość energii E pobierana przez cząstkę, za pośrednictwem grawitonów przez nią absorbowanych, jest mniejsza od $E_s 4\pi d^2 \Delta t$.

$$E < E_s 4\pi d^2 \Delta t$$

Średni pęd przekazywany przez jeden grawiton do cząstki *P* jest równy

$$p_{śr} = \frac{h}{D_w},$$

gdzie D_w jest odpowiednią odległością i wartością stałą.

Energia przekazywana przez jeden grawiton jest równa

$$E_{śr} = \frac{hc}{D_w}.$$

Jeżeli E jest energią przekazywaną, w czasie Δt, do cząstki przez grawitony przez nią absorbowane, to ilość grawitonów absorbowanych przez elementarną cząstkę, w tym czasie, jest równa

$$N = \frac{E}{E_{śr}} = \frac{E_s D_w 4\pi d^2 \Delta t}{hc}$$

Masa grawitacyjna m^*cząstki, jest równa

$$m^* = \frac{N}{\Delta t} = \frac{4\pi d^2 E_S D_W}{hc}$$

$$m_g = \frac{4\pi d^2 E_S D_W}{hc\eta}$$

Wartość liczbowa η jest równa ilości grawitonów oddziałujących z jednym kilogramem masy grawitacyjnej w czasie jednej sekundy.

$$\eta = \frac{m^*}{m_g}$$

$$[\eta] = \frac{1}{kg \cdot s}$$

Wartość liczbowa E_s jest równa ilości energii absorbowanej przez jednostkę powierzchni cząstki, znajdującej się daleko od innych cząstek, za pośrednictwem grawitonów, w jednostce czasu, dla obserwatora związanego z cząstką.

Pole powierzchni cząstki

$$S = 4\pi d^2 \ .$$

$$m_g = \frac{S E_S D_W}{hc\eta}$$

Masa grawitacyjna elementarnej cząstki, znajdującej się daleko od innych elementarnych cząstek, jest wprost proporcjonalna do pola jej powierzchni.

Masa bezwładna cząstki m_b (materii lub przestrzeni), poruszającej się z pewną prędkością względem obserwatora O, jest równa sumie masy grawitacyjnej m_g tej cząstki i masy równoważnej jej energii kinetycznej.

$$m_b = m_g + \frac{E_k}{c^2}$$

W zwykłych warunkach masa bezwładna jest niemal równa masie grawitacyjnej. W dalszym ciągu przyjmuję, że te masy są równe, gdy prędkość ciała jest niezbyt duża. Jeżeli cząstka pozostaje w spoczynku względem obserwatora O, to obie masy są równe.

W związku z nową definicją masy zmieniają się wymiary innych wielkości fizycznych, zależnych od masy. Wielkości fizyczne w nowym układzie jednostek MS* (metr, sekunda) są oznaczone symbolem *.

Pęd ciała

$$p^* = m^* v = \eta m v \qquad\qquad p^* = \eta p.$$

Wymiarem pędu przy tak zdefiniowanej masie jest

$$[p^*] = [m^* v] = \frac{1}{s} \cdot \frac{m}{s} = \frac{m}{s^2}.$$

Pęd p^* ma taki sam wymiar jak przyspieszenie.

$$F^* = m^* a = \eta m a \qquad F^* = \eta F \qquad [F^*] = \frac{m}{s^3}$$

$$W^* = F^* s = \eta F s \qquad W^* = \eta W \qquad [W^*] = \frac{m^2}{s^3}$$

$$E^* = m^* c^2 = \eta m c^2 \qquad E^* = \eta E \qquad [E^*] = \frac{m^2}{s^3}$$

Oznaczmy przez m_0^* masę bezwładną i zarazem grawitacyjną cząstki, spoczywającej w ustalonym układzie inercjalnym $OXYZ$, zmierzoną przez obserwatora O.

$$m_0^* = \frac{N}{\Delta t},$$

gdzie N jest ilością grawitonów oddziałujących z cząstką w czasie Δt. Jeżeli cząstka P porusza się ruchem jednostajnym, w układzie inercjalnym $OXYZ$, z prędkością v, to dla obserwatora O ta cząstka ma pewną energię kinetyczną, która powiększa masę bezwładną cząstki.

Masa bezwładna tej cząstki, zgodnie z STW, jest określona wzorem

$$m_b^* = \frac{m_0^*}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{N}{\Delta t \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}.$$

Masa grawitacyjna cząstki nie zależy od ruchu cząstki względem danego obserwatora, ale może zależeć od własności tej części przestrzeni, w której znajduje się obserwator.

Niech masę* (grawitacyjną) cząstki wyznaczy obserwator O znajdujący się blisko tej cząstki. Jeżeli chcemy określić, jaką masę* ma cząstka dla obserwatora O' znajdującego się w innym miejscu niż O, to musimy uwzględnić masę* zmierzoną przez O oraz zależność między tempem upływu czasu dla tych obserwatorów.

Weźmy dwóch obserwatorów O i O' pozostających względem siebie w spoczynku. Obserwatorzy O i O' mogą inaczej ocenić masę* cząstki związanej z obserwatorem O. Zakładam, że obserwatorzy O i O' mają tak samo zbudowane zegary, które odmierzały takie samo tempo upływu czasu, gdy obserwatorzy byli w spoczynku względem siebie i blisko siebie. Później każdy z nich może być w innym miejscu. Obserwator O związany z cząstką wysyła w pewnej chwili sygnał radiowy. Następny sygnał wysyła po upływie czasu Δt, gdy stwierdzi, że z cząstką oddziałało N grawitonów od momentu wysłania poprzedniego sygnału itd. Obserwator O' odbiera te sygnały w odstępach czasu $\Delta t'$, według wskazań własnego zegara. Masy* wyznaczone przez obserwatorów O i O' są odpowiednio $m^* = \frac{N}{\Delta t}$ i $m^{*\prime} = \frac{N}{\Delta t'}$. Dla każdego z nich grawiton oddziałuje z cząstką albo nie, a więc N jest dla każdego jednakowe. Masy* ocenione przez obserwatorów O i O' zależą od tempa upływu czasu zegara związanego z tymi obserwatorami.

$$m^{*\prime} = m^* \frac{\Delta t}{\Delta t'}$$

Masa* cząstki jest wprost proporcjonalna do ilości grawitonów oddziałujących z cząstką i odwrotnie proporcjonalna do tempa upływu czasu dla danego obserwatora. Jeżeli ilość grawitonów oddziałujących z cząstką zmienia się proporcjonalnie do tempa upływu czasu, to masa* cząstki pozostaje stała.

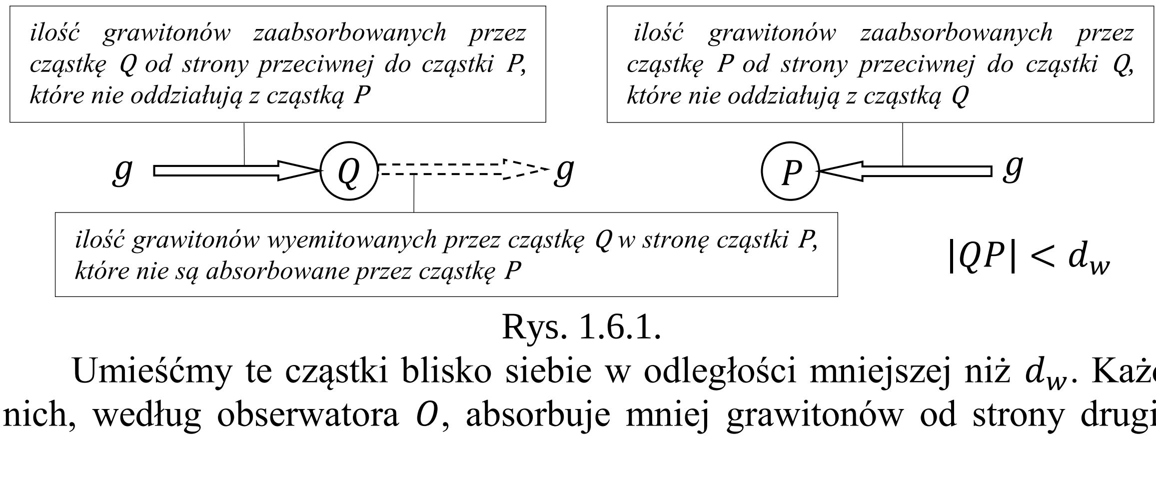
Wielkość masy* ciała zależy od obserwatora, który ją mierzy. Jednak każdy obserwator wyznaczający masę* tej samej cząstki, będącej w spoczynku względem niego i znajdującej się blisko niego, otrzyma taką samą wartość masy* cząstki. Masa* elektronu czy protonu zmierzona przez takiego obserwatora na Ziemi, Księżycu czy blisko Słońca jest liczbowo taka sama.

Założenie 4.

Dla obserwatora związanego z punktem materialnym masa* grawitacyjna i równocześnie masa bezwładna tego punktu materialnego jest stała, niezależnie od jego ruchu względem innych ciał i niezależnie od jego położenia względem innych ciał.

Tempo upływu czasu odmierzanego przez zegar związany z cząstką i masa* cząstki są ściśle ze sobą związane. Jeżeli z cząstką z jakiegokolwiek powodu oddziałuje mniej grawitonów, to proporcjonalnie zmniejsza się tykanie zegara i obserwator związany z cząstką otrzyma taką samą wartość liczbową masy*.

Weźmy dwie elementarne cząstki materii Q i P znajdujące się daleko od siebie i od innych cząstek elementarnych. Ich masy wyznaczone przez ustalonego obserwatora O są m^*_{0Q} i m^*_{0P}.



Rys. 1.6.1.

Umieśćmy te cząstki blisko siebie w odległości mniejszej niż d_w. Każda z nich, według obserwatora O, absorbuje mniej grawitonów od strony drugiej cząstki niż z pozostałych kierunków, ponieważ część grawitonów, które mogłaby zabsorbować jedna z nich jest pochłonięta przez drugą. Z pozostałych kierunków cząstki absorbują nieco więcej grawitonów, ale całkowita ilość grawitonów oddziałujących z każdą z nich jest mniejsza niż wtedy, gdy znajdowały się daleko od siebie i innych cząstek. Równocześnie grawitony wirtualne emitowane przez cząstkę Q, w stronę cząstki P, nie są absorbowane przez cząstkę P.

Dla tego samego obserwatora O masy* tych cząstek, gdy znajdują się blisko siebie, są równe m_Q^* i m_P^*; są mniejsze niż ich masy*, gdy znajdowały się daleko od siebie i innych cząstek.

$$m_Q^* < m_{0Q}^*$$

$$m_P^* < m_{0P}^*$$

$$m_Q^* + m_P^* < m_{0Q}^* + m_{0P}^*$$

Masa m_c^* ciała złożonego z n cząstek jest sumą mas* cząstek tworzących to ciało, jeżeli cząstki nie znajdują się zbyt blisko siebie. Oznaczmy przez m_i^* masy* cząstek, przez N_i ilości grawitonów oddziałujących z tymi cząstkami w czasie Δt i przez N ilość grawitonów oddziałujących z tym ciałem.

$$\sum_{i=1}^{n} m_i^* = \sum_{i=1}^{n} \frac{N_i}{\Delta t} = \frac{\sum_{i=1}^{n} N_i}{\Delta t} = m_c^*$$

Masa* cząstki zależy od jej położenia względem innych ciał materialnych. Jeżeli cząstka znajdzie się blisko innych cząstek, to jej masa* zmniejszy się, w porównaniu z masą*, którą by miała znajdując się daleko od innych cząstek. Jeżeli cząstki są gęsto upakowane, to z niektórymi cząstkami ciała może oddziaływać mniej grawitonów, niż gdyby były osobno w przestrzeni. Dla ustalonego obserwatora masa* układu cząstek, znajdujących się bardzo blisko siebie, jest mniejsza od masy* układu tych samych cząstek, gdy znajdują się w większych odległościach. Masa każdego ciała zależy od rozmieszczenia innych ciał we Wszechświecie.

Niech dla ustalonego obserwatora O ilości grawitonów oddziałujących w czasie Δt z cząstkami przestrzeni oraz materii, które znajdują się w elemencie objętości ΔV, są odpowiednio równe N_p i N_m. Wielkości ϱ_p^* oraz ϱ_m^* określone wzorami

$$\varrho_p^* = \frac{N_p}{\Delta t \Delta V}$$

i

$$\varrho_m^* = \frac{N_m}{\Delta t \Delta V}$$

będę nazywał odpowiednio gęstością* przestrzeni i gęstością* materii.

Jednostką gęstości* jest

$$[\varrho^*] = \frac{1}{m^3 s}.$$

Gęstość* przestrzeni lub materii jest równa ilości grawitonów oddziałujących z przestrzenią lub materią znajdującą się w jednostce objętości, w jednostce czasu. Wielkości

$$m_p^* = \Delta V \varrho_p^* = \frac{N_p}{\Delta t}$$

i

$$m_m^* = \Delta V \varrho_m^* = \frac{N_m}{\Delta t}$$

są odpowiednio masą* przestrzeni i masą* materii, zawartej w elemencie objętości ΔV.

Niech z cząstką o masie m_0^* oddziałuje średnio N_0 grawitonów w czasie Δt i średnia energia wewnętrzna cząstki jest równa E_0. Średnia masa* cząstki jest równa

$$m_0^* = \frac{N_0}{\Delta t}.$$

$$m_0^* = \eta m_0 = \eta \frac{E_0}{c^2}$$

Masa* cząstki jest wprost proporcjonalna do zawartej w niej energii.

$$\frac{N_0}{\Delta t} = m_0^* = \frac{\eta}{c^2} E_0.$$

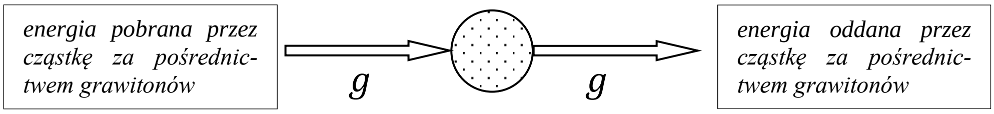
$$\frac{\Delta N_0}{\Delta t} = \Delta m_0^* = \frac{\eta}{c^2} \Delta E_0$$

Jeżeli zmaleje [wzrośnie] ilość grawitonów absorbowanych przez cząstkę, to ustala się nowa równowaga, przy czym ilość energii zawartej w cząstce zmaleje [wzrośnie], tak jak i jej masa*. Można zdefiniować masę cząstki, jako ilość energii zawartej w cząstce. Tak określona masa jest wprost proporcjonalna do masy*.

W dalszym ciągu pojęcia masy spoczynkowej cząstki i jej spoczynkowej energii wewnętrznej są równoważne. Całkowita energia cząstki jest równa sumie spoczynkowej energii wewnętrznej i energii kinetycznej tej cząstki. Energia potencjalna cząstki jest częścią energii wewnętrznej cząstki.

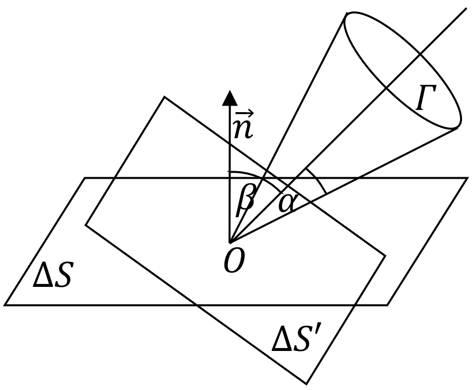
1.7. Pęd i energia przekazywane do elementarnej cząstki, za pośrednictwem grawitonów, ze względu na obecność innej elementarnej cząstki

Elementarna cząstka materii znajdująca się w spoczynku, w układzie inercjalnym, daleko od innych cząstek materii absorbuje z każdego kierunku taką samą ilość energii, przekazywaną do niej przez strumień grawitonów. Suma pędów przekazywanych do cząstki przez te grawitony jest wektorem zerowym. Równocześnie, w jednostce czasu, cząstka emituje w każdym kierunku, za pośrednictwem grawitonów, taką samą ilość energii, jaką absorbuje i pędy unoszone przez grawitony równoważą się.



Rys. 1.7.1.

W układzie inercjalnym, energia emitowana z jednostki powierzchni cząstki w jednostce czasu jest taka sama jak ilość energii absorbowanej przez jednostkę powierzchni tej cząstki w jednostce czasu. W wyniku oddziaływania z grawitonami na cząstkę nie działają żadne siły i cząstka pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym i prostoliniowym.



Rys. 1.7.2.

Weźmy element powierzchni ΔS. Oznaczmy przez K_b zbiór wszystkich kątów bryłowych, w kształcie stożka, o wierzchołku $O \in \Delta S$, mających taką samą miarę Γ, osie do siebie równoległe i tworzące z wektorem normalnym $\vec{n}$ do powierzchni ΔS kąt β. Niech Z oznacza zbiór wszystkich wektorów o końcach w punkcie $O \in \Delta S$, zawartych w kącie bryłowym należących do zbioru K_b. Mówimy, że grawiton jest absorbowany przez element powierzchni ΔS z kąta bryłowego Γ, jeżeli wektor pędu grawitonu absorbowanego przez element powierzchni ΔS jest równy pewnemu wektorowi ze zbioru Z.

Zamiast obliczać pęd przekazywany do cząstki, przez grawitony przez nią absorbowane lub emitowane, wygodniej jest rozpatrywać strumień energii absorbowanej lub emitowanej przez cząstkę. Ten strumień oddziałujący z cząstką, z określonego kąta bryłowego, pozwala następnie określić pęd przekazywany do cząstki przez grawitony. Jeżeli kąt bryłowy ma niewielką miarę i energia przekazana do elementu powierzchni ΔS przez grawitony przez nią absorbowane, z kąta bryłowego, jest równa ΔE, to pęd przekazany przez te grawitony do tego elementu powierzchni jest równy

$$\Delta p = \frac{\Delta E}{c}.$$

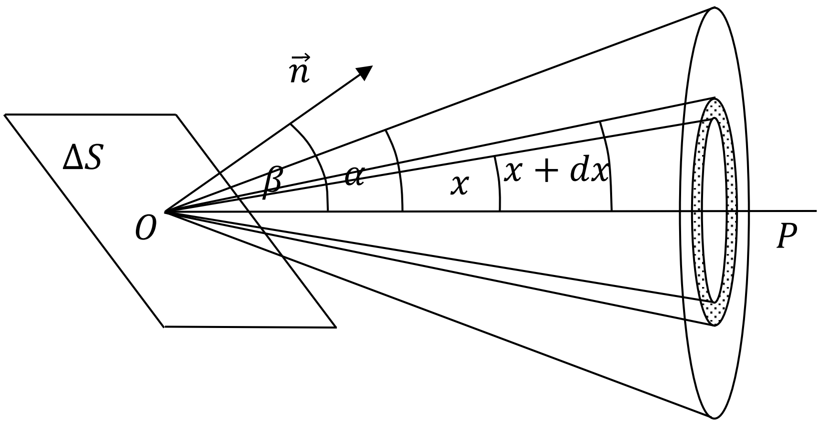
Do elementu powierzchni cząstki o polu ΔS, w czasie Δt, grawitony absorbowane przez cząstkę przekazują energię $\Delta S E_s \Delta t$ z kąta bryłowego półpełnego o mierze 2π. Grawitony absorbowane przez ten element powierzchni z kąta bryłowego o mierze Γ przekazują, w czasie Δt, do tego elementu energię

$$\Delta S \cos\beta\, E_s \frac{1}{2\pi} \Gamma \Delta t = \Delta S' E_s \frac{1}{2\pi} \Gamma \Delta t.$$

Wielkość

$$\Delta S' = \Delta S \cos\beta$$

jest polem powierzchni rzutu prostokątnego elementu ΔS na płaszczyznę przechodzącą przez punkt O i prostopadłą do osi stożka, określającego kąt bryłowy Γ. Element powierzchni $\Delta S'$ absorbuje taką samą ilość energii, za pośrednictwem grawitonów, jak element ΔS.



Rys. 1.7.3.

Kąt bryłowy o wierzchołku w punkcie O odpowiadający kątowi x ma miarę

$$4\pi \sin^2 \frac{x}{2}.$$

Element powierzchni ΔS z kąta bryłowego określonego przez kąt x oraz kąt $x + dx$ absorbuje, w czasie Δt, odpowiednio energię

$$\Delta E_x = 2\Delta S \cos\beta\, E_s \sin^2 \frac{x}{2} \Delta t$$

i

$$\Delta E_{x+dx} = 2\Delta S \cos\beta\, E_s \sin^2 \frac{x+dx}{2} \Delta t.$$

Energia absorbowana przez ΔS z kąta bryłowego o mierze Γ_{x+dx}, z którego wycięto kąt bryłowy o mierze Γ_x jest równa

$$\Delta E_{x+dx,x} = \Delta E_{x+dx} - \Delta E_x = 2\Delta S\, cos\,\beta\, E_s \Delta t \left(sin^2 \frac{x+dx}{2} - sin^2 \frac{x}{2} \right).$$

$$\Delta E_{x+dx,x} = 2\Delta S\, cos\,\beta\, E_s \Delta t\, sin \frac{2x+dx}{2} sin \frac{dx}{2}$$

$$\Delta E_{x+dx,x} = \Delta S\, cos\,\beta\, E_s \Delta t\, sin\, x\, dx$$

Wypadkowy pęd przekazywany do elementu ΔS z kąta bryłowego $\Gamma_{x+dx,x}$ jest wektorem równoległym do osi OP kąta bryłowego a jego wartość jest równa

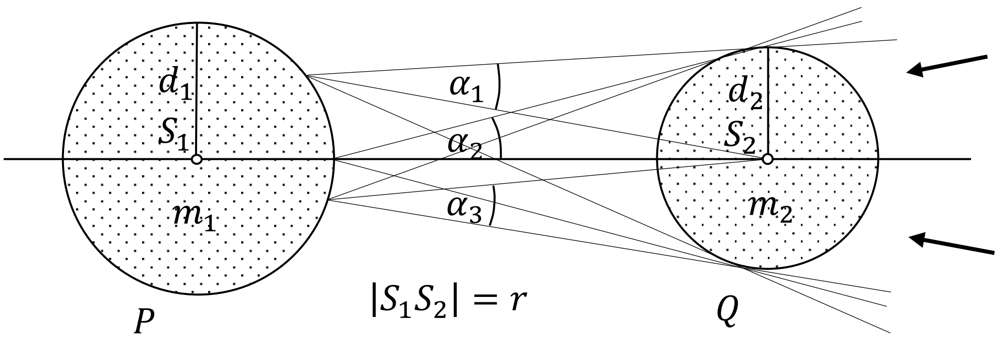
$$\Delta p_{x+dx,x} = \frac{1}{c} \Delta S\, cos\,\beta\, E_s \Delta t\, sin\, x \cos x\, dx.$$

Całkowity pęd przekazany do elementu powierzchni ΔS, z kąta bryłowego odpowiadającego kątowi α jest równy

$$\Delta p = \frac{1}{2c} \Delta S\, cos\,\beta\, E_s \Delta t \int_0^{\alpha} \sin 2x\, dx.$$

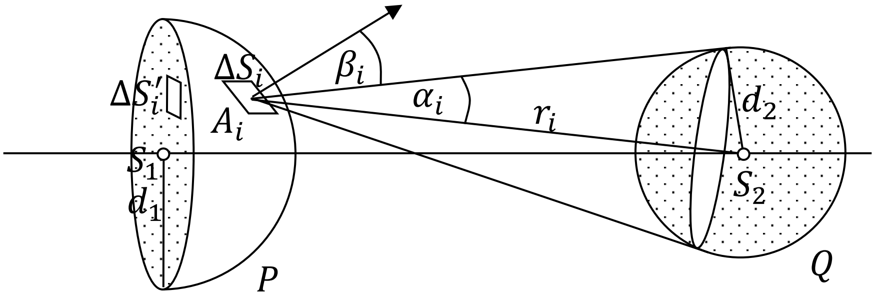
$$\Delta p = \frac{1}{2c} \Delta S\, cos\,\beta\, E_s \Delta t \sin^2 \alpha$$

Weźmy dwie elementarne cząstki P i Q o masach m_1 i m_2, promieniach d_1 i d_2, znajdujące się w odległości $r < d_w$ od siebie, daleko od innych cząstek.



Rys. 1.7.4.

Cząstka Q zatrzymuje część grawitonów, które mogłaby zaabsorbować cząstka P. Podzielmy powierzchnię półkuli cząstki P, zwróconą w stronę środka cząstki Q, na n dostatecznie małych elementów powierzchni ΔS_i.



Rys. 1.7.5.

Do każdego elementu ΔS_i, ze względu na obecność cząstki Q, nie jest przekazywany pęd

$$\Delta p_i = \frac{1}{2c} \Delta S_i \cos\beta_i \, E_s \sin^2\alpha_i \, \Delta t,$$

gdzie α_i jest kątem wyznaczonym przez cząstkę Q o wierzchołku w punkcie $A_i \in \Delta S_i$. Utwórzmy rzuty prostokątne $\Delta S_i'$ elementów ΔS_i na koło, o środku S_1 i promieniu d_1, prostopadłe do prostej $S_1 S_2$.

$$\Delta S_i' = \Delta S_i \cos\beta_i$$

$$\Delta p_i = \frac{1}{2c} \Delta S_i' E_s \sin^2\alpha_i \, \Delta t$$

$$\Delta p_i = \frac{1}{2c} \Delta S_i' E_s \frac{d_2^2}{r_i^2} \Delta t$$

$$r_i = |A_i S_2|$$

Jeżeli $d_1 \ll r$, to możemy przyjąć, że $r_i = r$ i $A_i S_2 \parallel S_1 S_2$.

$$\Delta p_i = \frac{1}{2c} \Delta S_i' E_s \frac{d_2^2}{r^2} \Delta t$$

Pęd, który nie zostanie przekazany do cząstki P, ze względu na obecność cząstki Q, w czasie Δt, ma wartość

$$p = \sum_{i=1}^{n} \Delta p_i$$

i zwrot wektora $\overrightarrow{S_2 S_1}$.

$$p = \frac{1}{2c} E_s \frac{d_2^2}{r^2} \Delta t \sum_{i=1}^{n} \Delta S_i'$$

$$p = \frac{1}{2c} E_s \frac{d_2^2}{r^2} \Delta t \pi d_1^2$$

$$p = \frac{1}{2c}\pi E_s \frac{d_1^2 d_2^2}{r^2}\Delta t$$

Ponieważ

$$m_1^* = \frac{4\pi d_1^2 E_s D_w}{hc}$$

więc

$$d_1^2 = \frac{m_1^* hc}{4\pi E_s D_w}$$

i odpowiednio

$$d_2^2 = \frac{m_2^* hc}{4\pi E_s D_w}.$$

$$p = \frac{h^2 c}{32\pi E_s D_w^2} \cdot \frac{m_1^* m_2^*}{r^2}\Delta t$$

$$p = \frac{h^2 c\eta^2}{32\pi E_s D_w^2} \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2}\Delta t$$

dla

$$r < d_w\ .$$

Pęd przekazany do cząstki P przez grawitony przez nią absorbowane ma wartość p i zwrot wektora $\overrightarrow{S_1 S_2}$. Cząstce Q zostanie przekazany pęd równy liczbowo p zwrócony w stronę cząstki P.

Każda cząstka wyemituje odpowiednią ilość energii, za pośrednictwem grawitonów, równomiernie w każdym kierunku. Grawitony wyemitowane przez cząstkę Q nie oddziałują z cząstką P i przekazują do tej cząstki zerowy pęd. Analogiczna sytuacja zachodzi dla cząstki Q.

Ostatecznie na obie cząstki działają siły równe co do wartości ale przeciwnie skierowane (w stronę drugiej cząstki).

$$F = \frac{h^2 c\eta^2}{32\pi E_s D_w^2} \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Oznaczmy

$$a_w = \frac{hc}{32\pi E_s D_w^2}\ .$$

Dla $r < d_w$ pęd przekazany do cząstki P ze względu na obecność cząstki Q jest

$$\vec{p} = a_w h\eta^2 \frac{m_1 m_2}{|S_1 S_2|^2}\Delta t \frac{\overrightarrow{S_1 S_2}}{|S_1 S_2|}$$

i siła działająca na cząstkę P jest równa

$$\vec{F} = a_w h\eta^2 \frac{m_1 m_2}{|S_1 S_2|^2} \cdot \frac{\overrightarrow{S_1 S_2}}{|S_1 S_2|} \ .$$

W ten sposób otrzymujemy prawo powszechnej grawitacji w wyniku oddziaływania cząstek materii lub cząstek przestrzeni, za pośrednictwem grawitonów, na poziomie cząstek elementarnych. Otrzymana wartość siły jest wartością średnią. Ze względu na chaotyczne oddziaływanie cząstki z grawitonami, w bardzo krótkich odstępach czasu, rzeczywista wartość siły może się nieco różnić od wartości średniej.

Z porównania tego wzoru z prawem powszechnej grawitacji Newtona wynikają zależności

$$a_w h\eta^2 = G$$

i

$$\frac{h^2 c\eta^2}{32\pi E_s D_w^2} = G.$$

Wartości h, G, E_s, D_w i c są wyznaczone przez obserwatora znajdującego się blisko cząstki P.

Obliczmy ilość grawitonów nieoddziałujących z cząstką P ze względu na obecność cząstki Q.

Cząstce P nie jest przekazywany pęd

$$p = a_w h\eta^2 \frac{m_1 m_2}{r^2} \Delta t.$$

Średni pęd przekazywany przez jeden grawiton do cząstki P jest równy

$$p_{śr} = \frac{h}{D_w},$$

gdzie D_w jest odpowiednią odległością i wartością stałą.

Średni pęd $p_{śr}$ nie zależy od odległości cząstek P i Q. Z cząstką P nie oddziałuje

$$N_1 = \frac{p}{p_{śr}}$$

grawitonów, ze względu na zmniejszenie pędu do niej przekazywanego.

$$N_1 = a_w h\eta^2 \frac{m_1 m_2}{r^2} \Delta t \frac{D_w}{h}$$

$$N_1 = a_w D_w \eta^2 \frac{m_1 m_2}{r^2} \Delta t$$

Ze względu na obecność cząstki Q ilość grawitonów oddziałujących z cząstką P jest mniejsza o N_1. Równocześnie zmalało ciśnienie wywierane przez grawitony na jej powierzchnię. Cząstka powiększa nieco swoją powierzchnię i dlatego absorbuje o N_2 więcej grawitonów ($N_2 < N_1$). Te ostatnie nie zmieniają pędu przekazywanego przez wszystkie grawitony do cząstki P, ponieważ oddziałują z cząstką niemal jednakowo z każdego kierunku, ale wpływają na wartość jej masy.

$$N_2 = N_1\left(1 - \frac{r}{d_w}\right),$$

i

$$r < d_w.$$

Tylko przy takim założeniu, co do wartości N_2 , wnioski wynikające z przedstawionej teorii grawitacji są zgodne z doświadczeniem i obserwacjami astronomicznymi.

Ilość wszystkich grawitonów nieoddziałujących z cząstką P, ze względu na obecność cząstki Q, jest równa

$$N = N_1 - N_2 = N_1 \cdot \frac{r}{d_w}.$$

$$N = a_w \frac{D_w}{d_w} \eta^2 \frac{m_1 m_2}{r} \Delta t$$

Wprowadźmy oznaczenie

$$k_w = a_w \frac{D_w}{d_w}.$$

$$a_w = k_w \frac{d_w}{D_w}$$

Ilość wszystkich grawitonów, które nie oddziałują z cząstką P, ze względu na obecność cząstki Q, jest określona wzorem

$$N = k_w \eta^2 \frac{m_1 m_2}{r} \Delta t$$

dla

$$r < d_w.$$

$$N = k_w \frac{m_1^* m_2^*}{r} \Delta t$$

Równocześnie o taką samą wartość zmniejszy się ilość grawitonów oddziałujących z cząstkę Q.

Siła działająca na cząstkę P jest równa

$$F = k_w \frac{d_w}{D_w} h\eta^2 \frac{m_1 m_2}{r^2} .$$

$$F = a_w h\eta^2 \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Przy wyprowadzaniu wzoru dla F przyjęto $r_i = r$. Dlatego ten wzór nie jest zupełnie dokładny. Weźmy dwie elementarne cząstki, o promieniu $d = 10^{-15}\ m$, znajdujące się w odległości $r = 1\ mm = 10^{-3}\ m$. Błąd względny, z jakim jest określona siła F, w tym przypadku jest równy

$$\frac{\Delta F}{F} \le \frac{2\Delta r}{r} = \frac{2d}{r}.$$

$$\frac{\Delta F}{F} \le \frac{2 \cdot 10^{-15}}{10^{-3}} = 2 \cdot 10^{-12}$$

Dla większych odległości między cząstkami ten błąd jest jeszcze mniejszy. Ponieważ oddziaływanie grawitacyjne między ciałami jest oddziaływaniem grawitacyjnym między ich cząstkami elementarnymi, więc wzór określający prawo powszechnej grawitacji Newtona, w zwykłych warunkach, można uznać za zupełnie dokładny. Dopiero dla bardzo małych odległości między cząstkami, porównywalnymi z ich rozmiarami, wystąpi odstępstwo od wzoru Newtona.

W wyniku oddziaływania z grawitonami na dwie cząstki przestrzeni działają siły „przyciągania” według tego samego wzoru jak dla dwóch cząstek materii. We Wszechświecie mogą powstać obszary, w których gęstość przestrzeni jest większa od wartości średniej. Również między cząstką materii i cząstką przestrzeni działa siła „przyciągania” określona takim samym wzorem jak dla cząstek materii.

Weźmy cząstkę P, o środku S_1 i cząstkę Q o środku S_2, znajdujące się w odległości $r > d_w$. Cząstka P emituje grawitony absorbowane przez cząstkę Q. Każdy element ΔS_i cząstki P emituje za pośrednictwem grawitonów, w czasie Δt, taką samą ilość energii, jaką absorbuje w tym czasie. Cząstka Q absorbuje energię emitowaną z elementu ΔS_i z kąta bryłowego wyznaczonego przez kąt α_i (Rys. 1.7.5.). Jeżeli przyjmiemy, że $r_i = r$, to całkowity pęd przekazywany przez cząstkę P do cząstki Q, w czasie Δt, ma wartość

$$p_2 = \pi d_1^2 E_s \frac{1}{2c} \sin^2 \alpha_1\, \Delta t$$

i zwrot wektora $\overrightarrow{S_1 S_2}$.

$$p_2 = \frac{1}{2c} \pi d_1^2 E_s \frac{d_2^2}{r^2} \Delta t$$

$$p_2 = \frac{1}{2c}\pi E_s \frac{d_1^2 d_2^2}{r^2}\Delta t$$

$$p_2 = \frac{h^2 c\eta^2}{32\pi E_s D_w^2}\cdot\frac{m_1 m_2}{r^2}\Delta t$$

Cząstce Q jest przekazywany pęd

$$\overrightarrow{p_2} = a_w h\eta^2 \frac{m_1 m_2}{|S_1S_2|^2}\Delta t \frac{\overrightarrow{S_1S_2}}{|S_1S_2|}.$$

Podobnie cząstka P absorbuje grawitony emitowane przez cząstkę Q. Cząstce P jest przekazywany pęd

$$\overrightarrow{p_1} = a_w h\eta^2 \frac{m_1 m_2}{|S_1S_2|^2}\Delta t \frac{\overrightarrow{S_2S_1}}{|S_1S_2|}.$$

Na cząstkę P działa siła

$$\overrightarrow{F_1} = a_w h\eta^2 \frac{m_1 m_2}{|S_1S_2|^2}\cdot \frac{\overrightarrow{S_2S_1}}{|S_1S_2|}.$$

W wyniku tego oddziaływania z grawitonami obie cząstki zyskują pewien pęd zwrócony przeciwnie do środka drugiej cząstki. Na każdą cząstkę działa siła odpychania określona tym samym wzorem jak siła „przyciągania" dla dwóch cząstek materii.

Ponieważ dla $r > d_w$ z każdego kierunku do cząstek jest przekazywany, za pośrednictwem grawitonów, taki sam pęd, to między cząstkami nie ma „przyciągania" grawitacyjnego.

Ilość grawitonów emitowanych z jednej cząstki i absorbowanych przez drugą, w czasie Δt, jest równa

$$N_{1,2} = \frac{\Delta p_1}{p},$$

gdzie

$$p = \frac{h}{r}$$

jest pędem przekazywanym z jednej cząstki do drugiej przez jeden grawiton.

$$N_{1,2} = p_1\frac{r}{h} = a_w\eta^2\frac{m_1 m_2}{r}\Delta t$$

i jest odwrotnie proporcjonalna do odległości między cząstkami.

$$N_{1,2} = a_w \frac{m_1^* m_2^*}{r} \Delta t$$

Przedstawione powyżej oddziaływanie grawitacyjne między dwiema elementarnymi cząstkami, polegające na wymianie grawitonów między nimi, ma charakter statystyczny (przypadkowy). Wyprowadzone wzory dają właściwe wartości energii, pędu, ilości oddziałujących grawitonów, dla pojedynczych elementarnych cząstek, w długim odstępie czasu Δt. Dla ciał złożonych z bardzo dużej ilości elementarnych cząstek są prawdziwe nawet w bardzo krótkich odstępach czasowych.

Dla elementarnej cząstki materii o masie m i promieniu d mamy

$$m = \frac{4\pi d^2 E_s D_w}{hc\eta}.$$

$$D_w = \frac{mhc\eta}{4\pi E_s d^2}.$$

Podstawiając wartość D_w do wzoru

$$\frac{h^2 c\eta^2}{32\pi E_s D_w^2} = G$$

otrzymujemy

$$\frac{d^2}{m} = \sqrt{\frac{2Gc}{\pi E_s}}.$$

Podsumowanie

Weźmy cząstkę P o masie m_1^* i cząstkę Q o masie m_2^* o środkach odpowiednio S_1 i S_2, które znajdują się w odległości $|S_1 S_2| > d_w$.

Ilość grawitonów oddziałujących między tymi cząstkami, w czasie Δt, jest równa

$$N_{1,2} = a_w \frac{m_1^* m_2^*}{|S_1 S_2|} \Delta t.$$

Ze względu na wzajemne oddziaływanie grawitacyjne cząstce P z cząstki Q jest przekazywany pęd

$$\overrightarrow{p_1} = a_w h \frac{m_1^* m_2^*}{|S_1 S_2|^2} \Delta t \frac{\overrightarrow{S_2 S_1}}{|S_1 S_2|}.$$

Odpowiednio cząstce Q jest przekazywany pęd

$$\overrightarrow{p_2} = -\overrightarrow{p_1}.$$

Weźmy dwie cząstki materii o masach m_1^* i m_2^* o środkach S_1 i S_2, znajdujące się w odległości $|S_1S_2| < d_w$.

Ilość grawitonów, które nie oddziałują, w czasie Δt, z pierwszą cząstką, ze względu na obecność drugiej jest równa

$$N = k_w \frac{m_1^* m_2^*}{|S_1S_2|} \Delta t.$$

$$N = \frac{D_w}{d_w} N_{1,2}$$

Pęd, który zostanie przekazany do pierwszej cząstki ze względu na obecność drugiej, jest równy

$$\vec{p} = a_w h \frac{m_1^* m_2^*}{|S_1S_2|^2} \Delta t \frac{\overrightarrow{S_1S_2}}{|S_1S_2|}.$$

$$k_w \frac{d_w}{D_w} h\eta^2 = G$$

$$a_w = k_w \frac{d_w}{D_w}$$

$$a_w h\eta^2 = G$$

1.8. Zmiana pędu i energii kinetycznej cząstki materii lub przestrzeni w wyniku oddziaływania z grawitonami

Oddziaływanie grawitacyjne materialnego ciała (złożonego z elementarnych cząstek) oraz pozostałych elementarnych cząstek jest sumą oddziaływań elementarnych cząstek tego ciała z pozostałymi elementarnymi cząstkami, za pośrednictwem grawitonów.

Założenie 5.

Zmieńmy w dowolny sposób pęd cząstki (na przykład działając na nią siłą grawitacyjną lub elektromagnetyczną $\overrightarrow{F_1}$) o $\overrightarrow{\Delta p_1}$, w czasie Δt, podczas spoczynku w układzie UW między jednym a drugim skokiem.

Taka zmiana jest możliwa tylko wtedy, jeżeli, w czasie Δt, wśród grawitonów oddziałujących z cząstką znajdą się takie, które przekażą cząstce pęd $\overrightarrow{\Delta p_1}$. Te grawitony zmieniają pęd cząstki, ale nie działają na cząstkę żadną siłą. W tym czasie pozostałe grawitony oddziałujące z cząstką przekazują do niej pęd $\overrightarrow{\Delta p_2}$. Te grawitony nie zmieniają pędu cząstki, ale powodują, że na cząstkę działa siła

$$\overrightarrow{F_2} = \frac{\overrightarrow{\Delta p_2}}{\Delta t}.$$

Każda zmiana pędu cząstki jest możliwa tylko w wyniku oddziaływania cząstki z grawitonami a co za tym idzie z innymi cząstkami. Każda zmiana pędu cząstki powoduje zmiany pędu innych cząstek, tak, że całkowity pęd Wszechświata nie ulega zmianie.

Zmiana pędu ciała jest sumą zmian pędów cząstek elementarnych tworzących to ciało.

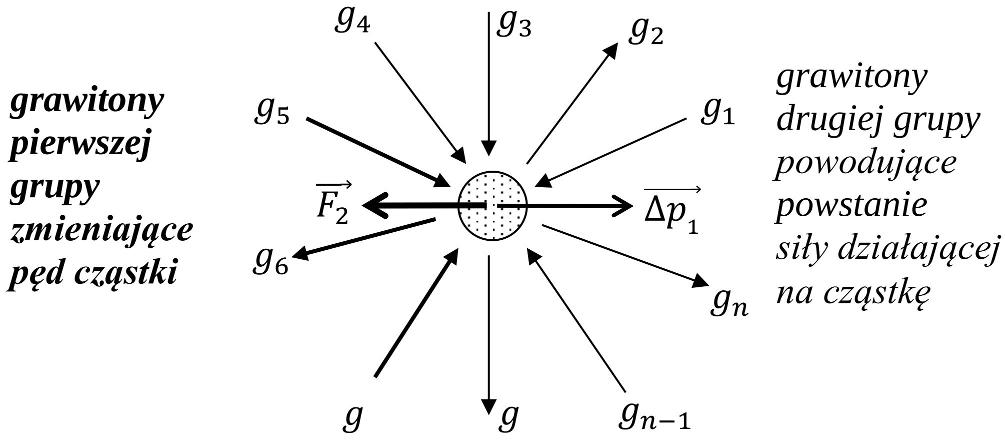
Zmiana pędu cząstki jest możliwa tylko w wyniku absorpcji lub emisji grawitonu. Nie ma innej możliwości zmiany pędu cząstki. Stwierdzenie, że pęd cząstki zmienia się pod wpływem działania siły to tylko pewna obserwacja, która nie wyjaśnia, dlaczego ta zmiana jest możliwa. Energia elektronu w atomie zmienia się skokowo, jeżeli elektron wyemituje lub zaabsorbuje foton. Dlatego nie powinno wydawać się dziwne, że pęd i energia cząstki elementarnej zmieniają się skokowo przez emisję lub absorpcję grawitonu.

Wydaje się, że pęd elementarnej cząstki zmienia się płynnie a nie skokowo, ponieważ pęd przekazywany tej cząstce, w czasie Δt między skokami, jest w zwykłych warunkach bardzo mały.

Grawitony oddziaływujące z cząstką można podzielić na dwie grupy.

Pierwszą grupę stanowią grawitony potrzebne do zmiany pędu cząstki. Suma pędów przekazanych cząstce, w czasie Δt, przez grawitony pierwszej grupy jest równa zmianie pędu cząstki w tym czasie. Grawitony pierwszej grupy zmieniają pęd cząstki, ale nie działają na nią żadną siłą.

Drugą grupę stanowią pozostałe grawitony oddziałujące z cząstką. Suma pędów przekazanych cząstce przez drugą grupę, w czasie Δt, określa siłę działającą na cząstkę.



Rys. 1.8.1.

Niech, w czasie Δt, z cząstką oddziałuje n grawitonów $g_1, g_2, \dots, g_{n-1}, g_n$, które przekazują cząstce pęd

$$\overrightarrow{\Delta p} = \sum_{k=1}^{n} \overrightarrow{p_k}$$

i energię

$$\Delta E = \sum_{k=1}^{n} E_k,$$

gdzie $\overrightarrow{p_k}$ jest pędem i E_k energią przekazaną cząstce przez grawiton g_k.

Jeżeli k - ty grawiton jest emitowany przez cząstkę, to $E_k < 0$. Jeżeli k - ty grawiton jest absorbowany przez cząstkę, to $E_k > 0$.

1) Jeżeli cząstka jest swobodna, to zmiana pędu cząstki, w czasie Δt, jest równa $\overrightarrow{\Delta p}$ i zmiana jej energii całkowitej jest ΔE. Grawitony pierwszej grupy zmieniają pęd cząstki. Pędy przekazane cząstce przez grawitony drugiej grupy równoważą się i na cząstkę nie działa żadna siła.

Gdy w pewnym przedziale czasowym

$$\overrightarrow{\Delta p} = \sum_{k=1}^{n} \overrightarrow{p_k} = \vec{0}$$

i

$$\Delta E = 0$$

dla każdego Δt, to cząstka porusza się ruchem jednostajnym.

Dla $\overrightarrow{\Delta p} \neq \vec{0}$ cząstka, w czasie Δt, zmieni swoją energię kinetyczną o ΔE_k i zmieni swoją całkowitą energię o ΔE_c . Między tymi zmianami zachodzi związek

$$\Delta E_k + \Delta E = \Delta E_c.$$

Energia kinetyczna cząstki jest częścią całkowitej energii cząstki.

2) Jeżeli zewnętrzna siła $\overrightarrow{F_1}$ zmieni pęd cząstki o wektor $\overrightarrow{\Delta p_1}$, w czasie Δt, to wśród grawitonów oddziałujących z cząstką, w tym czasie, istnieje l grawitonów pierwszej grupy $g_1, g_2, \dots, g_l$, takich że

$$\overrightarrow{\Delta p_1} = \sum_{k=1}^{l} \overrightarrow{p_k},$$

gdzie $\overrightarrow{p_k}$ jest pędem przekazanym cząstce przez grawiton g_k. Pozostałe grawitony drugiej grupy $g_{l+1}, g_{l+2}, \dots, g_n$ przekazują cząstce pędy $\overrightarrow{p_{l+1}}, \overrightarrow{p_{l+2}}, \dots, \overrightarrow{p_n}$. Suma pędów tych grawitonów jest równa

$$\overrightarrow{\Delta p_2} = \sum_{k=l+1}^{n} \overrightarrow{p_k}.$$

Te grawitony powodują, że na cząstkę działa siła

$$\overrightarrow{F_2} = \frac{\overrightarrow{\Delta p_2}}{\Delta t}.$$

$$\overrightarrow{F_2} = \frac{\overrightarrow{\Delta p} - \overrightarrow{\Delta p_1}}{\Delta t}$$

$$\overrightarrow{F_2} = \frac{\overrightarrow{\Delta p}}{\Delta t} - \frac{\overrightarrow{\Delta p_1}}{\Delta t}$$

Jeżeli pęd

$$\overrightarrow{\Delta p} = \sum_{k=1}^{n} \overrightarrow{p_k}$$

przekazany cząstce przez grawitony jest wektorem zerowym, to

$$\overrightarrow{F_2} = -\frac{\overrightarrow{\Delta p_1}}{\Delta t}.$$

$$\overrightarrow{F_2} = -\overrightarrow{F_1}$$

Zmiana energii kinetycznej ΔE_k jest równa pracy W wykonanej przez siłę $\overrightarrow{F_1}$.

$$\Delta E_k = W$$

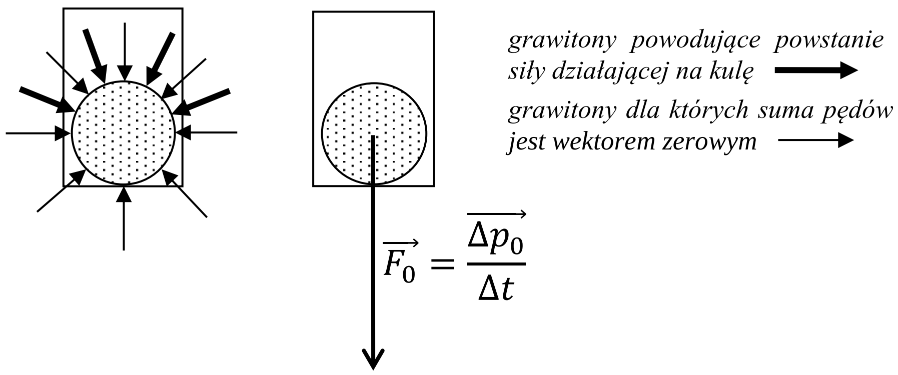
Zmiana całkowitej energii cząstki ΔE_c jest równa sumie pracy W wykonanej przez siłę $\overrightarrow{F_1}$ i energii przekazanej przez grawitony ΔE.

$$\Delta E_c = W + \Delta E$$

3) Jeżeli pęd cząstki nie zmieni się w czasie Δt (cząstka jest unieruchomiona lub porusza się wymuszonym ruchem jednostajnym i nie zmienia się jej masa), to pędy grawitonów pierwszej grupy równoważą się, natomiast grawitony drugiej grupy powodują, że na cząstkę działa siła

$$\vec{F} = \frac{\overrightarrow{\Delta p}}{\Delta t}.$$

Energia wewnętrzna cząstki zmieni się o ΔE.



Rys. 1.8.2.

Weźmy materialną kulę o masie m spoczywającą na podłodze nieruchomej windy, znajdującej się na powierzchni Ziemi. Spoczynek kuli jest wymuszony ze względu na oddziaływanie kuli z podłogą windy. Na cząstki kuli działają siły oddziaływania grawitacyjnego i siły elektromagnetyczne między cząstkami kuli oraz podłogi windy. Cząstki elementarne tworzące kulę poruszają się skokowo w sposób chaotyczny i ich pędy zmieniają się, w niewielkim stopniu, w krótkich odstępach czasu. Pewna ilość grawitonów oddziałujących z cząstkami jest potrzebna do zmiany ich pędu, pozostałe działają na nie pewną siłą. Jednak suma pędów grawitonów zmieniających pędy cząstek kuli, w jednostce czasu, jest wektorem zerowym.

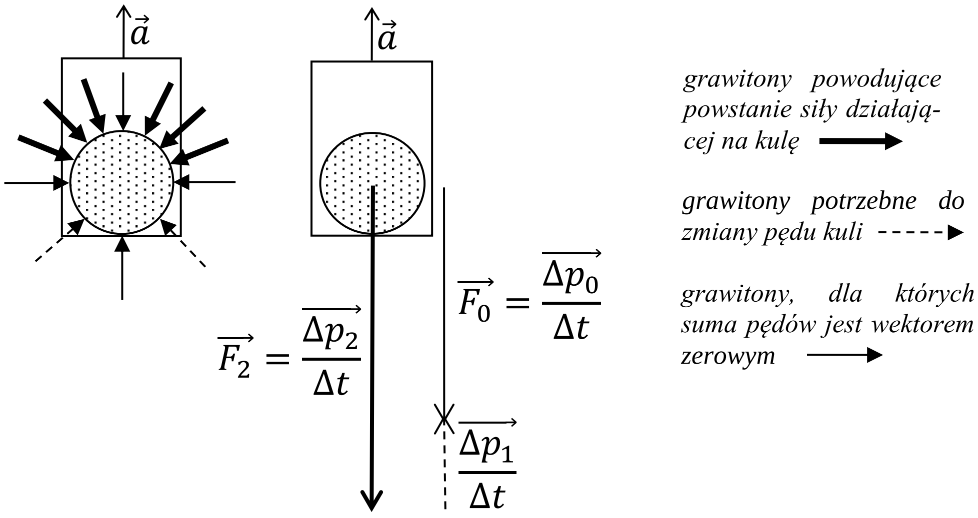
Kula, jako całość nie zmienia swojego pędu, pozostaje w spoczynku i możemy powiedzieć, że żadne grawitony nie są potrzebne do zmiany pędu kuli.

Od strony środka Ziemi z kulą oddziałuje mniej grawitonów niż ze strony przeciwnej. Wypadkowy pęd $\overrightarrow{\Delta p_0}$ przekazywany do cząstek kuli przez grawitony, w czasie Δt, jest niezerowy i skierowany w dół. Oddziaływanie z grawitonami nie zmienia pędu kuli, lecz przejawia się w postaci ciężaru kuli naciskającej z siłą

$$\overrightarrow{F_0} = \frac{\overrightarrow{\Delta p_0}}{\Delta t}$$

na podłogę windy. Siła nacisku $\overrightarrow{F_0}$ jest wynikiem oddziaływania cząstek kuli z cząstkami podłogi.

Niezależnie od tego czy kula pozostaje w spoczynku czy porusza się w dowolny sposób, ilości grawitonów dochodzących do niej z każdego kierunku są jednakowe (cząstki kuli poruszają się w sposób skokowy pozostając w spoczynku, w układzie UW, między jednym a drugim skokiem). Również pędy przekazywane przez nie do kuli są takie same. Jednak w zależności od ruchu kuli grawitony mogą być w różny sposób wykorzystywane. Część z nich jest potrzebna do zmiany pędu kuli, pozostałe działają na nią pewną siłą.



Rys. 1.8.3.

Jeżeli winda porusza się ruchem przyspieszonym w górę, to zmusza również kulę do ruchu przyspieszonego w górę z tym samym przyspieszeniem $\vec{a}$. Część grawitonów oddziałujących z kulą jest potrzebna do zmiany pędu cząstek kuli. Suma pędów tych grawitonów, zmieniających pęd kuli w czasie Δt, jest wektorem niezerowym

$$\overrightarrow{\Delta p_1} = m\Delta t\vec{a}$$

zwróconym w górę. Wypadkowa pędów pozostałych grawitonów, oddziałujących z kulą w czasie Δt, jest wektorem $\overrightarrow{\Delta p_2}$ zwróconym w dół i

$$\overrightarrow{\Delta p_2} + \overrightarrow{\Delta p_1} = \overrightarrow{\Delta p_0}.$$

Stąd $\Delta p_2 > \Delta p_0$. Te grawitony nie zmieniają pędu kuli, ale ich oddziaływanie z kulą przejawia się w postaci zwiększonego ciężaru kuli naciskającej z siłą

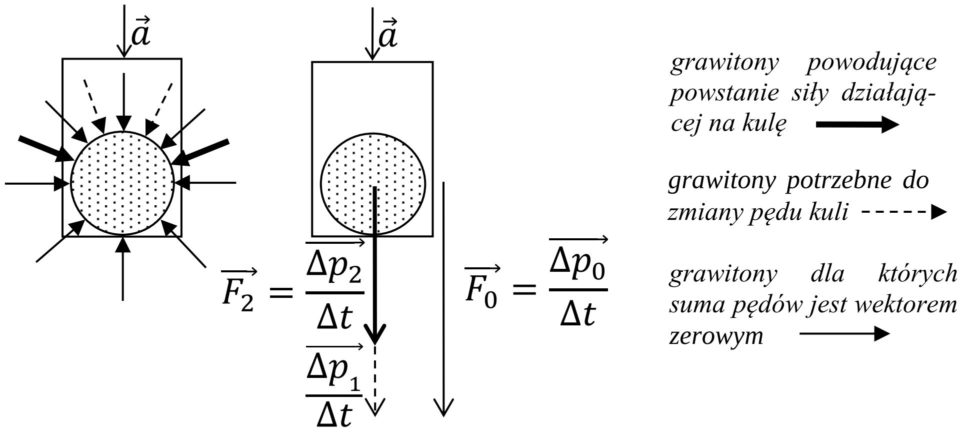
$$\overrightarrow{F_2} = \frac{\overrightarrow{\Delta p_2}}{\Delta t}$$

większą od $\overrightarrow{F_0}$ na podłogę windy.

$$\overrightarrow{F_2} = \frac{\overrightarrow{\Delta p_0}}{\Delta t} - \frac{\overrightarrow{\Delta p_1}}{\Delta t}$$

$$F_2 = F_0 + \frac{\Delta p_1}{\Delta t}$$

$$F_2 = F_0 + ma$$



Rys. 1.8.4.

Jeżeli winda porusza się ruchem przyspieszonym w dół z przyspieszeniem $a < g$, to również kula porusza się z takim samym przyspieszeniem. Część grawitonów oddziałujących z kulą jest potrzebna do zmiany pędu kuli. Suma pędów tych grawitonów, zmieniających pęd kuli w czasie Δt, jest wektorem

$$\overrightarrow{\Delta p_1} = m\Delta t\vec{a}$$

zwróconym w dół. Wypadkowa pędów pozostałych grawitonów, oddziałujących z kulą w czasie Δt, jest wektorem $\overrightarrow{\Delta p_2}$ zwróconym w dół i

$$\overrightarrow{\Delta p_2} + \overrightarrow{\Delta p_1} = \overrightarrow{\Delta p_0}.$$

Stąd $\Delta p_2 < \Delta p_0$. Te grawitony nie zmieniają pędu kuli, ale ich oddziaływanie z kulą przejawia się w postaci zmniejszonego ciężaru kuli naciskającej z siłą

$$\overrightarrow{F_2} = \frac{\overrightarrow{\Delta p_2}}{\Delta t}$$

mniejszą od $\overrightarrow{F_0}$ na podłogę windy.

$$\overrightarrow{F_2} = \frac{\overrightarrow{\Delta p_0}}{\Delta t} - \frac{\overrightarrow{\Delta p_1}}{\Delta t}$$

$$F_2 = F_0 - \frac{\Delta p_1}{\Delta t}$$

$$F_2 = F_0 - ma$$

1.9. Oddziaływanie grawitacyjne między materią lub przestrzenią zawartą w elementach objętości

Założenie 6.

Objętość Wszechświata jest skończona.

Z materią oraz przestrzenią zawartą w elemencie objętości ΔV***, w czasie*** Δt***, oddziałuje skończona ilość grawitonów.***

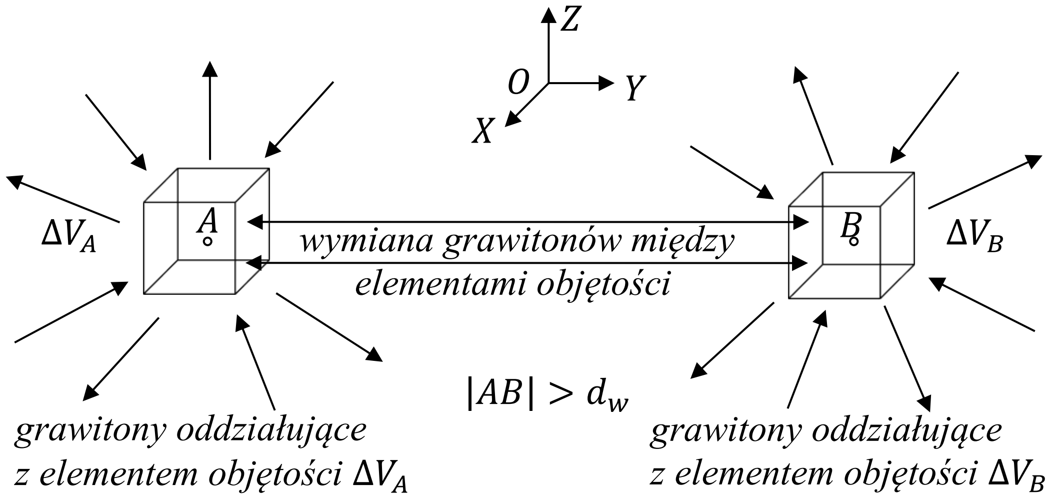
Wszechświat jest kulą zawierającą, w bardzo dużej skali, równomiernie rozmieszczone cząstki materii i przestrzeni; średnia gęstość materii jest równa średniej gęstości przestrzeni

$$\varrho_m^* = \varrho_p^*.$$

Średnia łączna gęstość materii i przestrzeni

$$\varrho_w^* = \varrho_m^* + \varrho_p^* \, .$$

$$\varrho_w = 10^{-28}\ \frac{kg}{m^3}$$



Rys. 1.9.1.

Cząstki materii oraz przestrzeni w elemencie ΔV_A oddziałują z cząstkami materii oraz przestrzeni w elemencie ΔV_B.

Założenie 7.

Weźmy w prostokątnym układzie współrzędnych $OXYZ$ ***dowolne elementy objętości*** ΔV_A ***i*** ΔV_B ***o środkach w punktach przestrzeni*** A ***i*** B ***takich, że*** $|AB| > d_w$***. Masa materii*** m_A^* ***i masa przestrzeni*** m_{pA}^* ***w elemencie*** ΔV_A ***oraz masy*** m_B^* ***i*** m_{pB}^* ***w elemencie*** ΔV_B ***są określone przez dowolnego ustalonego obserwatora*** O***, znajdującego się w początku układu*** $OXYZ$***, przy pomocy własnego zegara*** Z***.***

Ilość grawitonów ΔN_{oA} ***oddziałujących, w czasie*** Δt***, z materią zawartą w elemencie objętości*** ΔV_A***, które są emitowane lub absorbowane przez materię***

zawartą w elemencie objętości ΔV_B jest wprost proporcjonalna do masy m_B^* cząstek materii zawartych w elemencie ΔV_B, do masy materii m_A^* w elemencie objętości ΔV_A i odwrotnie proporcjonalna do odległości $|AB|$.

$$\Delta N_{oA} = a_w \frac{m_B^* m_A^*}{|AB|} \Delta t$$

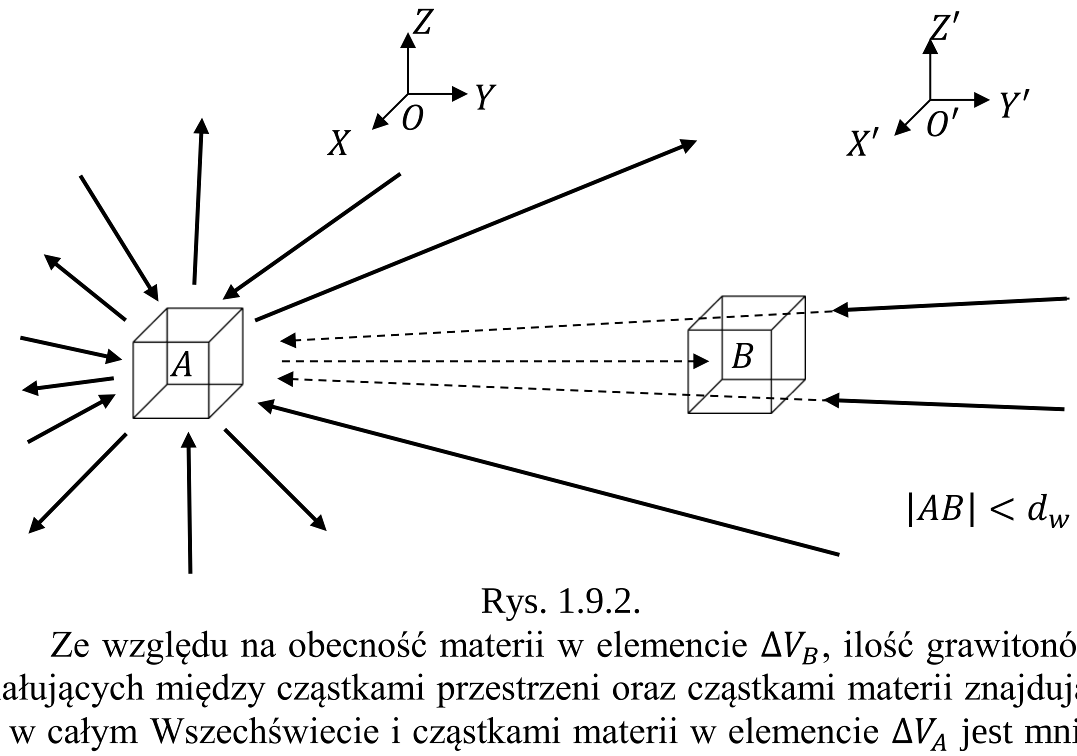
Ilość grawitonów ΔN_{omA} oddziałujących, w czasie Δt, z materią zawartą w elemencie objętości ΔV_A, które są emitowane lub absorbowane przez przestrzeń zawartą w elemencie objętości ΔV_B jest wprost proporcjonalna do masy m_{pB}^* cząstek przestrzeni zawartych w elemencie ΔV_B, do masy materii m_A^* w elemencie objętości ΔV_A i odwrotnie proporcjonalna do odległości $|AB|$.

$$\Delta N_{omA} = a_w \frac{m_{pB}^* m_A^*}{|AB|} \Delta t$$

Współczynnik a_w jest taki sam dla każdego obserwatora pozostającego w spoczynku względem układu $OXYZ$.

Przyjmuję, w przybliżeniu, że odległość dwóch punktów w przestrzeni, obliczana przez ustalonego obserwatora, jest równa ich odległości w prostokątnym układzie współrzędnych.

Odległość dwóch punktów w przestrzeni jest omówiona w Rozdziale II, podrozdział 2.5..



Rys. 1.9.2.

Ze względu na obecność materii w elemencie ΔV_B, ilość grawitonów oddziałujących między cząstkami przestrzeni oraz cząstkami materii znajdującymi się w całym Wszechświecie i cząstkami materii w elemencie ΔV_A jest mniejsza, niż gdyby w elemencie ΔV_B nie było cząstek materii. Zmniejszenie ilości grawitonów zależy od odległości elementu A od B.

Założenie 8.

Jeżeli $|AB| < d_w$, to ilość grawitonów ΔN_{nA} obliczanych dla całej materii i przestrzeni Wszechświata (poza materią zawartą w elementach ΔV_A i ΔV_B), które nie oddziałują, w czasie Δt, z materią zawartą w elemencie objętości ΔV_A, ze względu na obecność materii w elemencie objętości ΔV_B, jest wprost proporcjonalna do masy materii m_B^* w elemencie objętości ΔV_B, do masy materii m_A^* w elemencie objętości ΔV_A i odwrotnie proporcjonalna do odległości $|AB|$.

$$\Delta N_{nA} = k_w \frac{m_B^* m_A^*}{|AB|} \Delta t$$

Współczynnik k_w jest taki sam dla każdego obserwatora pozostającego w spoczynku względem układu $OXYZ$. Wielkości występujące w Założeniach 8 i 9 mogą być mierzone przez dowolnego innego obserwatora O' znajdującego się w początku prostokątnego układu współrzędnych $O'X'Y'Z'$ przy pomocy własnego zegara Z'.

Od strony elementu ΔV_B, ze względu na obecność materii w tym elemencie, z materią w elemencie ΔV_A oddziałuje mniej grawitonów niż ze strony przeciwnej.

Ilość grawitonów, które nie oddziałują z materią zawartą w elemencie ΔV_B, ze względu na obecność materii w elemencie ΔV_A, jest określona wzorem

$$\Delta N_{nB} = k_w \frac{m_A^* m_B^*}{|AB|} \Delta t$$

powstałym przez zamianę liter A i B. Stąd wynika

$$\Delta N_{nA} = \Delta N_{nB}.$$

Ilość grawitonów, które nie oddziałują z materią zawartą w elemencie ΔV_A, ze względu na obecność materii w elemencie ΔV_B, jest taka sama, jak ilość grawitonów, które nie oddziałują z materią zawartą w elemencie ΔV_B, ze względu na obecność materii w elemencie ΔV_A, niezależnie od tego, jakie ilości materii są zawarte w tych elementach objętości.

Cząstka elementarna emituje ogromne ilości grawitonów, które są bardzo słabo pochłaniane przez elementarne cząstki materii oraz przestrzeni. Dlatego strumień grawitonów może przebyć bardzo duże odległości bez istotnego zmniejszenia jego natężenia, jeżeli gęstość materii i przestrzeni nie jest zbyt duża. Dopiero bardzo gęsta materia w gwieździe neutronowej zmniejsza jego natężenie w większym stopniu.

Założenia 7 i 8 są konsekwencją przedstawionego w podrozdziale 1.7. oddziaływania grawitacyjnego między elementarnymi cząsteczkami materii i przestrzeni; nowym istotnym elementem tych założeń jest niezależność współczynników k_w i a_w od obserwatora. Ilości grawitonów oddziałujących lub nieoddziałujących między cząsteczkami są odwrotnie proporcjonalne do odległości między elementami objętości, w których znajduje się materia lub przestrzeń. Przy takim założeniu, zmiana masy (energii wewnętrznej) ciała, przy przesunięciu w polu grawitacyjnym, jest równoważna zmianie energii potencjalnej tego ciała i zarazem pracy siły równoważącej siłę grawitacji przy takim przesunięciu. Zostało to pokazane w podrozdziale 2.3..

Oddziaływanie grawitacyjne między ciałami jest sumą oddziaływań między elementarnymi cząstkami materii i przestrzeni, które mają niewielkie rozmiary. Wobec bardzo małych rozmiarów cząstek elementarnych wzory występujące w tych założeniach są poprawne do odległości rzędu rozmiarów atomów.

$$k_w = \frac{\Delta N_{nA}|AB|}{m_B^* m_A^* \Delta t}$$

$$[k_w] = ms$$

Ponieważ

$$m_A^* = \frac{\Delta N_A}{\Delta t}$$

i

$$m_B^* = \frac{\Delta N_B}{\Delta t},$$

więc

$$k_w = \frac{\Delta N_{nA}|AB|\Delta t}{\Delta N_A \Delta N_B}.$$

Weźmy dwóch obserwatorów O i O'. Dla każdego obserwatora grawiton oddziałuje z cząstką lub nie. Niech dla obserwatora O, w czasie Δt, z materią w elementach ΔV_A i ΔV_B oddziałuje odpowiednio ΔN_A i ΔN_B grawitonów oraz z materią w elemencie ΔV_A nie oddziałuje ΔN_{nA} grawitonów. Dla obserwatora O' dla tych samych wartości ΔN_A, ΔN_B i ΔN_{nA} upłynie czas $\Delta t'$. Dla obserwatorów O i O' odległości między elementami ΔV_A i ΔV_B są odpowiednio równe $|AB|$ i $|A'B'|$.

Dla obserwatorów O i O' współczynnik k_w jest odpowiednio równy

$$k_w = \frac{\Delta N_{nA}|AB|\Delta t}{\Delta N_A \Delta N_B}$$

i

$$k_w = \frac{\Delta N_{nA}|A'B'|\Delta t'}{\Delta N_A \Delta N_B}.$$

Współczynnik k_w oraz a_w jest taki sam dla każdego obserwatora, gdy jest spełniony warunek

$$|AB|\Delta t = |A'B'|\Delta t'.$$

Ponieważ

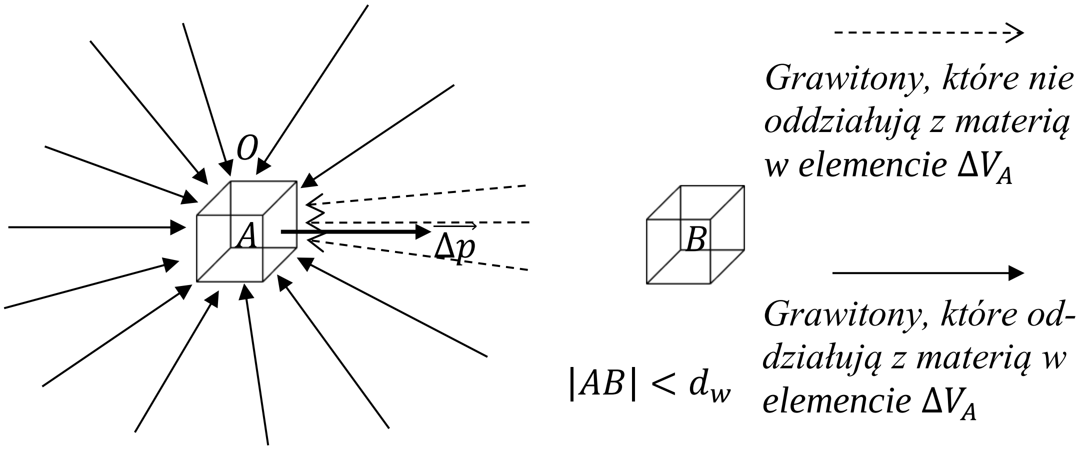
$$\Delta N_{nA} = k_w \frac{\Delta N_B \Delta N_A}{|AB|\Delta t},$$

więc wzór występujący w *Założeniu 8* daje taką samą wartość liczbową ΔN_{nA} dla każdego obserwatora.

$$\Delta N'_{nA} = k_w \frac{\Delta N_B \Delta N_A}{|A'B'|\Delta t'} = k_w \frac{\Delta N_B \Delta N_A}{|AB|\Delta t} = \Delta N_{nA}$$

Jeżeli $r > d_w$, to grawitony oddziałujące między materią zawartą w elementach ΔV_A i ΔV_B nie zmieniają masy materii znajdującej się w tych elementach. Ilość grawitonów emitowanych przez materię z elementu ΔV_A i absorbowanych przez materię zawartą w elemencie ΔV_B jest równa ilości grawitonów emitowanych przez materię z elementu ΔV_B i absorbowanych przez materię zawartą w elemencie ΔV_A. Dzięki temu energia wewnętrzna materii w tych elementach nie zmienia się ze względu na oddziaływanie grawitacyjne między tymi elementami.

Ze względu na obecność materii w elemencie objętości ΔV_B do materii zawartej w elemencie objętości ΔV_A jest przekazywany niezerowy pęd $\overrightarrow{\Delta p}$ o zwrocie od A do B.



Rys. 1.9.3.

Założenie 9.

Niech $|AB| < d_w$. Grawitony, które ze względu na obecność materii w elemencie objętości ΔV_B (oznaczenia takie jak w Założeniu 9) nie oddziałują, w czasie Δt, z materią zawartą w elemencie objętości ΔV_A, nie przekażą pewnego pędu materii w elemencie ΔV_A. Pęd, który nie przekażą te grawitony do elementu ΔV_A, dla obserwatora O znajdującego się blisko elementu ΔV_A, jest równy

$$\overrightarrow{\Delta p} = \alpha_w h \frac{m_B^* m_A^*}{|AB|^2} \Delta t \frac{\overrightarrow{BA}}{|BA|},$$

gdzie h jest stałą Plancka.

Współczynnik α_w jest taki sam dla każdego obserwatora pozostającego w spoczynku względem układu $OXYZ$.

Nie biorę pod uwagę pędu nieprzekazanego do elementu ΔV_A ze względu na przestrzeń zawartą w elemencie ΔV_B, ponieważ ma bardzo małą wartość.

Założenie 9 jest konsekwencją przedstawionego w podrozdziale 1.7. oddziaływania grawitacyjnego między elementarnymi cząstkami materii.

Niech grawitony oddziałujące z materią w elemencie ΔV_A przekazują do niej zerowy pęd, gdy w elemencie ΔV_B nie ma materii.

Ze względu na obecność materii w elemencie ΔV_B grawitony oddziałujące z materią, zawartą w elemencie ΔV_A, przekażą materii w tym elemencie pęd

$$\overrightarrow{\Delta p} = \alpha_w h \frac{m_B^* m_A^*}{|AB|^2} \Delta t \frac{\overrightarrow{AB}}{|AB|}.$$

Zwrot przekazanego pędu jest od punktu A do B.

$$\overrightarrow{\Delta p} = \alpha_w h \eta^2 \frac{m_B m_A}{|AB|^2} \Delta t \frac{\overrightarrow{AB}}{|AB|}$$

$$\overrightarrow{\Delta p} = G \frac{m_B m_A}{|AB|^2} \Delta t \frac{\overrightarrow{AB}}{|AB|},$$

gdzie G jest stałą grawitacji.

1.10. Zależności między czasem i odległością w różnych prostokątnych układach współrzędnych spoczywających względem siebie

Poniższe założenie jest podsumowaniem niektórych własności czasu i przestrzeni, o których pisałem wcześniej.

Założenie 10.

Z każdym obserwatorem O związany jest prostokątny układ współrzędnych $OXYZ$ i zegar Z. Obserwator znajduje się w początku układu współrzędnych i zegar znajduje się blisko niego. Zegar każdego obserwatora ma taką samą konstrukcję. Jeżeli te zegary znajdują się w spoczynku względem siebie i blisko siebie, to odmierzają te same jednostki czasu.

Dobrym zegarem może być zegar zbudowany ze sztywnego pręta, do którego prostopadle przymocowano dwa zwierciadła, między którymi porusza się foton światła. Jednostką czasu jest odstęp czasu, w którym foton przebiegnie od jednego zwierciadła do drugiego i z powrotem. Jednostką długości jest podwojona odległość między zwierciadłami. Obserwator O odkłada na każdej osi układu $OXYZ$ taką samą jednostkę długości. Zakładam, że obserwatorzy znajdujący się nawet daleko od siebie mogą porównywać tempo upływu czasu określane przez ich zegary. Natomiast odległość dwóch punktów może zmierzyć tylko obserwator O znajdujący się blisko nich. Obserwator O' znajdujący się daleko od tych punktów może jedynie obliczyć ich odległość na podstawie odległości zmierzonej przez obserwatora O.

Z obserwatorami O i O' związane są odpowiednio prostokątne układy współrzędnych $OXYZ$ i $O'X'Y'Z'$. Jeżeli zależność między tempem upływu czasu dla O i O', mierzona odpowiednio zegarami Z i Z', jest

$$\Delta t = \alpha \Delta t',$$

to między odległościami $|AB|$ i $|A'B'|$ tych samych punktów, w układach $OXYZ$ i $O'X'Y'Z'$ zachodzi zależność

$$|A'B'| = \alpha |AB|.$$

Wówczas spełniony jest warunek

$$|AB| \Delta t = |A'B'| \Delta t'.$$

(Współczynniki a_w i k_w są jednakowe dla każdego obserwatora.)

Układami, które spełniają powyższy warunek są prostokątne układy współrzędnych pozostające względem siebie w spoczynku, ponieważ w tym przypadku można ustalić zależność między tempem upływu czasu w tych układach a następnie ustalić zależność między jednostkami długości, na podstawie warunku $|AB| \Delta t = |A'B'| \Delta t'$.

W dalszym ciągu będę używał prostokątnych układów współrzędnych $OXYZ$ i $O'X'Y'Z'$ pozostających względem siebie w spoczynku i spełniających warunek

$$|AB|\Delta t = |A'B'|\Delta t'.$$

Obserwatorzy O i O' związani z tymi układami znajdują się w początkach tych układów współrzędnych.

Układ współrzędnych jest jedynie konstrukcją matematyczną, przy pomocy której opisywane są zdarzenia zachodzące w naszym świecie. Jeżeli dwaj obserwatorzy znajdują się na tej samej prostej, to jednostki długości odkładane przez jednego z nich są identyczne z jednostkami odkładanymi przez drugiego, na całej tej prostej, zgodnie z konstrukcją matematyczną ich układów współrzędnych. Jednak w rzeczywistości fizycznej jednostka długości $|AB|$ obserwatora O ma dla obserwatora O' długość

$$|A'B'| = \alpha|AB|.$$

Układy współrzędnych obserwatorów O' i O mogą w szczególności mieć postać sześcianów, powstałych z trzech pęków równoległych płaszczyzn. W każdym pęku płaszczyzny są do siebie równoległe i odległość między kolejnymi płaszczyznami jest równa jednostce długości. Każde dwie płaszczyzny należące do różnych pęków są do siebie prostopadłe. Obserwatorzy znajdują się w wierzchołkach tych sześcianów ze swoimi zegarami. Z punktu widzenia matematyki mamy zbiór przystających sześcianów. Natomiast w rzeczywistości fizycznej obserwatorów O' i O sześciany mogą być zdeformowane, mogą mieć krawędzie krzywoliniowe o różnych długościach.

Między wynikami pomiaru pewnej wielkości fizycznej dla obserwatorów O i O' zachodzą związki wynikające z zależności między tempem upływu czasu i jednostkami długości w tych układach.

Rzeczywista odległość między odległymi punktami przestrzeni, na ogół, nie jest równa odległości w układzie współrzędnych ustalonego obserwatora, ponieważ dla niego jednostki długości innych obserwatorów mogą być różne w różnych punktach przestrzeni.

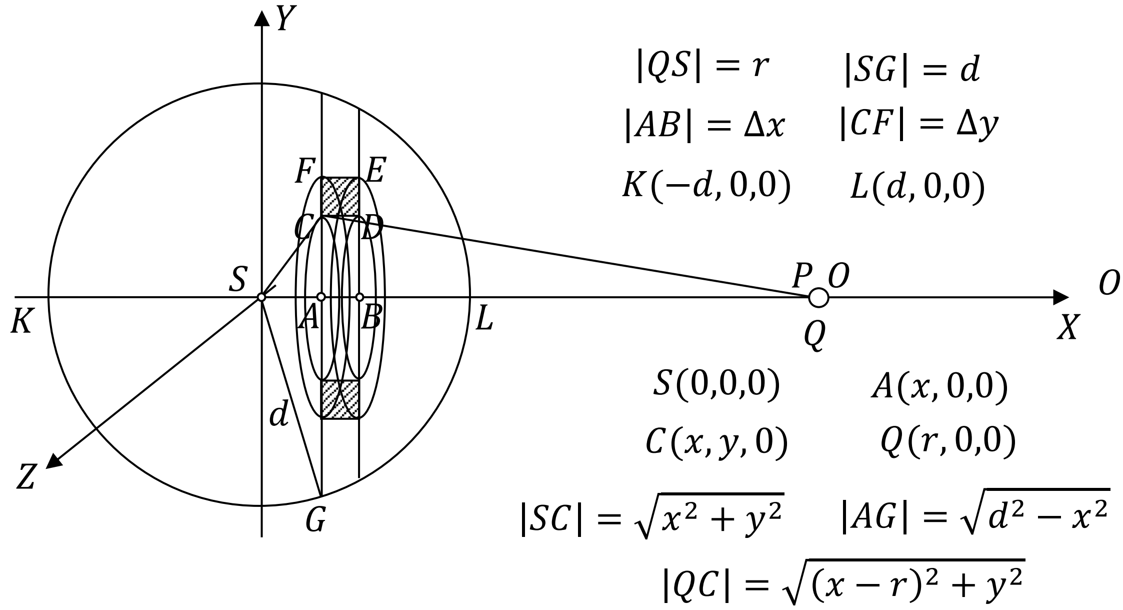
Wybór sposobu mierzenia czasu i odległości dla ustalonego obserwatora ma istotne znaczenie. Dla różnych sposobów mierzenia tych wielkości opis naszego świata może wyglądać inaczej.

Prostokątny układ współrzędnych $OXYZ$ wprowadzony w ***Założeniu 10*** służy do opisu zdarzeń zachodzących w otaczającej nas rzeczywistości fizycznej.

Rozdział 2

2.1. Zmiana masy punktu materialnego przy jego przesunięciu w polu grawitacyjnym materialnej kuli

Weźmy jednorodną materialną kulę o gęstości ϱ_k^*, objętości V_k, masie $m_k^* = V_k \varrho_k^*$, promieniu d i środku S oraz punkt materialny P.



Rys. 2.1.1.

Daleko od kuli i innych ciał materialnych znajduje się obserwator O', który nie zmienia swojego położenia w układzie $SXYZ$. Początkowo punkt materialny P był umieszczony obok obserwatora O' i jego masa wyznaczona przez tego obserwatora jest równa $m_0^{*\prime}$. Następnie ten punkt materialny umieszczono w punkcie Q, w odległości r od środka S kuli tak, że $d < r < d_w$ i jego masa wyznaczona przez obserwatora O' jest $m^{*\prime}$. Masa $m^{*\prime}$ jest mniejsza od masy $m_0^{*\prime}$, ponieważ z punktem materialnym oddziałuje mniej grawitonów ze względu na obecność materialnej kuli, przy zachowaniu tych samych jednostek czasu.

Zakładam, że masa $m_0^{*\prime}$ punktu materialnego jest bardzo mała w stosunku do masy kuli, kula i punkt materialny są w spoczynku w układzie $SXYZ$, oraz że punkt materialny P i kula znajdują się w bardzo dużej odległości od innych ciał materialnych. Wielkości primowane są mierzone przez obserwatora O', natomiast nieprimowane są mierzone przez obserwatora O, znajdującego się blisko punktu Q.

Obliczmy ilość grawitonów ΔN, które nie oddziałują z punktem materialnym P ze względu na obecność kuli. Ponieważ, dla odpowiednich elementów odległości i odpowiednich odstępów czasu, ΔN jest takie samo dla każdego obserwatora, to możemy zamiast O' wybrać obserwatora O.

Weźmy pierścień kołowy utworzony przez obrót prostokąta $CDEF$ dookoła osi OX. Objętość tego pierścienia

$$\Delta V = 2\pi y \Delta y \Delta x.$$

Obecność materii w pierścieniu zmniejsza ilość grawitonów oddziałujących z punktem materialnym P. Zmniejszenie ΔN_p ilości grawitonów oddziałujących z punktem materialnym P, w czasie Δt, jest wprost proporcjonalne do masy

$$\Delta m_{mp}^{*} = \varrho_k^{*} \Delta V$$

materii zawartej w tym pierścieniu, do masy punktu materialnego m^* zmierzonej przez O ($m^* = m_0^{*\prime}$ na podstawie ***Założenia 5***), do czasu Δt i odwrotnie proporcjonalne do odległości $|QC|$ elementów pierścienia od punktu P.

$$\Delta N_p = k_w \frac{\varrho_k^{*} \Delta V m^*}{\sqrt{(x-r)^2 + y^2}} \Delta t$$

$$\Delta N_p = k_w \frac{2\pi y \Delta y \Delta x \varrho_k^{*} m^*}{\sqrt{(x-r)^2 + y^2}} \Delta t$$

Łączną ilość tych grawitonów, które nie oddziałują z punktem materialnym ze względu na obecność materii w kuli, określa wzór

$$\Delta N = 2\pi k_w m^* \varrho_k^{*} \Delta t \int_{-d}^{d} dx \int_{0}^{\sqrt{d^2 - x^2}} \frac{y}{((x-r)^2 + y^2)^{\frac{1}{2}}} dy$$

Wprowadźmy chwilowe oznaczenie

$$f = 2\pi k_w m^* \varrho_k^{*} \Delta t.$$

$$\mathit{\Delta} N = f \int_{-d}^{d} ((x-r)^2 + y^2)^{\frac{1}{2}} \Big|_0^{\sqrt{d^2 - x^2}} dx$$

$$\mathit{\Delta} N = f \left(\int_{-d}^{d} (d^2 + r^2 - 2rx)^{\frac{1}{2}} dx - \int_{-d}^{d} (r - x) dx \right)$$

Do pierwszej całki zastosujemy podstawienie

$$d^2 + r^2 - 2rx = t,$$

$$dx = -\frac{1}{2r} dt,$$

$$x = \frac{d^2 + r^2 - t}{2r}.$$

Górną granicę całkowania należy zmienić na

$$d^2 - 2rd + r^2 = (r-d)^2$$

a dolną na

$$d^2 + 2rd + r^2 = (r+d)^2.$$

$$\Delta N = f(-\frac{1}{2r}\int_{(r+d)^2}^{(r-d)^2} t^{\frac{1}{2}}dt - \left(rx - \frac{1}{2}x^2\right)|_{-d}^{d})$$

$$\Delta N = f\left(\frac{1}{2r}\cdot\frac{2}{3}t^{\frac{3}{2}}|_{(r-d)^2}^{(r+d)^2} - \left(rd - \frac{1}{2}d^2 + rd + \frac{1}{2}d^2\right)\right)$$

$$\Delta N = f\left(\frac{1}{3r}(6r^2d + 2d^3) - 2rd\right)$$

$$\Delta N = 2\pi k_w m^* \varrho_k^* \Delta t \cdot \frac{2d^3}{3r}$$

$$\Delta N = \frac{4}{3}\pi k_w m^* \varrho_k^* \Delta t \cdot \frac{d^3}{r}$$

$$\Delta N = k_w m^* \varrho_k^* \Delta t \cdot \frac{1}{r}\cdot\frac{4\pi d^3}{3}$$

$$\Delta N = \frac{k_w m^*}{r}\varrho_k^* V_k \Delta t$$

$$\Delta N = \frac{k_w m^*}{r} m_k^* \Delta t$$

Zmniejszenie ilości grawitonów oddziałujących z punktem materialnym jak również z kulą, dla obserwatora O, jest równe

$$\Delta N = \frac{k_w m^* m_k^*}{r}\Delta t.$$

Ta zmiana nie zależy od promienia kuli.

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{k_w m^* m_k^*}{r}$$

$$\Delta m^* = \frac{k_w m^* m_k^*}{r}$$

Zmiana masy punktu materialnego, dla obserwatora O, jest

$$\Delta m = \frac{k_w \eta m m_k}{r}.$$

Dla obserwatora O' zmniejszenie ilości grawitonów oddziałujących z punktem materialnym jest

$$\varDelta N = \frac{k_w m^* m_k^*}{r}\varDelta t = \frac{k_w N N_k}{r\Delta t} = \frac{k_w N N_k}{r'\Delta t'} = \frac{k_w m^{*\prime} m_k^{*\prime}}{r'}\Delta t'.$$

Stąd wynika, że masa punktu materialnego, dla obserwatora O', zostanie zmniejszona o

$$\frac{\Delta N}{\Delta t'} = \frac{k_w m^{*\prime} m_k^{*\prime}}{r'}\ .$$

$$\varDelta m^{*\prime} = k_w \frac{m^{*\prime} m_k^{*\prime}}{r'}$$

$$\Delta m' = \frac{k_w \eta m' m_k'}{r'}$$

m' i $m_k{}'$ są masami punktu materialnego i kuli, gdy te ciała znajdują się w odległości $r' < d_w{}'$. Są mniejsze od ich mas, gdy ciała znajdowały się daleko od siebie i innych mas.

Masa punktu materialnego dla O' jest równa

$$m^{*\prime} = m_0^{*\prime} - \frac{k_w m^{*\prime} m_k^{*\prime}}{r'}.$$

$$m^{*\prime} + \frac{k_w m^{*\prime} m_k^{*\prime}}{r'} = m_0^{*\prime}$$

$$m^{*\prime} = m_0^{*\prime}\left(1 + \frac{k_w m_k^{*\prime}}{r'}\right)^{-1}$$

$$m' = m_0{}'\left(1 + \frac{k_w \eta m_k'}{r'}\right)^{-1}$$

Dla obserwatora O masa punktu materialnego jest równa m. Zgodnie z ***Założeniem 5*** $m = m_0{}'$.

$$m' = m\left(1 + \frac{k_w \eta m_k'}{r'}\right)^{-1}$$

dla

$$d' < r' < d_w' \ .$$

Ponieważ z punktem materialnym P w czasie $\Delta t'$ oddziałuje mniej grawitonów, ze względu na obecność kuli, więc, dla obserwatora O', masa m' jest mniejsza w porównaniu z masą m wyznaczoną przez obserwatora O.

Oznaczmy przez N_k ilość grawitonów, które oddziałują z kulą w czasie $\Delta t'$ dla obserwatora O' i zarazem w czasie Δt dla obserwatora O.

Wówczas

$$\frac{k_w \eta m_k'}{r'} = \frac{k_w m_k^{*\prime}}{r'} = \frac{k_w N_k}{r' \Delta t'} = \frac{k_w N_k}{r \Delta t} = \frac{k_w \eta m_k}{r}.$$

Współczynnik

$$\alpha = \left(1 + \frac{k_w \eta m_k'}{r'}\right)^{-1} = \left(1 + \frac{k_w \eta m_k}{r}\right)^{-1}$$

nie zależy od wyboru obserwatora.

$$m' = m\alpha$$

Masę m mierzy obserwator O i m' jest wartością tej masy dla obserwatora O' określoną przy pomocy układu jednostek obserwatora O.

Jeżeli

$$r > d_w,$$

to

$$m' = m.$$

Dla punktu materialnego leżącego wewnątrz kuli ilość tych grawitonów, które nie oddziałują z punktem materialnym ze względu na obecność materii w kuli określa ten sam wzór, jak i dla punktu leżącego na zewnątrz. Należy tylko uwzględnić, że $r < d$.

$$\Delta N = f\left(\int_{r-d}^{r+d} (d^2 - r^2 + 2rx)^{\frac{1}{2}} dx - \int_{r-d}^{r+d} |x| dx\right)$$

$$\Delta N = f\left(\frac{1}{3r}\left((r+d)^3 + (d-r)^3\right) - (r^2 + d^2)\right)$$

$$\Delta N = f\left(d^2 - \frac{1}{3} r^2\right)$$

$$\Delta m' = \frac{k_w \eta m' m_k'}{d'} \left(\frac{3}{2} - \frac{r'^2}{2d'^2}\right)$$

Dla punktu materialnego leżącego na powierzchni kuli zmniejszenie masy jest równe

$$\Delta m' = \frac{k_w \eta m' m_k'}{d'}.$$

Jeżeli punkt materialny jest w środku kuli, to zmniejszenie masy jest

$$\Delta m' = \frac{3}{2}\cdot\frac{k_w\eta m' m_k'}{d'}.$$

Dla obserwatora O' masa m' punktu materialnego znajdującego się wewnątrz materialnej kuli jest równa

$$m' = m\left(1+\frac{k_w\eta m_k'}{d'}\left(\frac{3}{2}-\frac{r'^2}{2d'^2}\right)\right)^{-1}$$

dla

$$0 \le r' \le d'.$$

Podczas przesunięcie punktu materialnego z O' do O, dla obserwatora O', masa kuli zmniejsza się od wartości ${m_{k0}^*}'$ do ${m_k^*}'$, o taką samą wartość, o jaką zmniejsza się masa punktu materialnego,

$${m_{k0}^*}' - \frac{k_w {m^*}' {m_k^*}'}{r'} = {m_k^*}'.$$

Stąd otrzymujemy

$${m_k^*}' = {m_{k0}^*}'\left(1+\frac{k_w {m^*}'}{r'}\right)^{-1}.$$

$$m_k' = m_{k0}'\left(1+\frac{k_w\eta m'}{r'}\right)^{-1}$$

Jeżeli masa punktu materialnego jest bardzo mała w stosunku do masy kuli, to z bardzo dobrym przybliżeniem możemy przyjąć, że dla obserwatora O' masa kuli podczas tego przesunięcia jest stała,

$${m_k^*}' = {m_{k0}^*}'.$$

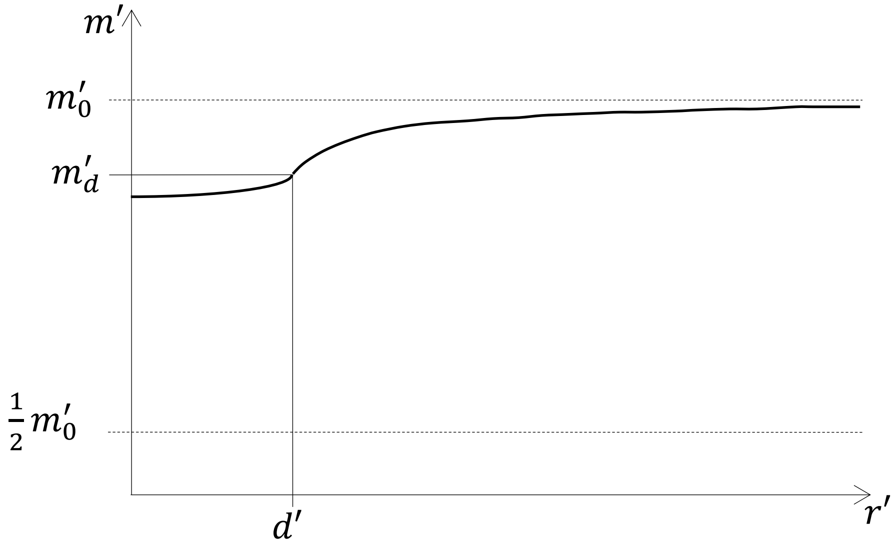
Grawitony wirtualne przechodzące przez materię o małej gęstości są bardzo słabo pochłaniane. Jeżeli gęstość materii kuli nie jest zbyt duża, to strumień grawitonów wirtualnych dochodzących do każdego elementu objętości kuli jest niemal taki sam. Możemy uznać, w tym przypadku, że gęstość materii kuli w dowolnym elemencie objętości nie zależy od jego położenia w kuli.

Zmniejszenie ilości grawitonów oddziałujących z punktem materialnym P, ze względu na materię zawartą w tym elemencie, może być obliczone zgodnie z ***Założeniem 8*** tylko do pewnej gęstości materii kuli (przypuśćmy do gęstości materii w gwieździe neutronowej $10^{18}\ \frac{kg}{m^3}$). Przy wyprowadzaniu wzoru

$$m' = m\left(1 + \frac{k_w \eta m_k'}{r'}\right)^{-1}$$

zakładałem, że gęstość materii dla każdego elementu objętości jest jednakowa.

Powyższy wzór jest również prawdziwy, gdy gęstość materii kuli zależy jedynie od odległości od środka kuli.



Zależność masy m' punktu materialnego od jego odległości r' od środka kuli, jeżeli gęstość kuli jest mała.

Dla większej gęstości materii kuli strumień grawitonów dochodzących do punktu P i przechodzący przez kulę w znacznie większym stopniu zmniejsza swoje natężenie niż w przypadku kuli o mniejszej gęstości. Ilość grawitonów absorbowanych przez punkt materialny P, znajdujący się na zewnątrz kuli, niezależnie od jej gęstości, może zmniejszyć się najwyżej do połowy (grawitony byłyby absorbowane tylko z jednej strony punktu P). Równocześnie masa może się zmniejszyć najwyżej do połowy.

$$m' \geq \frac{1}{2}m_0'$$

$$\Delta m' = m_0' - m' \leq m'$$

$$\Delta m' = \frac{k_w \eta m' m_k'}{r'}$$

$$\frac{k_w \eta m' m_k'}{r'} \leq m'$$

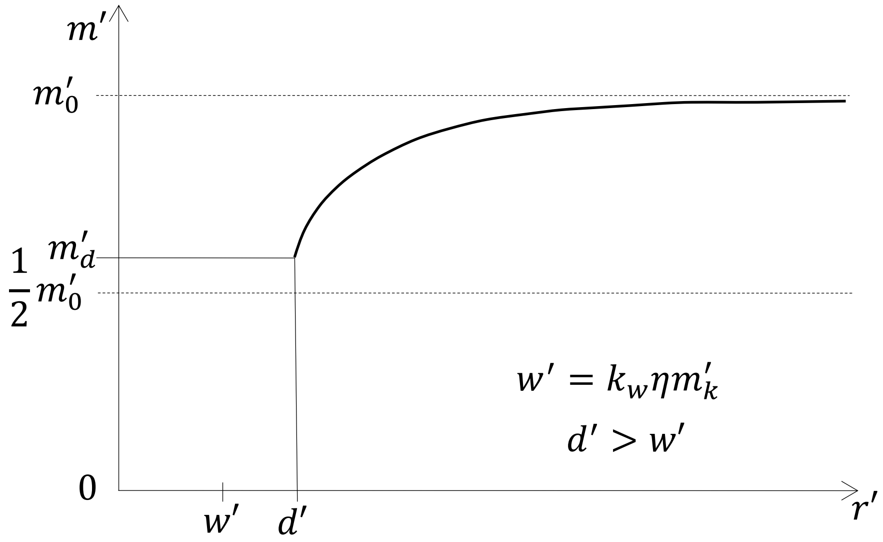
Stąd otrzymujemy

$$r' \geq k_w \eta m_k'.$$

W przypadku dużej gęstości materii kuli wzór

$$m' = m\left(1 + \frac{k_w \eta m'_k}{r'}\right)^{-1}$$

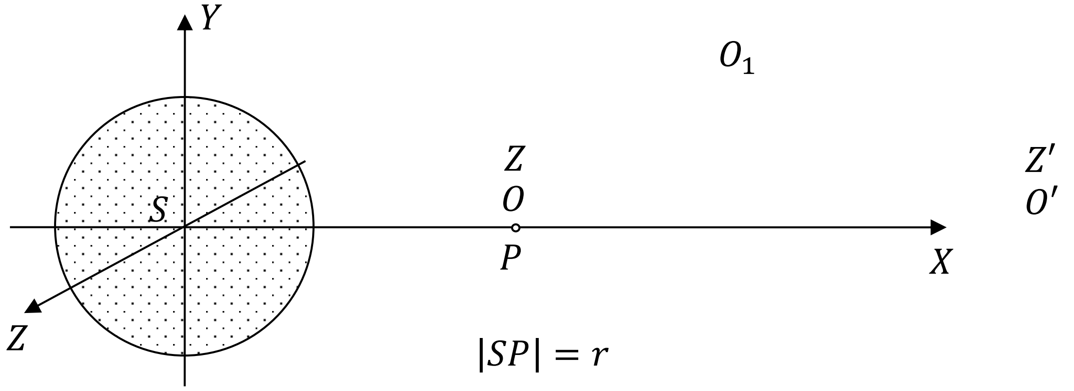
może być stosowany, jeżeli $r' \geq d'$ i $r' \geq k_w \eta m'_k$.



Zależność masy m' punktu materialnego od jego odległości r' od środka kuli, jeżeli gęstość kuli jest bardzo duża.

2.2. Zmiana tempa upływu czasu i prędkości światła w polu grawitacyjnym

Weźmy materialną kulę o środku w punkcie S i promieniu d oraz punkt materialny P, w odległości $r < d_w$ od punktu S. Blisko punktu materialnego znajduje się obserwator O. Daleko od kuli, punktu materialnego i innych ciał znajduje się obserwator O' pozostający w spoczynku względem O. Obserwator O_1 może być w dowolnym, ustalonym miejscu przestrzeni. Masy punktu materialnego są równe m^*, $m^{*\prime}$ i m_1^* odpowiednio dla O, O' i O_1. Masa kuli jest bardzo duża w stosunku do masy punktu materialnego i jest równa $m_k^{*\prime}$ dla obserwatora O'.



Rys. 2.2.1.

Prostokątny układ współrzędnych $SXYZ$ nie jest układem inercjalnym. Obserwatorzy O i O' mierzą czas własnymi zegarami Z i Z'. Zegary Z i Z' początkowo znajdowały się obok siebie, były identycznie wykonane i tak samo odmierzały jednostki czasu. Każdy obserwator używający swojego zegara otrzyma taką samą wartość liczbową prędkości światła, jeżeli pomiar wykonuje w swoim bliskim otoczeniu.

Dla O masa punktu materialnego jest

$$m^* = \frac{N}{\Delta t}.$$

Masa punktu materialnego dla O' jest równa

$$m^{*\prime} = \frac{N}{\Delta t'}$$

i

$$m^{*\prime} = m^* \alpha.$$

Wówczas

$$\frac{N}{\Delta t'} = \frac{N}{\Delta t}\alpha,$$

$$\Delta t' \alpha = \Delta t.$$

$$\Delta t' = \Delta t \alpha^{-1}$$

Jeżeli dla obserwatora O jego własny zegar Z odmierzy Δt jednostek czasu między dwoma zjawiskami, to dla obserwatora O', według jego zegara Z', upłynie

$$\Delta t' = \frac{1}{\alpha}\Delta t$$

jednostek czasu między tymi samymi zdarzeniami. Zegar obserwatora O według obserwatora O' tyka wolniej niż jego własny.

W OTW zależność między tempem upływu czasu, dla obserwatorów O i O', w statycznym polu grawitacyjnym wytworzonym przez kulę o masie m_k i promieniu d, określa wzór

$$\Delta t = \sqrt{1 - \frac{2Gm_k}{c^2 r}}\Delta t',$$

sprawdzony doświadczalnie.

W tej teorii ta zależność jest określona wzorem

$$\Delta t = \left(1 + \frac{k_w \eta m_k}{r}\right)^{-1} \Delta t'.$$

Obserwator O znajduje się w odległości r od środka kuli, natomiast O' jest daleko od kuli i innych ciał materialnych.

Współczynnik

$$\alpha_{OTW} = \sqrt{1 - \frac{2Gm_k}{c^2 r}},$$

natomiast

$$\alpha = \left(1 + \frac{k_w \eta m_k}{r}\right)^{-1}.$$

Jeżeli

$$\frac{k_w \eta m_k}{r}$$

jest bliskie zera, to w przybliżeniu mamy równość

$$\left(1 + \frac{k_w \eta m_k}{r}\right)^{-1} = \sqrt{1 - \frac{2k_w \eta m_k}{r}}$$

i

$$\Delta t = \sqrt{1 - \frac{2k_w \eta m_k}{r}}\Delta t' .$$

Porównując ostatni wzór z odpowiednim wzorem z OTW otrzymujemy

$$k_w \eta = \frac{G}{c^2}.$$

Dla $k_w \eta = \frac{G}{c^2}$, takie efekty jak, ugięcie światła w polu grawitacyjnym, przesunięcie peryhelium planety czy zmiana energii fotonu w polu grawitacyjnym są zgodne z wynikami obserwacji astronomicznych i doświadczeniem.

$$\alpha = \left(1 + \frac{Gm_k}{c^2 r}\right)^{-1} = \left(1 + \frac{Gm_k'}{c^2 r'}\right)^{-1}$$

$$\Delta t = \left(1 + \frac{Gm_k}{c^2 r}\right)^{-1} \Delta t'$$

Jeżeli za jednostkę długości przyjąć

$$w = \frac{Gm_k}{c^2}$$

i

$$r = nw,$$

to

$$\alpha_{OTW}(n) = \sqrt{1 - \frac{2}{n}}$$

$$\alpha(n) = \left(1 + \frac{1}{n}\right)^{-1} = \frac{n}{n+1}.$$

Wartości tych współczynników dla niektórych wartości n są przedstawione w następującej tabeli.

n	α	α_{OTW}	$\alpha - \alpha_{OTW}$	$\frac{\alpha - \alpha_{OTW}}{\alpha} 100\%$
100000	0,999990	0,999990	0	0%
10000	0,999900	0,999900	0	0%
1000	0,999001	0,998999	0,000002	0,0002%
100	0,990099	0,989949	0,00015	0,015%
10	0,909091	0,894427	0,0147	1,61%
5	0,833333	0,774597	0,0587	7,05%
4	0,800000	0,707107	0,0929	11,61%
3	0,750000	0,577350	0,1727	23,02%
2	0,666667	0	0,6667	100%
1	0,500000	-	-	-

Dane z tabeli mają sens dla promienia kuli d spełniającego warunek $w \leq d \leq nw \leq d_w$. Dla $r > 0$ współczynnik $\alpha > 0$. Różnice między α i α_{OTW}

są niewielkie dla $r > 10w$. Dla $r = 2w$ według OTW $\Delta t' = \infty$, natomiast w tej teorii grawitacji $\Delta t' = \frac{3}{2}\Delta t$. Dla $r = w$, α_{OTW} traci sens, natomiast $\alpha = 0{,}5$ i $t' = 2\Delta t$. Tempo upływu czasu może się zmniejszyć najwyżej do połowy. Dla promienia Słońca $n = 471500$ mamy $\alpha = \alpha_{OTW} = 0{,}9999978791$.

Niech foton przebiegnie odległość między dwoma punktami znajdującymi się blisko obserwatora O w czasie Δt i $\Delta t'$ odpowiednio dla O i O'. Droga przebyta przez foton, dla obserwatora O, jest równa

$$\Delta l = c\Delta t$$

i odpowiednio

$$\Delta l' = c'\Delta t'$$

dla O'. Ponieważ z ***Założenia 9*** wynika, że

$$\Delta l'\Delta t' = \Delta l\Delta t$$

oraz

$$\Delta t = \alpha\Delta t',$$

więc

$$\Delta l'\Delta t' = \Delta l\alpha\Delta t'.$$

$$\Delta l' = \Delta l\alpha$$

Prędkość tego fotonu dla obserwatora O' jest równa

$$c' = \frac{\Delta l'}{\Delta t'}.$$

$$c' = \frac{\Delta l\alpha}{\frac{\Delta t}{\alpha}} = \frac{\Delta l\alpha^2}{\Delta t} = c\alpha^2$$

$$c' = c\alpha^2$$

Prędkość światła w punkcie P dla obserwatora O' jest równa

$$c' = c\left(1 + \frac{Gm_k'}{c^2r'}\right)^{-2},$$

gdzie c jest prędkością światła zmierzoną przez obserwatora O.

Wartość c jest również prędkością światła zmierzoną przez obserwatora O', gdy dokonuje on pomiaru blisko siebie. Natomiast dla O' prędkość światła w pobliżu punktu P jest mniejsza niż c.

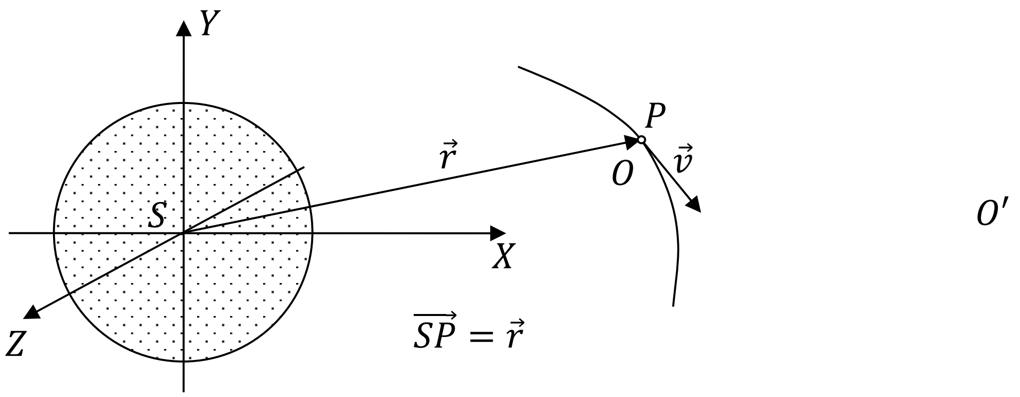
Dla O' foton zbliżający się do materialnej kuli zmniejsza swoją prędkość. Prędkość światła ma taką samą wartość dla każdego obserwatora tylko lokalnie, gdy obserwator dokonuje jej pomiaru blisko siebie.

Jeżeli materialna cząstka, znajdująca się blisko obserwatora O, przebędzie odległość Δl i $\Delta l'$, w czasie Δt i $\Delta t'$ z prędkością v i v' odpowiednio dla O i O' , to jej szybkość

$$v' = \frac{\Delta l'}{\Delta t'}$$

$$v' = \frac{\Delta l\alpha}{\Delta t\alpha^{-1}} = \frac{\Delta l}{\Delta t}\alpha^2$$

$$v' = v\alpha^2.$$



Rys. 2.2.2.

$$\vec{v}' = \frac{d}{dt'}(\vec{r}') = \frac{d}{dt}(\vec{r}\alpha)\frac{dt}{dt'}$$

$$\frac{dt}{dt'} = \alpha$$

$$\alpha = \left(1 + \frac{w}{r}\right)^{-1}$$

$$w = \frac{Gm_k}{c^2}$$

$$\vec{v}' = \frac{d}{dt}(\vec{r}\alpha)\alpha = \frac{d}{dt}(\vec{r})\alpha^2 + \vec{r}\alpha\frac{d}{dt}(\alpha)$$

$$\vec{v}' = \vec{v}\alpha^2 + \vec{r}\alpha\frac{d}{dt}\left(\left(1 + \frac{w}{r}\right)^{-1}\right) = \vec{v}\alpha^2 + \vec{r}\alpha\left(1 + \frac{w}{r}\right)^{-2}\frac{w}{r^2}\frac{dr}{dt}$$

$$\vec{v}' = \vec{v}\alpha^2 + \vec{r}\frac{w\alpha^3}{r^2}\frac{dr}{dt}$$

$$\vec{v}' = \alpha^2\vec{v} + \frac{w\alpha^3}{r^2}\frac{dr}{dt}\vec{r}$$

Jeżeli stosunek

$$\frac{w'}{r'} = \frac{w}{r}$$

jest mały, to z dobrym przybliżeniem

$$\vec{v}' = \vec{v}\alpha^2.$$

$$k_w\eta = \frac{G}{c^2} \qquad w' = \frac{Gm_k'}{c^2} \qquad w = \frac{Gm_k}{c^2}$$

$$\alpha = \left(1 + \frac{Gm_k'}{c^2r'}\right)^{-1} = \left(1 + \frac{Gm_k}{c^2r}\right)^{-1} = \left(1 + \frac{w'}{r'}\right)^{-1} = \left(1 + \frac{w}{r}\right)^{-1}$$

Dla każdego obserwatora można określić współczynnik α wyznaczony dla miejsca gdzie znajduje się obserwator. Dla O, O' i O_1 mamy odpowiednio α, α' i α_1. Dla obserwatora O' znajdującego się daleko od kuli $\alpha' = 1$.

Dla obserwatorów O i O' masy punktu materialnego są odpowiednio m i $m' = m\alpha$ (obserwator O znajduje się blisko punktu materialnego).

Dla obserwatora O_1 znajdującego się w dowolnym ustalonym miejscu masa tego punktu materialnego jest

$$m_1 = m\frac{\alpha}{\alpha_1}.$$

Jeżeli O_1 jest blisko O, to

$$\alpha_1 = \alpha$$

i

$$m_1 = m\ .$$

Jeżeli O_1 jest blisko O', to

$$\alpha_1 = \alpha' = 1$$

i

$$m_1 = m\alpha = m'\ .$$

$$m' = m\alpha \qquad m_1 = m\frac{\alpha}{\alpha_1} \qquad m_1 = \frac{m'}{\alpha_1}$$

Analogicznie dla O_1 odstęp czasu

$$\Delta t_1 = \Delta t\left(\frac{\alpha}{\alpha_1}\right)^{-1}.$$

Odstęp czasu Δt jest mierzony bezpośrednio przez obserwatora O.

$$\Delta t' = \Delta t \alpha^{-1} \qquad \Delta t_1 = \Delta t \left(\frac{\alpha}{\alpha_1}\right)^{-1} \qquad \Delta t_1 = \Delta t' \alpha_1$$

Jeżeli odcinek znajdujący się blisko O ma długość Δl, to

$$\Delta l' = \Delta l \alpha \qquad \Delta l_1 = \Delta l \frac{\alpha}{\alpha_1} \qquad \Delta l_1 = \frac{\Delta l'}{\alpha_1}.$$

Jeżeli dla obserwatora O' odległość między odległymi punktami jest l', to dla O_1 odległość między tymi punktami jest

$$l_1 = \frac{l'}{\alpha_1}$$

i dla O

$$l = \frac{l'}{\alpha}.$$

Dla przyspieszenia mamy zależność

$$a' = \frac{\Delta v'}{\Delta t'} = \frac{\Delta v \alpha^2}{\frac{\Delta t}{\alpha}} = \frac{\Delta v}{\Delta t}\alpha^3 = a\alpha^3 .$$

$$a' = a\alpha^3 \qquad a_1 = a\left(\frac{\alpha}{\alpha_1}\right)^3 \qquad a_1 = \frac{a'}{\alpha_1^3}$$

Siła

$$F' = m'a' = m\alpha a\alpha^3 = ma\alpha^4 = F\alpha^4.$$

$$F' = F\alpha^4 \qquad F_1 = F\left(\frac{\alpha}{\alpha_1}\right)^4 \qquad F_1 = \frac{F'}{\alpha_1^4}$$

Pęd

$$p' = m'v' = m\alpha v\alpha^2 = mv\alpha^3 = p\alpha^3.$$

$$p' = p\alpha^3 \qquad p_1 = p\left(\frac{\alpha}{\alpha_1}\right)^3 \qquad p_1 = \frac{p'}{\alpha_1^3}$$

Zmiana pędu

$$\frac{\Delta p'}{\Delta t'} = \Delta p\alpha^3 \frac{\alpha}{\Delta t} = \frac{\Delta p}{\Delta t}\alpha^4.$$

$$\frac{\Delta p'}{\Delta t'} = \frac{\Delta p}{\Delta t}\alpha^4 \qquad \frac{\Delta p_1}{\Delta t_1} = \frac{\Delta p}{\Delta t}\left(\frac{\alpha}{\alpha_1}\right)^4 \qquad \frac{\Delta p_1}{\Delta t_1} = \frac{\Delta p'}{\Delta t'}\frac{1}{\alpha_1^4}$$

Praca

$$W' = F'\Delta l' = F\alpha^4\Delta l\alpha = F\Delta l\alpha^5 = W\alpha^5$$

$$W' = W\alpha^5 \qquad W_1 = W\left(\frac{\alpha}{\alpha_1}\right)^5 \qquad W_1 = \frac{W'}{\alpha_1^5}$$

Energia

$$E' = m_g'c'^2 = m_g\alpha c^2\alpha^4 = E\alpha^5.$$

$$E' = E\alpha^5 \qquad E_1 = E\left(\frac{\alpha}{\alpha_1}\right)^5 \qquad E_1 = \frac{E'}{\alpha_1^5}$$

Stała grawitacji G i stała Plancka h mają taką samą wartość dla każdego obserwatora i w każdym miejscu.

Wartości wielkości fizycznych mogą być mierzone przez obserwatora O lub O' przy pomocy odpowiedniego układu jednostek.

Pomiar wykonany przez obserwatora O, w układzie jednostek tego obserwatora, w miejscu gdzie znajduje się obserwator O	Odpowiedna wartość tego pomiaru, obliczona przez obserwatora O', dla miejsca gdzie znajduje się obserwator O
Δt	$\Delta t' = \alpha^{-1}\Delta t$
Δl	$\Delta l' = \alpha\Delta l$
$c = const.$	$c' = c\alpha^2$
$m = const.$	$m' = m\alpha$
$p = \frac{h}{\lvert AB\rvert}$	$p' = p\alpha^3 = \frac{h}{\lvert AB\rvert}\alpha^3$
$E = mc^2$	$E' = E\alpha^5 = mc^2\alpha^5$
$E = h\nu$	$E' = E\alpha^5 = h\nu\alpha^5$
$F = \frac{Gmm_k}{r^2}$	$F' = F\alpha^4 = \frac{Gmm_k}{r^2}\alpha^4$

W powyższej tabeli wartości $\Delta t, m, p, E, F, \Delta t', m', p', E', F'$ mają inne znaczenie niż $\Delta t', m', p', E', F', \Delta t, m, p, E, F$ w następnej tabeli.

W pierwszej kolumnie dla obydwu tabel znajdują się wartości zmierzone odpowiednio przez obserwatorów O i O'. W drugiej, w obydwu tabelach, odpowiednia wartość tego pomiaru, obliczona przez obserwatora O', dla miejsca gdzie znajduje się obserwator O.

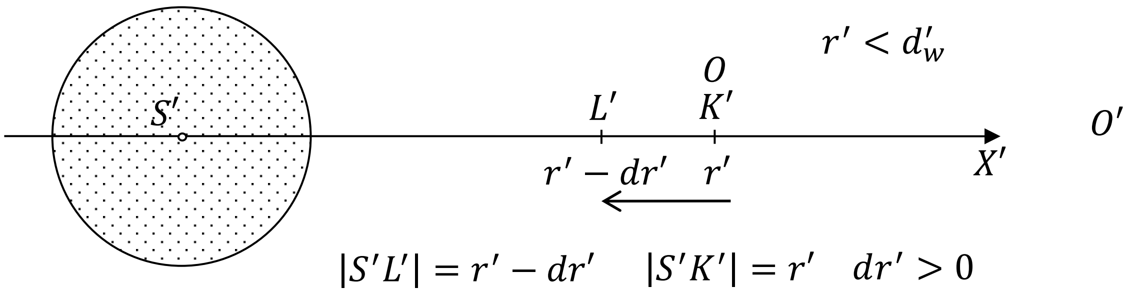
W pierwszej tabeli obserwator O' oblicza odpowiednie wartości przy pomocy układu jednostek obserwatora O, natomiast w drugiej tabeli przy pomocy własnego układu jednostek.

Pomiar wykonany przez obserwatora O', w układzie jednostek tego obserwatora, w miejscu gdzie znajduje się obserwator O'	Odpowiedna wartość tego pomiaru, obliczona przez obserwatora O', dla miejsca gdzie znajduje się obserwator O
$\Delta t'$	$\Delta t = \alpha \Delta t'$
$\Delta l'$	$\Delta l = \alpha^{-1} \Delta l'$
$c' = const.$	$c = c' \alpha^{-2}$
$m' = const.$	$m = m' \alpha^{-1}$
$p' = \frac{h}{\lvert A'B' \rvert}$	$p = p' \alpha^{-3} = \frac{h}{\lvert A'B' \rvert} \alpha^{-3}$
$E' = m' c'^2$	$E = E' \alpha^{-5} = m' c'^2 \alpha^{-5}$
$E' = h\nu'$	$E = E' \alpha^{-5} = h\nu' \alpha^{-5}$
$F' = \frac{Gm'm'_k}{r'^2}$	$F = F' \alpha^{-4} = \frac{Gm'm'_k}{r^2} \alpha^{-4}$

Dla różnych obserwatorów O układy jednostek są różne, dlatego w dalszym ciągu będę na ogół używał jednostek obserwatora O'.

2.3. Zmiana energii punktu materialnego przy jego przesunięciu w polu grawitacyjnym materialnej kuli

Pole grawitacyjne jest niejednorodne, jeżeli gradient potencjału pola grawitacyjnego jest wektorem niezerowym w punktach przestrzeni. Pole grawitacyjne w otoczeniu materialnej kuli jest niejednorodne. W niejednorodnym polu grawitacyjnym, dla ustalonego obserwatora, w różnych punktach przestrzeni, w jednostce czasu, z cząstką na ogół oddziałują różne ilości grawitonów; ta sama cząstka może mieć różną energię wewnętrzną (masę) w różnych punktach przestrzeni. Dla obserwatora związanego z cząstką jej masa i energia wewnętrzna nie zależą od położenia w przestrzeni. Na cząstki materii, w niejednorodnym polu grawitacyjnym, działają siły grawitacji wynikające z asymetrii ilości grawitonów oddziałujących z cząstką z różnych kierunków przestrzeni. Cząstki materii oraz przestrzeni nieustannie wymieniają między sobą pęd i energię, za pośrednictwem grawitonów. Energia może być swobodnie przekazywana z ciał materialnych do cząstek przestrzeni oraz cząstek innych ciał materialnych i odwrotnie.



Rys. 2.3.1.

Obserwator O' znajduje się daleko od kuli, na osi $S'X'$. W obliczeniach używamy układu jednostek obserwatora O'. Obserwator O jest blisko punktu K'. Przesuńmy ruchem jednostajnym punkt materialny P o masie m', z punktu K' do punktu L', w polu grawitacyjnym kuli o masie m'_k i środku S'.

Wprowadźmy oznaczenia

$$w' = k_w \eta m'_k$$

i

$$\alpha = \left(1 + \frac{w'}{r'}\right)^{-1}.$$

Dla obserwatora O' masa punktu materialnego w punkcie K' jest równa

$$m(r') = m'\left(1 + \frac{w'}{r'}\right).$$

Zmiana masy punktu materialnego P podczas tego przesunięcia jest równa

$$dm = m'\left(-\frac{w'}{r'^2}\right)dr'.$$

$$dm = -\frac{k_w\eta m'_k m'}{r'^2}dr'$$

Zmiana energii wewnętrznej podczas tego przesunięcia jest określona wzorem

$$dE_w = dmc_o^2.$$

$$c = c_o\alpha^2$$

$$c_o = c\alpha^{-2}$$

$$dE_w = -k_w\eta c^2\frac{m'm'_k}{r'^2}\alpha^{-4}dr'$$

Dla obserwatora O' siła

$$\vec{F} = -\overrightarrow{F_g} = -\frac{Gm'_k m'}{r'^2}\alpha^{-4},$$

równoważąca siłą grawitacji, wykona pracę

$$dW = -\frac{Gm'_k m'}{r'^2}\alpha^{-4}dr'.$$

$$\frac{dE_w}{dW} = \frac{k_w\eta c^2}{G}$$

Ponieważ

$$k_w\eta = \frac{G}{c^2},$$

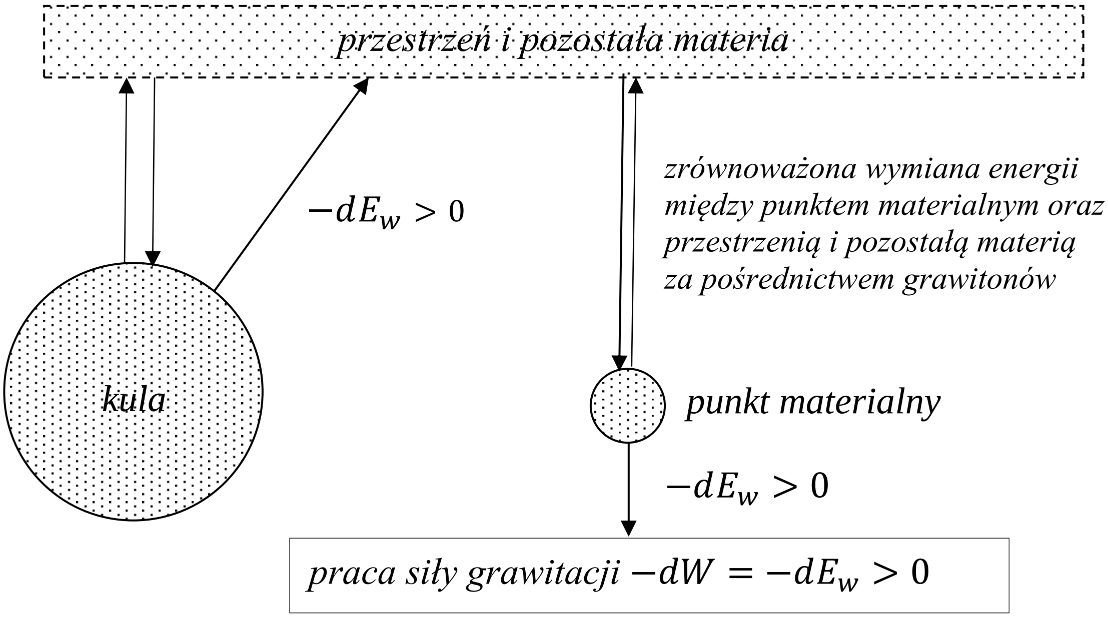
więc

$$dE_w = dW$$

Dla obserwatora O' zmiana energii wewnętrznej punktu materialnego P, podczas jego przesunięcia z K' do L', jest $dE_w < 0$. Również materialna kula zmieni swoją energię wewnętrzną o taką samą wartość jak i punkt materialny.

Podczas tego przesunięcia na ten punkt materialny działa zewnętrzna siła $\vec{F}$, równoważąca siłę grawitacji $\overrightarrow{F_g}$. Siła $\vec{F}$ wykona pracę $dW < 0$, siła grawitacji $-dW > 0$.

Ponieważ oddziaływanie grawitacyjne zachodzi między punktem materialnym, kulą oraz materią i przestrzenią całego Wszechświata, należy rozpatrzyć zmiany energii układu - kula, punkt materialny, przestrzeń i pozostała materia. Jeżeli materialna kula jest nieruchoma i zbliżymy do niej punkt materialny, to kula absorbuje mniej grawitonów w jednostce czasu, zmniejsza swoją energię wewnętrzną, przekazując dodatnią energię $-dE_w$ do przestrzeni i pozostałej materii poprzez emisję grawitonów. Układ – kula, przestrzeń i pozostała materia nie zmieni swojej energii.



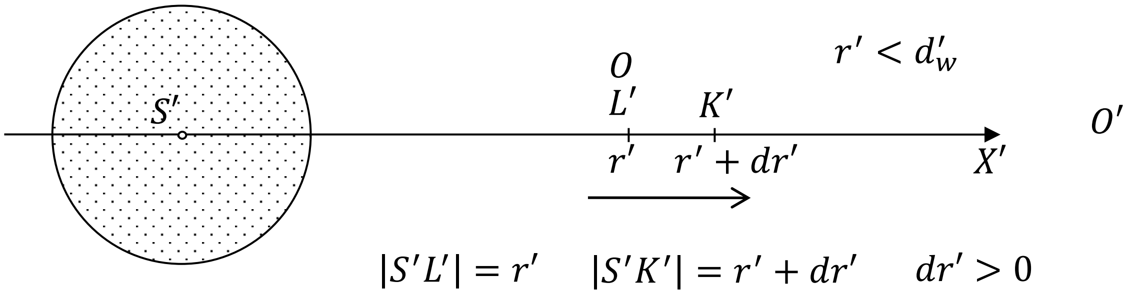
Przemiany energii podczas zbliżania punktu materialnego do kuli

Rys. 2.3.2.

Od strony obserwatora O' z punktem materialnym oddziałuje więcej grawitonów niż od strony kuli. Siła grawitacji $\overrightarrow{F_g}$ działająca na punkt materialny podczas tego przesunięcia wykonuje dodatnią pracę $-dW$, wykorzystując część energii absorbowanych grawitonów. Zmiana energii układu - punkt materialny, kula, przestrzeń i pozostała materia jest równa pracy

$$dW = dE_w.$$

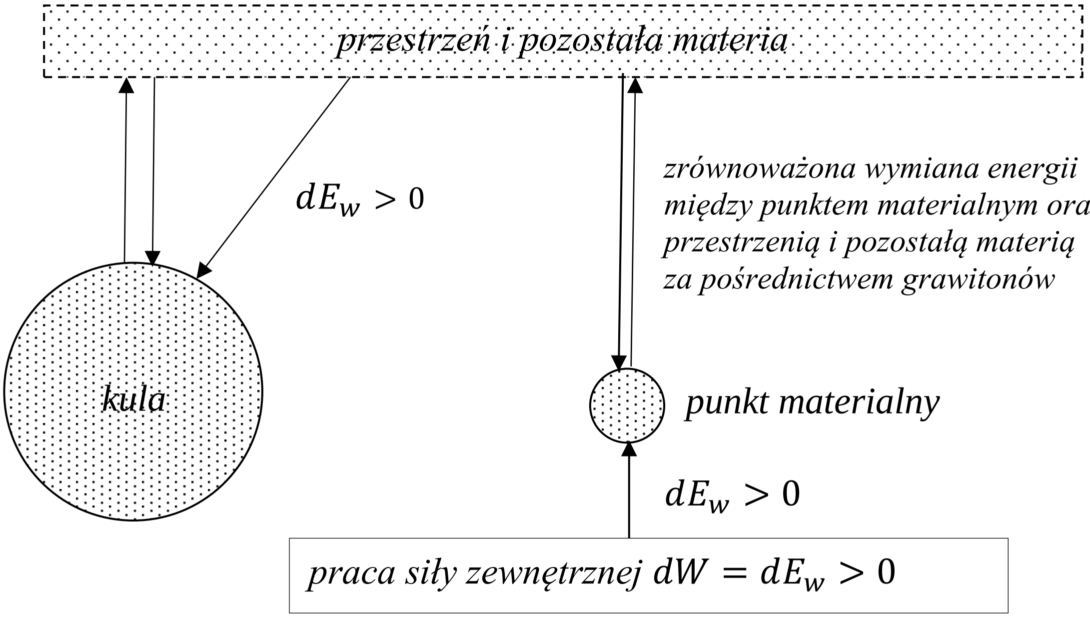
Punkt materialny przesuwa się do miejsca, w którym absorbuje mniej grawitonów, gdzie jego energia wewnętrzna jest mniejsza. Podczas tego przesunięcia punkt materialny emituje mniej grawitonów, niż absorbuje, ponieważ część energii absorbowanych grawitonów nie powiększa energii wewnętrznej tego punktu, ale służy do wykonania dodatniej pracy przez siłę grawitacji. W ten sposób punkt materialny zmniejsza swoją energię wewnętrzną przekształcając ją częściowo na pracę, wykonaną przez siłę grawitacji.



Rys.2.3.3.

Podczas przesunięcia punktu materialnego P z punktu L' do punktu K' zachodzi proces odwrotny, niż przy przesunięciu z K' do L'.

Kula absorbuje więcej grawitonów, niż emituje i w ten sposób pobiera z przestrzeni i pozostałej materii energię $dE_w > 0$. Układ - kula oraz przestrzeń i pozostała materia nie zmienia swojej energii. Na punkt materialny działa siła zewnętrzna $\vec{F}$, wykonująca pracę $dW > 0$, przesuwając P do miejsca, w którym absorbuje więcej grawitonów, skutkiem czego zwiększa się jego energia wewnętrzna.



Przemiany energii podczas oddalania punktu materialnego do kuli

Rys.2.3.4.

Jeżeli punkt materialny P porusza się swobodnie od punktu K' do L', to zwiększa się jego pęd o wartość przekazaną przez grawitony z nim oddziałujące i równocześnie wzrasta jego energia kinetyczna, natomiast zmniejsza się jego spoczynkowa energia wewnętrzna E_w i pobierana jest dodatkowa energia z cząstek przestrzeni i pozostałej materii. Energia kinetyczna jest częścią całkowitej energii punktu materialnego. Zmiana energii kinetycznej punktu materialnego jest równa

$$dE_k = -dE_w.$$

Zmiana całkowitej energii tego punktu materialnego

$$dE_k + dE_w = 0.$$

Dla ruchu swobodnego z punktu L' do K' zachodzi proces odwrotny do poprzedniego.

Podczas dowolnego ruchu punktu materialnego prawdziwa jest zależność

$$dE_k + dE_w = dW_F,$$

gdzie dW_F jest pracą wykonaną przez zewnętrzną siłę działającą na punkt materialny. Jeżeli punkt materialny porusza się swobodnie, to

$$dW_F = 0.$$

Podczas swobodnego spadku

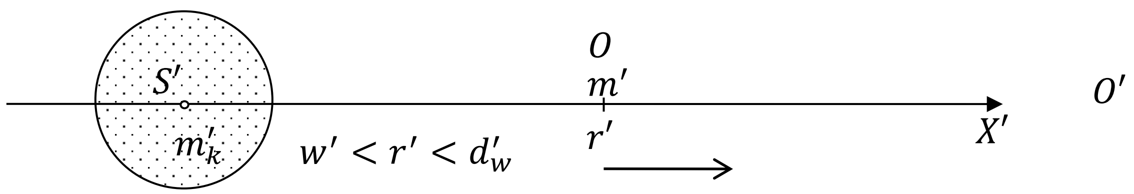
$$dE_k + dE_w = 0.$$

W tym przypadku całkowita energia (masa bezwładna) swobodnie spadającego ciała jest stała. Taka sytuacja jest w przypadku ruchu planet dookoła Słońca.

Podczas ruchu jednostajnego zmiana energii wewnętrznej cząstki dE'_w jest równa zmianie energii potencjalnej ciała dE'_p, przy czym zmiana tej energii jest równa

$$dE_w = dE_p.$$

Tak wygląda mechanizm zamiany energii wewnętrznej ciała na energię kinetyczną lub pracę i odwrotnie, podczas ruchu ciała w statycznym polu grawitacyjnym. Istotne jest tu przesunięcie ciała z jednego punktu do drugiego, co powoduje zmianę ilość grawitonów absorbowanych przez to ciało. Drugim istotnym czynnikiem jest istnienie siły, dzięki której ciało zostaje przesunięte z jednego punktu do drugiego. Trzecim nieustanne przekazywania energii między ciałem oraz przestrzenią i pozostałą materią za pośrednictwem grawitonów.



Rys. 2.3.5.

Energia potencjalna punktu materialnego o masie m', względem kuli o masie m'_k, dla obserwatora O', jest równa pracy siły grawitacji $\vec{F}$ podczas przesunięcia punktu materialnego z punktu O do O' .

$$F = \frac{Gm'm'_k}{r'^2}\alpha^{-4}$$

$$V = -\int_{r'}^{\infty}\frac{Gm'm'_k}{x'^2}\left(1+\frac{w'}{r'}\right)^4 dx'$$

$$V = \left[\frac{1}{5}m'c^2\left(1+\frac{Gm'_k}{c^2x'}\right)^5\right]_{r'}^{\infty}$$

$$V = \frac{1}{5}m'c^2 - \frac{1}{5}m'c^2\left(1+\frac{Gm'_k}{c^2r'}\right)^5$$

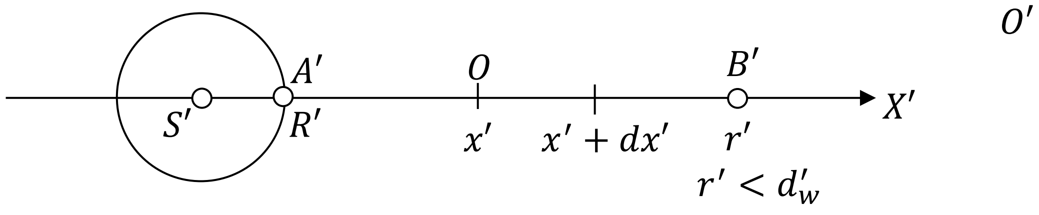
$$V = \frac{1}{5}m'c^2 - \frac{1}{5}m'c^2\left(1+\frac{w'}{r'}\right)^5$$

Dla $r' >> \frac{Gm'_k}{c^2}$ przybliżeniem jest klasyczny wzór

$$V = -\frac{Gm'm'_k}{r'}\,.$$

2.4. Odległość punktów w polu grawitacyjnym

Dla ustalonego obserwatora współczynnik α zmienia się w zależności od miejsca w przestrzeni układu współrzędnych. Odległość dwóch dalekich punktów, dla obserwatora O', zależy od ich położenia w przestrzeni i jest na ogół różna od odległości mierzonej w prostokątnym układzie współrzędnych.



Rys. 2.4.1.

Weźmy kulę o środku w punkcie S', promieniu R' i masie M' w układzie współrzędnych $S'X'Y'Z'$ powstałym przez przesunięcie układu związanego z obserwatorem O', który znajduje się daleko od kuli i innych ciał materialnych. Na osi $S'X'$ są odłożone takie same jednostki długości jak na osiach układu obserwatora O'. Dla obserwatora O' odległość punktów A' i B', w układzie współrzędnych $S'X'Y'Z'$, jest równa

$$|A'B'| = r' - R'.$$

$$|S'B'| = r'$$

Dla obserwatora O' element długości obliczony przez tego obserwatora, przy pomocy własnej jednostki długości, dla miejsca gdzie znajduje się obserwator O, jest określony równaniem

$$dx = \alpha^{-1} dx'.$$

Odległość punktów S' i B', obliczona przez obserwatora O', jest równa

$$\check{d}_{S'B'} = \int_0^{r'} \alpha^{-1}\, dx' .$$

Odległość punktów A' i B' jest równa

$$\check{d}_{A'B'} = \int_{R'}^{r'} \alpha^{-1}\, dx'$$

gdzie

$$\alpha = \left(1 + \frac{w'}{x'}\right)^{-1}$$

i

$$w' = \frac{GM'}{c^2} .$$

$$\check{d}_{A'B'} = \int_{R'}^{r'} \left(1 + \frac{w'}{x'}\right) dx'$$

$$\check{d}_{A'B'} = [x' + w' \ln x']_{R'}^{r'}$$

$$\check{d}_{A'B'} = r' + w' \ln r' - R' - \ln R'$$

$$\check{d}_{A'B'} = r' - R' + w' \ln \frac{r'}{R'}$$

Dla odległości punktów S' i A'

$$\alpha = \left(1 + \frac{w'}{R'}\left(\frac{3}{2} - \frac{x'^2}{2R'^2}\right)\right)^{-1} .$$

$$\check{d}_{S'A'} = \int_0^{R'} \left(1 + \frac{w'}{R'}\left(\frac{3}{2} - \frac{x'^2}{2R'^2}\right)\right) dx'$$

$$\check{d}_{S'A'} = \left[x' + \frac{3w'}{2R'} x' - \frac{w'}{6R'^3} x'^3\right]_0^{R'}$$

$$\check{d}_{S'A'} = R' + \frac{3w'}{2} - \frac{w'}{6}$$

$$\check{d}_{S'A'} = R' + \frac{4w'}{3}$$

Odległość punktów S' i B', 0bliczona przez obserwatora O' jest równa

$$\check{d}_{S'B'} = \check{d}_{S'A'} + \check{d}_{A'B'}.$$

$$\check{d}_{S'B'} = r' - R' + w' \ln \frac{r'}{R'} + R' + \frac{4w'}{3}$$

$$\check{d}_{S'B'} = r' + w' \ln \frac{r'}{R'} + \frac{4w'}{3}$$

dla

$$r' > R' .$$

Dla każdego R' i $r' > R'$ odległość $\check{d}_{S'B'} > 0$. Odległość punktu materialnego od środka kuli zależy od masy kuli i jej promienia. Jeżeli promień kuli zmniejsza się, bez zmiany masy, to odległość ustalonego punktu od środka kuli rośnie. Największa odległość jest wtedy, gdy materia znajduje się w kuli o promieniu w'. Wtedy odległość jest równa

$$\check{d}_{S'B'} = r' + w' \ln\frac{r'}{w'} + \frac{4w'}{3}\,.$$

$$\check{d}_{S'B'} > |S'B'|$$

Również w tym przypadku dla $r' > w'$ odległość $\check{d}_{S'B'} > 0$.

Weźmy dwie materialne kule o masach M_1' i M_2', środkach S_1' i S_2', promieniach R_1' i R_2', współczynnikach $w_1' = \frac{GM_1'}{c^2}$ i $w_2' = \frac{GM_2'}{c^2}$, dla których odległość środków jest równa r' oraz stosunki $\frac{w_1'}{R_1'}$ i $\frac{w_2'}{R_2'}$ są bliskie zera. Odległość tych kul jest określona wzorem

$$\check{d}_{S_1'S_2'} = r' + w_1' \ln\frac{r'}{R_1'} + \frac{4w_1'}{3} + w_2' \ln\frac{r'}{R_2'} + \frac{4w_2'}{3}\,.$$

Jeżeli stosunek $\frac{w_2'}{w_1'}$ jest bliski zera, to drugą kulę możemy traktować jak punkt materialny i odległość środków tych kul jest równa

$$\check{d}_{S_1'S_2'} = r' + w_1' \ln\frac{r'}{R_1'} + \frac{4w_1'}{3}$$

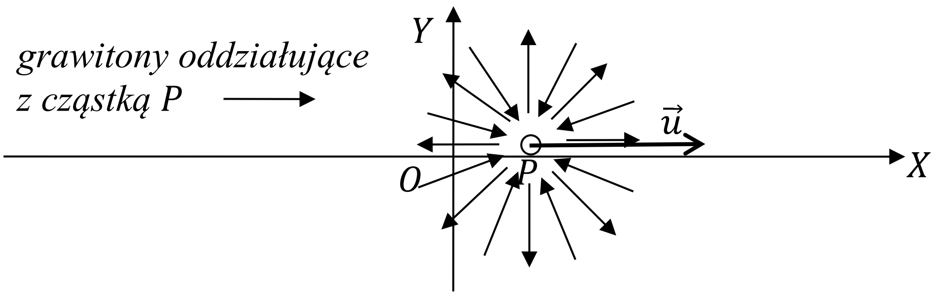
Dla Układu Słonecznego stosunek $\frac{w'_{planety}}{w'_{Słońca}} = \frac{m'_{planety}}{M'_{Słońca}}$ dla Merkurego, Wenus i Ziemi jest mniejszy od $3{,}004 \cdot 10^{-6}$, dlatego te planety możemy traktować jak punkty materialne w stosunku do Słońca. Odległość planety od Słońca obliczona przez obserwatora O' jest równa, z dobrym przybliżeniem, odległości w układzie współrzędnych.

Rozdział 3

3.1. Bezwładność ciał

Obserwator związany z ciałem materialnym, odizolowany od innych układów odniesienia, nie może określić czy znajduje się w spoczynku czy porusza się ruchem jednostajnym względem pewnego układu inercjalnego (to stwierdzenie nie jest zupełnie prawdziwe; patrz 1.1.). Może natomiast łatwo stwierdzić, że porusza się ruchem przyspieszonym lub znajduje się w polu grawitacyjnym (z wyjątkiem przypadku gdyby znajdował się w jednorodnym polu grawitacyjnym).

Niech elementarna cząstka materii P porusza się ruchem jednostajnym, w układzie inercjalnym $OXYZ$, z prędkością $\vec{u}$ wzdłuż osi OX zgodnie z jej zwrotem.



Rys. 3.1.1.

Z cząstką P, w czasie Δt, między jednym a drugim skokiem, oddziałują grawitony przekazujące jej pewien pęd i energię. Suma pędów przekazanych cząstce przez te grawitony jest wektorem zerowym i suma energii przekazanych cząstce jest równa zero. Grawitony te nie zmienią pędu i energii cząstki skutkiem czego nie zmieni się jej prędkość.

Jak wygląda oddziaływanie grawitonów z cząstką elementarną, w układzie $OXYZ$, gdy zmienia się prędkość cząstki? Jeżeli zewnętrzna siła $\overrightarrow{F_z}$ zmienia prędkość cząstki (cząstka porusza się ruchem przyspieszonym) i pęd cząstki zmienia się o $\Delta\overrightarrow{p_{cz}}$, w czasie Δt, to

$$\Delta\overrightarrow{p_{cz}} = \overrightarrow{F_z}\Delta t.$$

Niech w czasie Δt oddziałuje z cząstkę P n grawitonów g_k, które przekazują cząstce pędy $\overrightarrow{p_k}$ gdzie $k = 1,2,\dots,n$. Jak wiemy w układzie inercjalnym $OXYZ$

$$\sum_{k=1}^{n}\overrightarrow{p_k} = \vec{0}.$$

Zgodnie z ***Założeniem 6*** tylko absorpcja lub emisja grawitonów może zmienić pęd cząstki. Pęd cząstki może się zmienić o $\Delta\overrightarrow{p_{cz}}$ tylko wtedy, gdy z cząstką, w czasie Δt, oddziałuje s grawitonów ($s \leq n$), przekazujących jej pędy $\overrightarrow{p_k}$ ($k = 1,2,\dots,s$), takich że suma pędów przekazanych przez te grawitony cząstce jest równa zmianie pędu cząstki. Te grawitony zmieniają pęd cząstki, ale nie działają na nią żadną siłą.

$$\Delta\overrightarrow{p_{cz}} = \sum_{k=1}^{s} \overrightarrow{p_k}$$

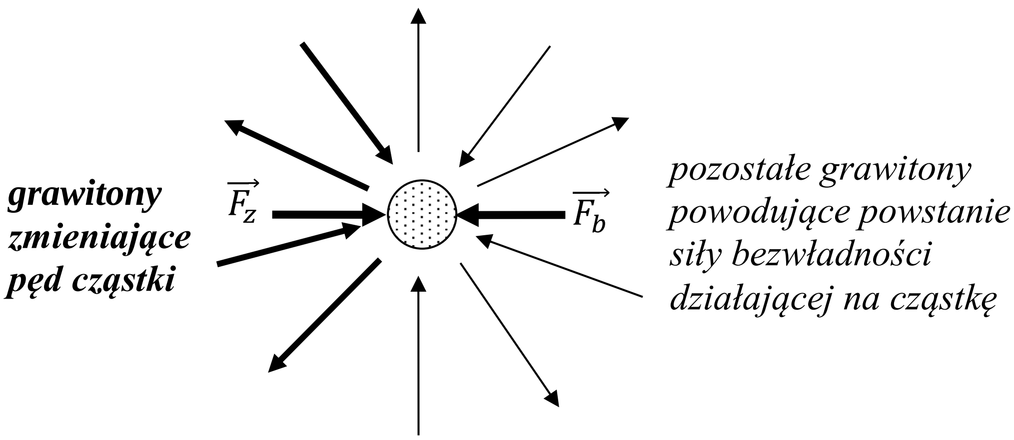
Pozostałe grawitony g_k gdzie $k = s + 1, s + 2, \dots, n$ starają się zmienić pęd cząstki o

$$\Delta\overrightarrow{p_2} = \sum_{k=s+1}^{n} \overrightarrow{p_k} \,.$$

$$\Delta\overrightarrow{p_2} = \sum_{k=1}^{n} \overrightarrow{p_k} - \sum_{k=1}^{s} \overrightarrow{p_k}$$

$$\Delta\overrightarrow{p_2} = \vec{0} - \Delta\overrightarrow{p_{cz}}$$

$$\Delta\overrightarrow{p_2} = -\Delta\overrightarrow{p_{cz}}$$



Rys. 3.1.2.

Jeżeli w układzie inercjalnym czynnik zewnętrzny (siła $\overrightarrow{F_z}$) zmieni pęd cząstki o $\Delta\overrightarrow{p_{cz}}$ w czasie Δt, to oddziaływanie cząstki z przestrzenią i materią, za pośrednictwem grawitonów, stara się przeciwstawić zmianie pędu tak, aby przywrócić poprzedni pęd. Jeżeli to jest niemożliwe, to na cząstkę działa siła bezwładności

$$\overrightarrow{F_b} = \frac{\Delta\overrightarrow{p_2}}{\Delta t} = -\frac{\Delta\overrightarrow{p_{cz}}}{\Delta t} = -\overrightarrow{F_z}$$

powstała w wyniku oddziaływanie cząstki z grawitonami.

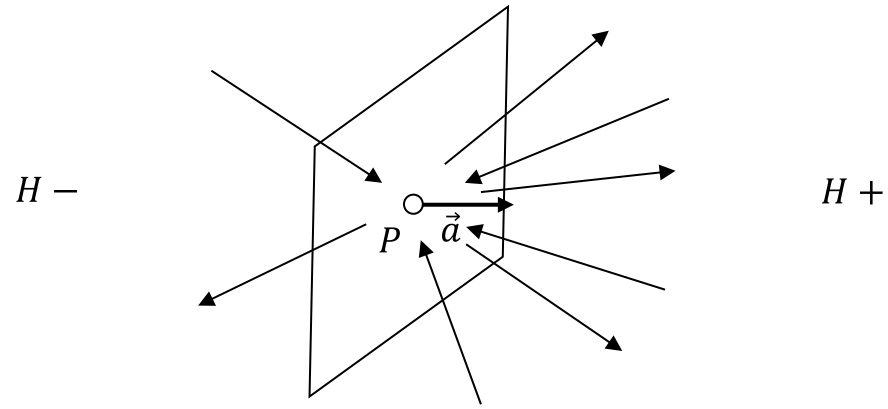
Siła bezwładności powstaje w gruncie rzeczy stąd, że z cząstkę oddziałują tylko grawitony p_k, $k = s + 1, s + 2, \dots, n$, dla których suma pędów przekazywanych tej cząstce jest wektorem niezerowym, skierowanym przeciwnie do wektora przyspieszenia cząstki. Obrazowo można powiedzieć tak. Z cząstką poruszająca się ruchem przyspieszonym, z tej strony w którą jest zwrócony wektor przyspieszenia, oddziałuje więcej grawitonów niż ze strony przeciwnej. Nie liczą się te grawitony, które są absorbowane lub emitowane przez cząstkę tylko po to, aby możliwa była zmiana pędu. Pęd cząstki nie może zmienić się momentalnie. Cząstka musi zaabsorbować oraz wyemitować odpowiednią ilość grawitonów.

Energia kinetyczna cząstki zmienia się o wartość pracy wykonanej przez zewnętrzną siłę.

Na cząstkę poruszającą się ruchem przyspieszonym działa siła hamująca skierowana przeciwnie do siły zewnętrznej i równa jej, co do wartości.

Jeżeli w układzie inercjalnym na cząstkę nie działa siła zewnętrzna, to oddziaływanie z przestrzenią i materią nie pozwala na zmianę jej prędkości.

Płaszczyzna przechodząca przez cząstkę P i prostopadła do wektora przyspieszenia tej cząstki $\vec{a}$ dzieli przestrzeń na dwie półprzestrzenie. Przez $H+$ oznaczmy tę półprzestrzeń, w której znajduje się wektor przyspieszenia cząstki zaczepiony w punkcie P, $H-$ oznacza pozostałą półprzestrzeń.



Rys. 3.1.3.

Wniosek I.

Siła bezwładności $\vec{F}$ działająca na cząstkę, poruszającą się ruchem przyspieszonym, jest efektem tego, że z cząstką oddziałuje więcej grawitonów z półprzestrzeni $H+$ niż z półprzestrzeni $H-$. Tych grawitonów, które nie są potrzebne do zmiany pędu cząstki.

Bezwładność ciała jest wynikiem jego oddziaływania z cząstkami przestrzeni i materii, które znajdują się w kuli oddziaływania grawitacyjnego tego ciała w odległości większej od d_w, za pośrednictwem grawitonów.

Siła bezwładności działająca na ciało jest sumą sił bezwładności działających na cząstki elementarne tworzące to ciało.

W układzie nieinercjalnym (w polu grawitacyjnym) mechanizm powstawania siły bezwładności jest taki sam, jak w układzie inercjalnym. Na ciało, oprócz siły bezwładności, działa dodatkowa siła oddziaływania grawitacyjnego wynikająca z tego, że suma pędów wszystkich grawitonów oddziałujących z ciałem, w czasie Δt, jest wektorem niezerowym ($\sum_{k=1}^{n} \overrightarrow{p_k} \neq \vec{0}$).

Cząstki przestrzeni, tak jak i cząstki materii, mają masą. Z tego powodu działa na nie siła bezwładności, analogicznie jak na cząstki materii. Podobnie jak cząstki materii, cząstki przestrzeni nie mogą poruszać się z prędkością większą od prędkości światła.

Siła bezwładności jest określona wzorem

$$\overrightarrow{F_b} = -\frac{\Delta\overrightarrow{p_{cz}}}{\Delta t},$$

$$\overrightarrow{F_b} = -\frac{\Delta(m_b\vec{v})}{\Delta t},$$

gdzie m_b oznacza masę bezwładną ciała. Jeżeli możemy uznać, że masa ciała jest stała, to

$$\overrightarrow{F_b} = -m_b\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t},$$

$$\overrightarrow{F_b} = -m_b\vec{a}\ .$$

$$\eta\vec{F}_b = -\eta m_b\vec{a}$$

$$\overrightarrow{F_b}^* = -m^*\vec{a}$$

$$\frac{\Delta\vec{p}^*}{\Delta t} = -\frac{N}{\Delta t}\vec{a}$$

$$\Delta\vec{p}^* = -N\vec{a}$$

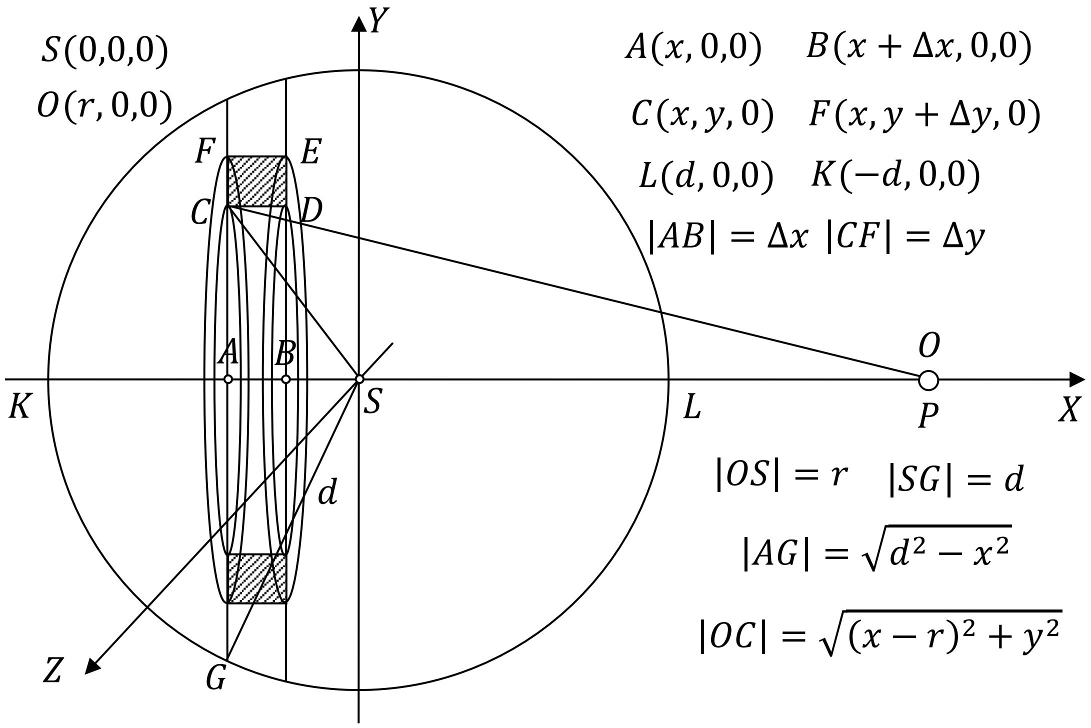
$$\frac{\Delta\vec{p}^*}{N} = -\vec{a}$$

Średnia zmiana pędu* ciała, przypadająca na jeden grawiton oddziałujący z tym ciałem, jest równa przyspieszeniu, z jakim porusza się to ciało (w układzie jednostek MS*).

3.2. Siła grawitacji działająca na punkt materialny znajdujący się na zewnątrz materialnej kuli

Weźmy jednorodną materialną kulę o gęstości ϱ_k, objętości V_k, masie $m_k = V_k\varrho_k$, promieniu d i środku S. W odległości r od środka S kuli umieśćmy punkt materialny P o masie m_P $(d < r < d_w)$. Zakładam, że masa punktu materialnego jest bardzo mała w stosunku do masy kuli, kula i punkt materialny są w spoczynku w układzie $SXYZ$ oraz że punkt materialny P i kula znajdują się w bardzo dużej odległości od innych ciał materialnych. Masy, odległość i czas są mierzone przez obserwatora O znajdującego się blisko punktu materialnego P. Układ $SXYZ$ nie jest układem inercjalnym.

Bez obecności kuli suma pędów przekazanych punktowi materialnemu przez grawitony z nim oddziałujące, w czasie Δt, byłaby wektorem zerowym. Z punktem materialnym P, w czasie Δt, ze względu na obecność kuli oddziałuje mniej grawitonów od strony kuli niż ze strony przeciwnej. Suma pędów przekazanych przez grawitony oddziałujące z punktem P jest wektorem niezerowym skierowanym do środka kuli.



Rys. 3.2.1.

Weźmy pierścień kołowy utworzony przez obrót prostokąta $CDEF$ dookoła osi OX. Objętość tego pierścienia jest równa

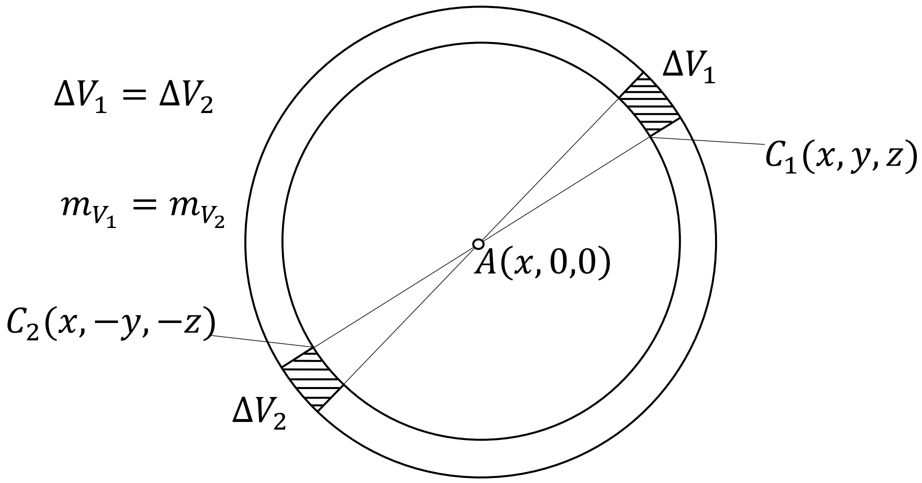
$$\Delta V = 2\pi y \Delta y \Delta x$$

a jego masa

$$m_{pie} = 2\pi y \varrho_k \Delta y \Delta x.$$

Obecność materii w pierścieniu powoduje, że punktowi materialnemu nie zostanie przekazany, w czasie Δt, pęd $-\Delta\vec{p}$. Wobec tego pęd przekazany punktowi materialnemu przez grawitony z nim oddziałujące jest równy $\Delta\vec{p}$ i skierowany w stronę środka kuli.

Podzielmy pierścień na parzystą ilość małych elementów ΔV mających równe objętości i masy.



Rys. 3.2.2.

Pęd przekazany do punktu materialnego, ze względu na obecność materii o masie m_{V_1} w elemencie ΔV_1 jest równy

$$\Delta\overrightarrow{p_{V_1}} = a_w \frac{h\eta^2 m_{V_1} m_P}{|OC_1|^2} \Delta t \frac{1}{|OC_1|}[x-r,y,z],$$

gdzie

$$\frac{1}{|OC_1|}[x-r,y,z]$$

jest wektorem jednostkowym o zwrocie od punktu O do C_1 i punkt $C_1(x,y,z)$ należy do elementu ΔV_1. Do każdego elementu ΔV_1 istnieje element ΔV_2 tego pierścienia o takiej samej objętości i masie, do którego należy punkt $C_2(x,-y,-z)$, przy czym

$$|OC_1| = |OC_2|.$$

Pęd przekazany do punktu materialnego, ze względu na obecność materii o masie m_{V_2} w elemencie ΔV_2 jest równy

$$\Delta\overrightarrow{p_{V_2}} = a_w \frac{h\eta^2 m_{V_2} m_P}{|OC_2|^2} \Delta t \frac{1}{|OC_2|}[x-r,-y,-z],$$

gdzie

$$\frac{1}{|OC_2|}[x-r,-y,-z]$$

jest wektorem jednostkowym o zwrocie od punktu O do C_2.

Pęd przekazany do punktu materialnego ze względu na obecność materii w obydwu elementach jest równy

$$\Delta\overrightarrow{p_{V_1}} + \Delta\overrightarrow{p_{V_2}} = a_w \frac{h\eta^2 m_{V_1} m_P}{|OC_1|^2} \Delta t \frac{1}{|OC_1|} [2(x-r), 0{,}0]$$

$$\Delta\overrightarrow{p_{V_1}} + \Delta\overrightarrow{p_{V_2}} = a_w \frac{h\eta^2 2 m_{V_1} m_P}{|OC_1|^3} \Delta t [x-r, 0{,}0]$$

$$\Delta\overrightarrow{p_{V_1}} + \Delta\overrightarrow{p_{V_2}} = a_w \frac{h\eta^2 (m_{V_1} + m_{V_2}) m_P}{|OC_1|^3} \Delta t [x-r, 0{,}0]$$

Pęd przekazany do punktu materialnego, ze względu na materię zawartą we wszystkich elementach pierścienia, jest równy

$$\Delta\vec{p} = a_w \frac{h\eta^2 m_{pie} m_P}{|OC|^3} \Delta t [x-r, 0{,}0] \,,$$

gdzie C jest odpowiednim punktem pierścienia.

Wektor $\Delta\vec{p}$ ma zwrot od punktu materialnego do środka kuli, a jego wartość liczbowa jest równa

$$\Delta p = 2\pi a_w h\eta^2 m_P \varrho_k \Delta t \frac{(r-x)y}{((x-r)^2+y^2)^{\frac{3}{2}}} \Delta y \Delta x \,.$$

Wprowadźmy chwilowe oznaczenie

$$u = 2\pi a_w h\eta^2 m_P \varrho_k \Delta t \,.$$

$$\Delta p = u \frac{(r-x)y}{((x-r)^2+y^2)^{\frac{3}{2}}} \Delta y \Delta x$$

Wartość liczbowa całkowitego pędu przekazanego punktowi materialnemu ze względu na obecność kuli jest równa

$$p = u \int_{-d}^{+d} (r-x) dx \int_0^{\sqrt{d^2-x^2}} \frac{y}{((x-r)^2+y^2)^{\frac{3}{2}}} dy \,.$$

$$p = u \int_{-d}^{+d} \left[\frac{-(r-x)}{((x-r)^2+y^2)^{\frac{1}{2}}} \right]_0^{\sqrt{d^2-x^2}} dx$$

$$p = u \int_{-d}^{+d} \left(\frac{x-r}{(d^2+r^2-2rx)^{\frac{1}{2}}} + 1 \right) dx$$

$$p = u \left(\int_{-d}^{+d} \frac{x-r}{(d^2+r^2-2rx)^{\frac{1}{2}}} dx + 2d \right)$$

Do całki zastosujmy podstawienie

$$d^2 + r^2 - 2rx = t,$$

$$dx = -\frac{1}{2r} dt,$$

$$x = \frac{d^2+r^2-t}{2r},$$

$$x - r = \frac{d^2-r^2-t}{2r}.$$

Górną granicę całkowania należy zmienić na

$$d^2 + r^2 - 2rd = (r-d)^2$$

a dolną na

$$d^2 + r^2 + 2rd = (r+d)^2.$$

$$p = u \left(-\frac{1}{4r^2} \int_{(r+d)^2}^{(r-d)^2} \frac{d^2-r^2-t}{t^{\frac{1}{2}}} dt + 2d \right)$$

$$p = u \left(-\frac{1}{4r^2} \int_{(r+d)^2}^{(r-d)^2} \frac{d^2-r^2}{t^{\frac{1}{2}}} dt + \frac{1}{4r^2} \int_{(r+d)^2}^{(r-d)^2} t^{\frac{1}{2}} dt + 2d \right)$$

$$p = u \left(\left[-\frac{d^2-r^2}{2r^2} t^{\frac{1}{2}} \right]_{(r+d)^2}^{(r-d)^2} + \left[\frac{1}{6r^2} t^{\frac{3}{2}} \right]_{(r+d)^2}^{(r-d)^2} + 2d \right)$$

$$p = u \left(\frac{d^3-r^2d}{r^2} + \frac{-6r^2d-2d^3}{6r^2} + 2d \right)$$

$$p = u \frac{2d^3}{3r^2}$$

$$p = \frac{4}{3} \pi d^3 a_w h \eta^2 m_P \varrho_k \Delta t \frac{1}{r^2}$$

$$p = a_w h \eta^2 m_P m_k \Delta t \frac{1}{r^2}$$

Ze względu na obecność kuli punktowi materialnemu P został przekazany pęd $\vec{p} = [-p, 0,0]$. Na punkt materialny działa siła określona wzorem

$$F = \frac{p}{\Delta t}.$$

$$F = a_w h \eta^2 \frac{m_P m_k}{r^2}$$

dla

$$d \leq r < d_w$$

i

$$r \geq \frac{G m_k}{c^2}.$$

Na punkt materialny P działa siła wprost proporcjonalna do iloczynu mas grawitacyjnych m_P i m_k punktu materialnego i kuli oraz odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości P od środka kuli. Zwrot tej siły jest zgodny ze zwrotem wektora $\overrightarrow{OS}$. Efekt jest taki jak gdyby kula "przyciągała" punkt materialny. Wyprowadzony wzór jest analogiczny do wzoru określającego prawo powszechnej grawitacji Newtona. Porównując otrzymany wzór dla siły ze wzorem dla prawa powszechnej grawitacji Newtona

$$F = G \frac{m_P m_k}{r^2}$$

otrzymujemy zależność

$$G = a_w h \eta^2,$$

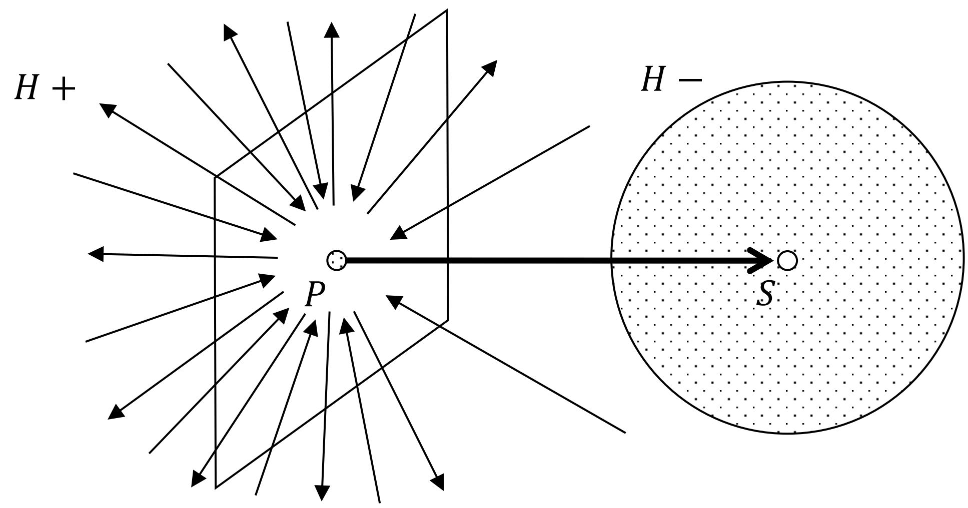
dla obserwatora O.

Kula znajdująca się w pewnej odległości od punktu materialnego powoduje zmianę ilości grawitonów oddziałujących z punktem materialnym. Podobnie, na podstawie ***Założenia 8***, obecność punktu materialnego powoduje zmianę ilości grawitonów oddziałujących z kulą od strony punktu materialnego. Siła działająca na kulę, wynikająca z obecnością punktu materialnego, jest wektorem przeciwnym do siły działającej na punkt materialny.

Siła F „wzajemnego przyciągania" punktu materialnego i jednorodnej kuli o masach grawitacyjnych m_P i m_k, umieszczonych w odległości r między ich środkami, jest wprost proporcjonalna do iloczynu mas grawitacyjnych tych ciał i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między ich środkami.

Jeżeli przyjmiemy, że odległość między punktem materialnym i środkiem kuli jest równa odległości według współrzędnych, to siła działająca na punkt materialny nie zależy od objętości kuli, ale od jej masy.

Siła grawitacji działająca na punkt materialny P jest wynikiem jego oddziaływania z przestrzenią i materią znajdującą się w kuli oddziaływania grawitacyjnego, za pośrednictwem grawitonów.



Rys. 3.2.3.

Płaszczyzna przechodząca przez punkt P i prostopadła do wektora $\overrightarrow{PS}$ (jak na Rys. 3.2.3.) dzieli przestrzeń na dwie półprzestrzenie. Przez $H-$ oznaczmy tą półprzestrzeń, w której znajduje się wektor $\overrightarrow{PS}$, a przez $H+$ pozostałą półprzestrzeń. ($H-$jest tą półprzestrzenią, w której znajduje się kula o środku S).

Wniosek II.

Siła grawitacji działająca na punkt materialny P jest skutkiem tego, że z punktem materialnym P oddziałuje więcej grawitonów z półprzestrzeni $H+$ niż z $H-$. Siła ta jest wprost proporcjonalna do masy grawitacyjnej m_P tego punktu materialnego. Siła grawitacji, jak również siła bezwładności, działająca na punkt materialny P jest wynikiem braku symetrii oddziaływania tego punktu materialnego z cząstkami przestrzeni i materii, zawartymi w kuli oddziaływania grawitacyjnego.

Masa grawitacyjna ciała wynika z istnienia siły „przyciągania” działającej między ciałami. Masa bezwładna wynika z istnienia siły bezwładności działającej na ciało poruszające się ruchem zmiennym.

Masa grawitacyjna jak również masa bezwładna ciała są konsekwencją oddziaływania tego ciała z przestrzenią i materią całego Wszechświata zawartą w kuli oddziaływania grawitacyjnego, za pośrednictwem grawitonów.

Dla obserwatora O, siła „przyciągania” działająca między ciałami o masach m i M znajdującymi się w odległości r, jest określona wzorem

$$F = G\frac{mM}{r^2} .$$

Dla obserwatora O' mamy

$$F' = F\alpha^4$$

i

$$F' = G\frac{mM}{r^2}\alpha^4 .$$

Siła grawitacji F jest zmierzona przez obserwatora O. Według tego obserwatora wartość tej siły dla obserwatora O' w miejscu O jest równa

$$F' = F\alpha^4.$$

Jeżeli siłę grawitacji zmierzy obserwator O', to otrzyma wartość

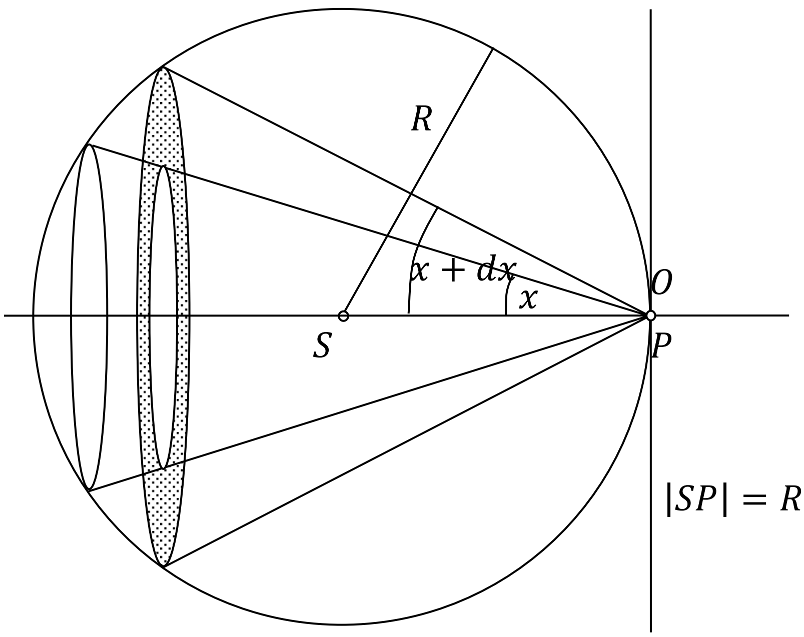
$$F' = G\frac{m'M'}{r'^2}.$$

Wartości m', M' i r' są mierzone przez tego obserwatora. Stała grawitacji jest taka sama dla każdego obserwatora. F' ma w ostatnim wzorze inne znaczenie niż we wzorze poprzednim. Dla obserwatora O' siła grawitacji w miejscu gdzie znajduje się obserwator O jest równa

$$F = F'\alpha^{-4}.$$

$$F = G\frac{m'M'}{r'^2}\alpha^{-4}$$

Weźmy kulę o masie M, środku S i promieniu R zachowującą się tak jak elementarna cząstka, to znaczy emitującą i absorbującą grawitony tylko na powierzchni. Punkt materialny (cząstka elementarna) o masie m znajduje się w punkcie P, na powierzchni kuli. Obserwator O znajduje się blisko punktu materialnego.



Rys. 3.2.4.

Kąt bryłowy określony przez kąt x ma miarę

$$4\pi\, sin^2 \frac{X}{2}\,;$$

kąt pełny ma miarę 4π. Do punktu materialnego nie dochodzą grawitony z półprzestrzeni, w której znajduje się kula, ograniczonej płaszczyzną styczną do kuli w punkcie P. Bez obecności kuli punkt materialny o masie m absorbuje, w czasie Δt, energię określoną wzorem (patrz 1.6.)

$$E = E_s 4\pi d^2 \Delta t$$

i

$$m = \frac{4\pi d^2 E_s D_w}{hc\eta}\,.$$

Stąd otrzymujemy

$$E_s = \frac{mhc\eta}{4\pi d^2 D_w}$$

i

$$E = \frac{mhc\eta}{D_w}\Delta t\,.$$

Z kąta bryłowego określonego przez kąt x do punktu materialnego nie dochodzi energia

$$\Delta E_1 = \frac{mhc\eta}{D_w}\Delta t \frac{4\pi\, sin^2\frac{x}{2}}{4\pi} = \frac{mhc\eta}{D_w}\Delta t\, sin^2 \frac{x}{2}\,.$$

Dla $x + dx$ mamy odpowiednio

$$\Delta E_2 = \frac{mhc\eta}{D_w}\Delta t\, sin^2 \frac{x+dx}{2}\,.$$

Ilość energii, która w czasie Δt, nie dochodzi do punktu materialnego z kąta bryłowego określonego przez $x + dx$, z którego wycięto kąt bryłowy określony przez x, jest równa $\Delta E_{2,1} = \Delta E_2 - \Delta E_1$.

$$\Delta E_{2,1} = \frac{mhc\eta}{D_w}\Delta t \left(sin^2 \frac{x+dx}{2} - sin^2 \frac{x}{2}\right)$$

$$\Delta E_{2,1} = \frac{mhc\eta}{D_w}\Delta t\, sin \frac{2x+dx}{2}\, sin \frac{dx}{2}$$

$$\Delta E_{2,1} = \frac{mhc\eta}{2D_w}\Delta t\, sin\, x\, dx$$

Pęd, który nie zostanie przekazany do punktu materialnego, w czasie Δt, jest równy

$$\Delta p_{2,1} = \frac{\Delta E_{2,1}}{c}$$

a jego składowa równoległa do prostej SP jest równa

$$\Delta p_x = \frac{\Delta E_{2,1}}{c} cos\, x.$$

$$\Delta p_x = \frac{mhc\eta}{2cD_w} \Delta t\, sin\, x\, cos\, x\, dx = \frac{mhc\eta}{4cD_w} \Delta t\, sin\, 2x\, dx$$

Całkowity pęd, który nie zostanie przekazany do punktu materialnego, jest równy

$$\Delta p = \frac{mhc\eta}{4cD_w} \Delta t \int_0^{\frac{\pi}{2}} sin\, 2x\, dx.$$

$$\Delta p = \frac{mhc\eta}{4cD_w} \Delta t\, sin^2 \frac{\pi}{2}$$

$$\Delta p = \frac{mhc\eta}{4cD_w} \Delta t$$

$$\frac{h^2 c\eta^2}{32\pi E_s D_w^2} = G \qquad \text{(patrz 1.7.)}$$

$$D_w = \frac{h\eta}{4} \sqrt{\frac{c}{2\pi E_s G}}$$

$$\Delta p = \sqrt{\frac{2\pi E_s G}{c}} m\Delta t$$

Siła działająca na punkt materialny jest

$$F_{max} = \sqrt{\frac{2\pi E_s G}{c}} m\ ,$$

nie zależy od masy kuli i jest największą siłą działającą na ciało o masie m. Dla bardzo dużych wartości gęstości kuli, złożonej z elementarnych cząstek, siła działająca na punkt materialny, znajdujący się na powierzchni tej kuli, jest niewiele mniejsza od F_{max}.

Weźmy punkt materialny o masie m znajdujący się na powierzchni kuli o masie M i promieniu R. Dla obserwatora O, związanego z punktem materialnym, masa punktu materialnego jest zmniejszona o

$$\Delta m = \frac{GmM}{c^2 R}\ .$$

Ponieważ masa punktu materialnego może się zmniejszyć, co najwyżej do połowy, (do punktu materialnego nie dochodzi połowa grawitonów od strony kuli), więc

$$\Delta m \leq m,$$

$$\frac{GmM}{c^2R} \leq m.$$

$$R \geq \frac{GM}{c^2}$$

Jeżeli promień materialnej kuli jest równy

$$R = w = \frac{GM}{c^2},$$

o ile taka wartość promienia jest możliwa dla kuli o masie M, to na punkt materialny znajdujący się na powierzchni kuli działa największa siła F_{max}, niezależna od masy kuli.

Gęstość materii kuli o promieniu w jest równa

$$\varrho = \frac{3c^6}{4\pi G^3 M^2}.$$

Dla Słońca

$$r_S \geq w = 1476{,}69\ m,$$

$$m_S = 1{,}989 \cdot 10^{30}\ kg.$$

Gdyby $r_S = w$, to wtedy $\varrho_S = 1{,}5 \cdot 10^{20}\ \frac{kg}{m^3}$. Dla Słońca taka wartość gęstości jest niemożliwa. Słońce może się jedynie przekształcić w białego karła o znacznie mniejszej gęstości.

Jeżeli punkt materialny o masie m znajduje się na powierzchni kuli o masie M i promieniu

$$R = w = \frac{GM}{c^2},$$

to według prawa powszechnej grawitacji działa na niego siła

$$F_g = GMmR^{-2}.$$

Kula w tym przypadku jest podobna do cząstki elementarnej, masa takiej kuli jest proporcjonalna do jej powierzchni i jest określona wzorem

$$M = \frac{4\pi E_S D_W R^2}{hc\eta}.$$

Masa kuli jest

$$M = \sqrt{\frac{\pi E_S}{2Gc}} R^2$$

i

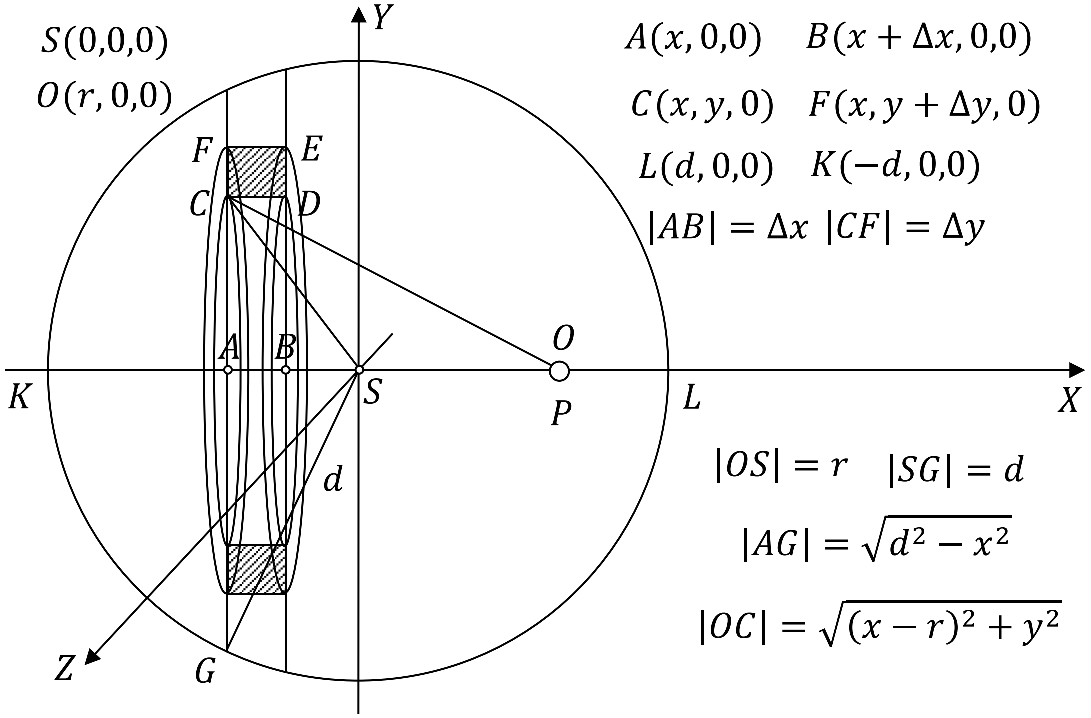
$$F_g = \sqrt{\frac{\pi G E_S}{2c}} m.$$

Siła F_g obliczona według wzoru Newtona jest dwa razy mniejsza od siły F_{max}. Prawo Newtona nie jest prawdziwe w tym przypadku.

Jeżeli $r > d_w$, to między kulą i punktem materialnym nie działają siły „przyciągania" grawitacyjnego.

3.3. Siła grawitacji działająca na punkt materialny znajdujący się wewnątrz materialnej kuli

Weźmy jednorodną materialną kulę, o środku w punkcie S i promieniu d, spoczywającą w układzie $OXYZ$ i znajdującą się w dużej odległości od innych cząstek materii. Obliczmy siłę działającą na punkt materialny P znajdujący się wewnątrz tej kuli w odległości r od jej środka.



Rys. 3.3.1.

Pęd przekazywany przez grawitony do punktu materialnego określa ten sam wzór, jak w przypadku punktu leżącego na zewnątrz kuli. W obliczeniach musimy uwzględnić, że $r < d$.

$$p = u\int_{-d}^{+d}(r-x)dx\int_{0}^{\sqrt{d^2-x^2}}\frac{y}{((x-r)^2+y^2)^{\frac{3}{2}}}dy$$

$$p = u\int_{-d}^{+d}\left[\frac{-(r-x)}{((x-r)^2+y^2)^{\frac{1}{2}}}\right]_0^{\sqrt{d^2-x^2}}dx$$

$$p = u\int_{-d}^{+d}\left(\frac{x-r}{(d^2+r^2-2rx)^{\frac{1}{2}}}+\frac{r-x}{|r-x|}\right)dx$$

$$p = u\left(\int_{-d}^{+d}\frac{x-r}{(d^2+r^2-2rx)^{\frac{1}{2}}}dx+\int_{-d}^{r}1\,dx-\int_{r}^{+d}1dx\right)$$

$$p = u\left(\int_{-d}^{+d} \frac{x-r}{(d^2+r^2-2rx)^{\frac{1}{2}}} dx + 2r\right)$$

Do całki stosujemy podstawienie jak w **3.2.** i otrzymujemy.

$$p = u\left(-\frac{1}{4r^2}\int_{(r+d)^2}^{(r-d)^2} \frac{d^2-r^2-t}{t^{\frac{1}{2}}} dt + 2r\right)$$

$$p = u\left(-\frac{1}{4r^2}\int_{(r+d)^2}^{(r-d)^2} \frac{d^2-r^2}{t^{\frac{1}{2}}} dt + \frac{1}{4r^2}\int_{(r+d)^2}^{(r-d)^2} t^{\frac{1}{2}} dt + 2r\right)$$

$$p = u\left(\left[-\frac{d^2-r^2}{2r^2} t^{\frac{1}{2}}\right]_{(r+d)^2}^{(r-d)^2} + \left[\frac{1}{6r^2} t^{\frac{3}{2}}\right]_{(r+d)^2}^{(r-d)^2} + 2r\right)$$

$$r < d$$

$$p = u\left(\frac{d^2r-r^3}{r^2} + \frac{-6d^2r-2r^3}{6r^2} + 2r\right)$$

$$p = u\frac{2}{3}r$$

$$p = \frac{4}{3}\pi a_w h\eta^2 m_P \varrho_k \Delta t r$$

$$p = \frac{4}{3}\pi G m_P \varrho_k \Delta t r$$

Siła działająca na punkt materialny jest równa

$$F = \frac{4}{3}\pi G\, m_P \varrho_k r.$$

Możemy ją przedstawić w innej postaci

$$F = \frac{4}{3}\pi r^3 \varrho_k G m_P \frac{1}{r^2}.$$

$$F = G\frac{m_P m_{kr}}{r^2}$$

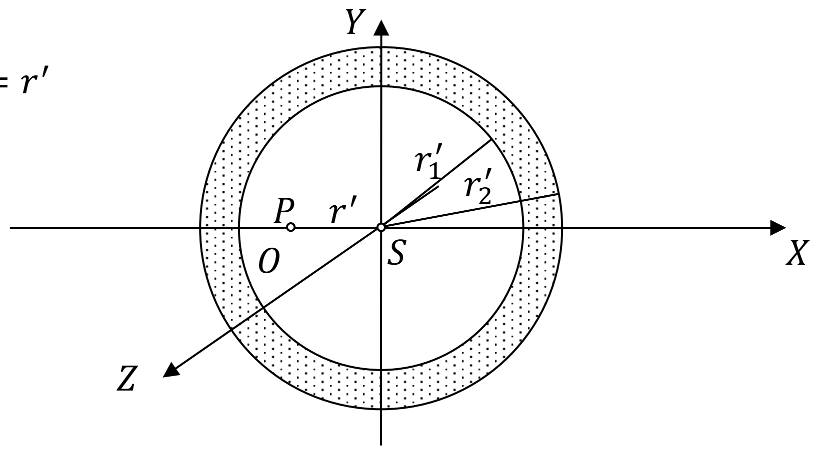
m_{kr} oznacza masę kuli o środku S i promieniu r.
Dla obserwatora O' mamy

$$F' = G\frac{m'_p m'_{kr}}{r'^2}.$$

Siła działająca na P jest taka, jak gdyby ten punkt materialny znajdował się na powierzchni kuli o środku S i promieniu r'. Na punkt materialny nie działa siła pochodząca z kulistej powłoki o środku S i promieniach r' i d'.

Weźmy materialną wydrążoną kulę ograniczoną dwiema koncentrycznymi sferami o środku S i promieniach r_1' i r_2' ($r_1' < r_2'$). Wewnątrz umieśćmy punkt materialny P tak, że $|SP| < r_1'$.

$|SP| = r'$

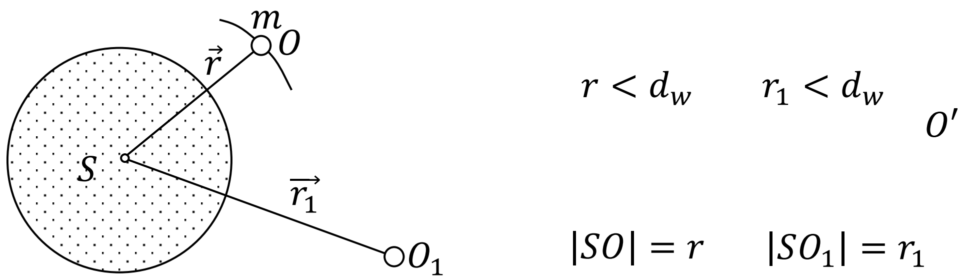


Rys. 3.3.2.

Na cząstkę P nie będzie działała żadna siła, wynikająca z obecności wydrążonej kuli, ponieważ kula o środku S i promieniu r' nie zawiera materii.

3.4. Ruch ciała w polu grawitacyjnym

Weźmy dwóch dowolnych obserwatorów O i O_1 znajdujących się w polu grawitacyjnym wytworzonym przez kulę o środku S i masie $M,$ oraz obserwatora O' znajdującego się daleko od kuli i innych ciał materialnych. Niech dla O, O_1 i O' odstępy czasu między dwoma, tymi samymi, zdarzeniami są odpowiednio Δt, Δt_1 i $\Delta t'$.



Rys. 3.4.1.

Dla O_1 i O' zachodzi związek

$$\Delta t_1 = \alpha_1 \Delta t',$$

natomiast dla O i O' mamy

$$\Delta t = \alpha \Delta t',$$

gdzie

$$\alpha_1 = \left(1 + \frac{GM'}{c^2 r_1'}\right)^{-1}$$

i

$$\alpha = \left(1 + \frac{GM'}{c^2 r'}\right)^{-1}.$$

$$\frac{\Delta t}{\Delta t_1} = \frac{\alpha}{\alpha_1}$$

$$\Delta t = \frac{\alpha}{\alpha_1} \Delta t_1$$

Jeżeli dla obserwatora O między dwoma zdarzeniami upłynie Δt jednostek czasu, to według O_1 upłynęło Δt_1 jednostek czasu. Jeżeli O określi masę ciała znajdującego się blisko niego, jako m, to według obserwatora O_1 masa tego ciała jest równa $m_1 = \frac{\alpha}{\alpha_1} m.$

Aby określić zależności między wielkościami fizycznymi dla obserwatorów O i O_1 należy współczynnik α zastąpić przez $\frac{\alpha}{\alpha_1}$.

Równanie ruchu ciała, o masie $m,$ w polu grawitacyjnym kuli o masie M wyznaczam tak, aby spełniało następujące warunki:

- równanie ruchu powinno być jednakowe dla każdego obserwatora spoczywającego względem kuli,
- przy niewielkim przesunięciu dla obserwatora O_1 ma postać

$$\frac{d}{dt_1}(\overrightarrow{p_1}) = \overrightarrow{F_1},$$

- dla lokalnego obserwatora O ma postać

$$\frac{d}{dt}(\vec{p}) = \vec{F}.$$

Równanie ruchu ciała znajdującego się w punkcie O dla obserwatora O ma postać

$$\frac{d}{dt}(\vec{p}) = \vec{F}.$$

Równanie ruchu ciała znajdującego się w punkcie O dla obserwatora O' można otrzymać podstawiając

$$\vec{p} = \frac{1}{\alpha^3}\overrightarrow{p'}$$

i

$$\vec{F} = \frac{1}{\alpha^4}\overrightarrow{F'}$$

do poprzedniego równania.

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{\alpha^3}\overrightarrow{p'}\right) = \frac{1}{\alpha^4}\overrightarrow{F'}$$

$$\frac{d}{dt'}\left(\frac{1}{\alpha^3}\overrightarrow{p'}\right)\frac{dt'}{dt} = \frac{1}{\alpha^4}\overrightarrow{F'}$$

Ponieważ

$$\frac{dt'}{dt} = \frac{1}{\alpha},$$

więc ostatecznie dla O' równanie ruchu ciała znajdującego się w punkcie O ma postać

$$\frac{d}{dt'}\left(\frac{1}{\alpha^3}\overrightarrow{p'}\right) = \frac{1}{\alpha^3}\overrightarrow{F'}.$$

Weźmy punkt materialny P poruszający się blisko obserwatora O. Dla O_1 szukane równanie ma postać

$$\frac{d}{dt_1}\left(\frac{\alpha_1^3}{\alpha^3}\overrightarrow{p_1}\right) = \frac{\alpha_1^3}{\alpha^3}\overrightarrow{F_1},$$

gdzie czas t_1, pęd $\overrightarrow{p_1}$ i siła $\overrightarrow{F_1}$ działająca na punkt materialny są mierzone przez obserwatora O_1. Współczynnik α_1 jest obliczany dla miejsca gdzie znajduje się obserwator O_1, natomiast α jest powiązany z punktem materialnym (jest obliczany w miejscu gdzie aktualnie znajduje się punkt materialny P).

Jeżeli obserwator O_1 jest blisko obserwatora O, to

$$\alpha_1 = \alpha$$

i równanie przyjmie postać

$$\frac{d}{dt_1}(\overrightarrow{p_1}) = \overrightarrow{F_1}$$

i równocześnie

$$\frac{d}{dt}(\vec{p}) = \vec{F}.$$

Dla niewielkich przesunięć ciała, w dowolnym miejscu przestrzeni, możemy uznać, że

$$\frac{\alpha_1}{\alpha} = const.$$

i równanie ruchu możemy napisać, jako

$$\frac{d}{dt_1}(\overrightarrow{p_1}) = \overrightarrow{F_1}.$$

Ponieważ dla obserwatora O_1, spoczywającego względem kuli $\alpha_1 = const.$, więc dla takiego obserwatora równanie ruchu ma postać

$$\frac{d}{dt_1}\left(\frac{1}{\alpha^3}\overrightarrow{p_1}\right) = \frac{1}{\alpha^3}\overrightarrow{F_1}.$$

Tor ruchu jest taki sam dla każdego obserwatora, natomiast inne może być tempo upływu czasu lub przesunięcie ciała dla różnych obserwatorów.

Dla lokalnych ruchów możemy stosować II zasadę dynamiki Newtona, natomiast do ruchu w dużych obszarach przestrzeni należy stosować równanie

$$\frac{d}{dt_1}\left(\frac{\alpha_1^3}{\alpha^3}\overrightarrow{p_1}\right) = \frac{\alpha_1^3}{\alpha^3}\overrightarrow{F_1}\,,$$

w którym pęd, czas i siła dla punktu materialnego znajdującego się w punkcie O są wyznaczane przez obserwatora O_1 pozostającego w spoczynku w polu grawitacyjnym kuli.

Dla obserwatora O', siła „przyciągania” działająca między ciałami o masach m' i M' znajdującymi się w odległości r', jest określona wzorem

$$F' = G\frac{m'M'}{r'^2}.$$

Równanie ruchu punktu materialnego o masie m' w polu grawitacyjnym kuli o masie M' ma postać

$$\frac{d}{dt'}\left(\frac{1}{\alpha^3}m'\overrightarrow{v'}\right) = -\frac{1}{\alpha^3}G\frac{m'M'}{r'^3}\overrightarrow{r'};$$

wartość α jest obliczana w miejscu gdzie znajduje się punkt materialny.

Dla niewielkiego przesunięcia punktu materialnego o masie grawitacyjnej m_g i masie bezwładnej m mamy

$$ma = G\frac{m_g M}{r^2}.$$

$$a = G\frac{m_g M}{mr^2}$$

Przyspieszenie a, z jakim porusza się ten punkt materialny, zależy od masy grawitacyjnej i masy bezwładnej tego punktu.

Masa bezwładna punktu materialnego jest określona wzorem

$$m = \frac{m_g}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}.$$

$$a = G\frac{M}{r^2}\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

Jeżeli dwa ciała spadają swobodnie obok siebie z tymi samymi prędkościami, to niezależnie od wielkości ich mas spoczynkowych spadają z tym samym przyspieszeniem.

Jeżeli dwa ciała spadają swobodnie na Ziemię, to przechodząc przez ten sam punkt nad powierzchnią Ziemi mogą poruszać się z różnymi przyspieszeniami w zależności od ich prędkości. Ciała poruszające się szybciej mają większą masę bezwładną, przy tej samej masie grawitacyjnej.

Jeżeli $v_1 < v_2$ $(m_1 < m_2)$, to $a_1 > a_2$.

Prędkość swobodnie spadającego ciała jest w każdej chwili mniejsza od prędkości światła.

W układzie inercjalnym pęd przekazywany przez grawitony oddziałujące z jednorodnym ciałem, w kształcie kuli, jest wektorem zerowym i energia przez nie przekazywana jest równa zero. Jeżeli na ciało nie działają zewnętrzne siły, to ciało porusza się ruchem jednostajnym i jego całkowita energia E'_{c1}, dla ustalonego obserwatora O' jest stała. Również jego energia kinetyczna E'_{k1} pozostaje stała.

Jeżeli w układzie inercjalnym obserwatora O' ciało zmieniło swoją prędkość, to jest to możliwe, zgodnie z ***Założeniem 5***, jeżeli na ciało działa zewnętrzna siła $\overrightarrow{F'}$. Siła $\overrightarrow{F'}$ jest potrzebna do zrównoważenia siły bezwładności powstałej w wyniku asymetrycznego oddziaływania ciała z grawitonami. Ciało zmienia swój pęd i energię kinetyczną dzięki pracy W'_F, wykonanej przez tą siłę. Ciało zmieniające swoją prędkość absorbuje i emituje tyle samo grawitonów, nie powiększa swojej energii wewnętrznej E_w i nie zmienia energii przestrzeni. Całkowita energia tego ciała E'_{c2}, po zmianie prędkości, jest równa sumie całkowitej energii ciała przed zmianą prędkości E_{c1} i pracy W'_F.

$$\Delta E'_{c2} = \Delta E'_{c1} + W'_F$$

$$E'_{w2} = E'_{w1}$$

Zmiana energii kinetycznej tego ciała jest równa $\Delta E'_k = W'_F$.

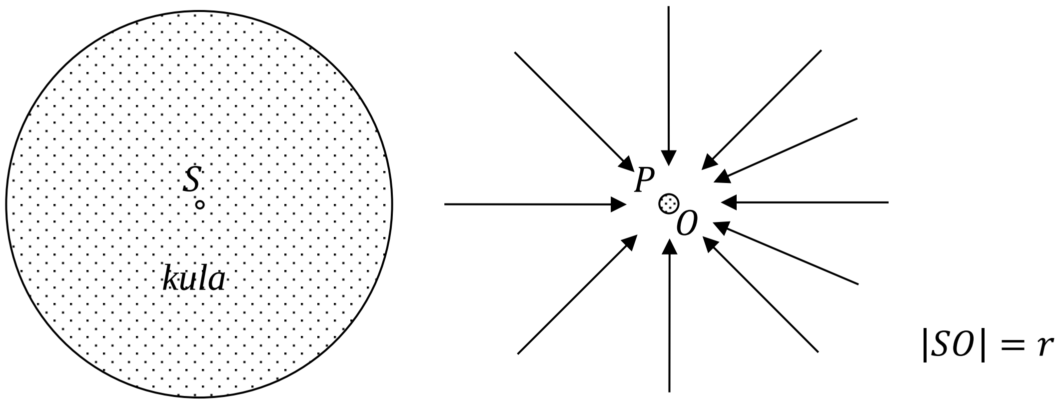
Zewnętrzna siła działająca na ciało, znajdujące się w układzie inercjalnym, zmieniająca jego prędkość, powoduje zmianę jego energii całkowitej kosztem pracy tej siły. Ciało nie zmienia swojej energii wewnętrznej; następuje jedynie zmiana energii kinetycznej.

Jeżeli ciało nie jest kulą to jego ruch w układzie inercjalnym może wyglądać inaczej. Rozpatrzmy sytuację przedstawioną w podrozdziale 1.1. przedstawioną na rysunku 1.1.1.. Niech kule poruszają się w układzie UW. Kula znajdująca się w punkcie A' emituje w stronę punktu B wirtualne grawitony, które nie są absorbowane przez kulę B, nie przekazują do niej żadnego pędu i kula B nie jest hamowana. Analogicznie nie jest hamowana druga kula. Grawitony wirtualne emitowane przez przestrzeń i materię, poruszające się z prędkością światła, w stronę kuli B od strony kuli A' są absorbowane przez kulę A' i nie dochodzą do kuli B. W wyniku tego na kulę B działa siła F zwrócona w stronę A'. Analogicznie na kulę A działa siła F zwrócona w stronę kuli B'. Na układ dwóch kul działa wypadkowa siła $2F_1$, która hamuje ich ruch, a więc zmniejsza ich pęd.

Zmiana pędu kul następuje w wyniku ich oddziaływania z cząstkami przestrzeni i materii za pośrednictwem grawitonów. Suma pędów przekazanych do kul przez grawitony jest wektorem przeciwnym do sumy pędów przekazanych przez te grawitony do cząstek przestrzeni i materii. Kule zmieniają swój pęd, ale pewne cząstki przestrzeni i cząstki pozostałej materii również odpowiednio zmieniają swój pęd. Zasada zachowania pędu jest zachowana, ponieważ całkowity pęd przekazany do cząstek kul oraz cząstek przestrzeni i materii jest wektorem zerowym.

W układzie nieinercjalnym, dla ustalonego obserwatora O', w różnych miejscach przestrzeni ilości grawitonów absorbowanych przez punkt materialny, w jednostce czasu, są na ogół różne i odpowiednio różne jego spoczynkowe energie wewnętrzne (masy grawitacyjne). Całkowita energia punktu materialnego jest funkcją jego położenia i prędkości w polu grawitacyjnym.

W polu grawitacyjnym materialnej kuli występuje asymetria ilości grawitonów absorbowanych przez punkt materialny z różnych kierunków przestrzeni. Ze względu na tą asymetrię suma pędów przekazanych temu punktowi przez grawitony z nim oddziałujące jest wektorem niezerowym, skierowanym do środka kuli.



Rys. 3.4.2.

Z punktem materialnym P, znajdującym się w odległości r od środka S materialnej kuli, oddziałuje mniej grawitonów od strony kuli niż ze strony przeciwnej. Jeżeli punkt materialny jest nieruchomy względem kuli, to dla obserwatora O, znajdującego się blisko tego punktu, działa na ten punkt materialny siła

$$\overrightarrow{F_g} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t}$$

skierowana do środka kuli, gdzie $\Delta\vec{p}$ jest sumą pędów przekazanych przez grawitony oddziałujące z punktem materialnym w czasie Δt. Punkt materialny puszczony swobodnie zaczyna spadać na kulę ruchem przyspieszonym w taki sposób, że zmiana jego pędu, w czasie Δt, jest równa sumie pędów przekazywanych temu punktowi materialnemu przez grawitony oddziałujące z nim w tym samym czasie. Energia kinetyczna spadającego punktu materialnego wzrasta, natomiast jego energia wewnętrzna maleje.

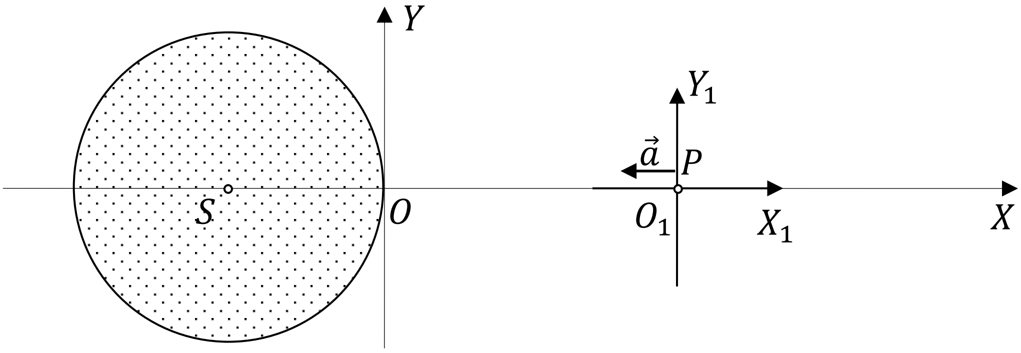
W przypadku ruchu swobodnego, w stronę przeciwną do środka kuli, punkt materialny zmniejsza swoją energię kinetyczną równocześnie zwiększając swoją energię wewnętrzną.

Jeżeli punkt materialny ma większą masę, to oddziałuje z nim więcej grawitonów i zmiana pędu jest wprost proporcjonalna do jego masy.

Część grawitonów oddziałujących ze spadającym swobodnie punktem materialnym powoduje zmianę jego pędu, suma pędów pozostałych jest wektorem zerowym. Dla obserwatora związanego ze spadającym punktem materialnym sytuacja jest taka, jak gdyby znajdował się w spoczynku w układzie inercjalnym.

Układ współrzędnych związany ze swobodnie spadającym ciałem jest układem lokalnie inercjalnym.

Weźmy materialną kulę o środku S i układ $OXYZ$ pozostający w spoczynku względem kuli. Niech obserwator O_1, związany z prostokątnym układem współrzędnych $O_1X_1Y_1Z_1$, porusza się ruchem postępowym, tak jak swobodnie spadające ciało na powierzchnię materialnej kuli. Punkt materialny P znajduje się blisko obserwatora O_1.



Rys. 3.4.3.

Niech punkt materialny P pozostaje początkowo w spoczynku w układzie $O_1X_1Y_1Z_1$. Dla obserwatorów O_1 i O z punktem materialnym oddziałują te same grawitony. Dla obserwatora O_1 suma pędów przekazanych przez grawitony oddziałujące z punktem materialnym jest wektorem zerowym (nie liczą się te grawitony, które zmieniają pęd punktu materialnego), natomiast dla obserwatora O jest wektorem niezerowym zmieniającym prędkość tego punktu. Dla obserwatora O_1 siła działająca na punkt P jest wektorem zerowym. Układ $O_1X_1Y_1Z_1$ jest układem lokalnie inercjalnym. Według obserwatora O część grawitonów oddziałujących z punktem materialnym zmienia jego pęd, natomiast pozostałe, których suma pędów jest wektorem zerowym, działają na niego siłą bezwładności. Dla obserwatora O na swobodnie spadający, w polu grawitacyjnym, punkt materialny działa zerowa siła bezwładności.

Jeżeli punkt P w układzie $O_1X_1Y_1Z_1$ będzie poruszał się tak, że dla obserwatora O pozostaje w spoczynku, wówczas działa na niego pewna siła. Dla obserwatora O_1 jest to siła bezwładności, natomiast dla obserwatora O jest to siła grawitacji, powstała ze względu na obecność kuli. Obydwie siły są skutkiem tego, że od strony przeciwnej do środka kuli z punktem materialnym oddziałuje więcej grawitonów niż od środka kuli. Jednak dla obserwatora O_1 mechanizm powstawania siły bezwładności, działającej na punkt materialny P, jest nieco inny niż w przypadku powstawania siły bezwładności w układzie inercjalnym. Nie występują grawitony, które są potrzebne do zmiany pędu w układzie $O_1X_1Y_1Z_1$, natomiast występują grawitony, których oddziaływanie z P wytwarza siłę bezwładności.

Jeżeli punkt materialny porusza się w inny sposób w układzie $O_1X_1Y_1Z_1$, to siła działająca na niego dla O_1 jest siłą bezwładności, natomiast dla O jest sumą siły grawitacji i siły bezwładności.

Układy lokalnie inercjalne znajdujące się w polu grawitacyjnym mogą poruszać się względem siebie ruchem przyspieszonym.

Grawitony oddziałujące z Układem Słonecznym, sąsiednimi gwiazdami i galaktykami można podzielić na dwie grupy (patrz 4.2.).

Pierwsza grupa grawitonów przekazuje niezerowy pęd i powoduje ruch przyspieszony, z tym samym przyspieszeniem, tych ciał, jako całości. Ten ruch odpowiada swobodnemu spadkowi w polu grawitacyjnym. Układ Słoneczny i jego otoczenie spada swobodnie w stronę przeciwną do środka Wszechświata.

Druga grupa grawitonów, możliwie największa, przekazuje w sumie zerowy pęd do tych ciał. Dlatego, dla obserwatora znajdującego się w pewnej odległości od najbliższych gwiazd układ odniesienia, w którym bliskie gwiazdy i galaktyki pozostają w spoczynku, jest układem niemal inercjalnym. Komplikację stanowi fakt ruchów własnych gwiazd i galaktyk w takim układzie, jednak w niezbyt długim okresie czasu zmiany ich położenia można pominąć.

Układ odniesienia związany z najbliższymi gwiazdami i galaktykami jest z dobrym przybliżeniem układem lokalnie inercjalnym (ULI).

Jeżeli ciało porusza się ruchem jednostajnym na powierzchni Ziemi w układzie pozostającym w spoczynku względem ULI, to druga grupa grawitonów z nim oddziałująca przekazuje mu zerowy pęd i na ciało nie działa żadna siła (pomijając siłę grawitacji).

Jeżeli ciało porusza się ruchem przyspieszonym, to działa na niego siła bezwładności, ponieważ część grawitonów drugiej grupy jest potrzebna do zmiany pędu tego ciała.

Jeżeli ciało wykonuje ruch obrotowy w ULI, to na jego cząstki działa siła odśrodkowa, ponieważ te cząstki poruszają się ruchem przyspieszonym w tym układzie i następuje zmiana ich pędu.

Sąsiednie gwiazdy i galaktyki określają jedynie układ ULI, ale nie mają wpływu na wartość siły bezwładności czy siły odśrodkowej. O wartości siły bezwładności decyduje oddziaływanie grawitacyjne ciała z wszystkimi cząstkami przestrzeni Wszechświata zawartymi w kuli oddziaływania grawitacyjnego.

W doświadczeniu Newtona z wiadrem woda wykonuje ruch obrotowy w układzie ULI związanym z sąsiednimi gwiazdami i galaktykami.

Ruch ciał w Układzie Słonecznym odbywa się względem strumienia grawitonów drugiej grupy dochodzących do tego Układu, emitowanych przez cząstki przestrzeni znajdujące się w kuli oddziaływania grawitacyjnego. Środkiem tej kuli jest Układ Słoneczny. Ruch przyspieszony ciała w układzie ULI powoduje asymetrię ilości grawitonów drugiej grupy oddziałujących z nim z różnych kierunków przestrzeni. Dla ruchu jednostajnego oddziaływanie jest symetryczne.

Dla obserwatora O' masa bezwładna ciała m' zmienia się w zależności od prędkości ciała, jak również od jego położenia względem innych ciał. W skład bezwładnej masy ciała wchodzą również składniki odpowiadające energii kinetycznej oraz energii potencjalnej ciała. Energia potencjalna materialnego ciała jest pewną częścią energii wewnętrznej ciała.

Masę bezwładną poruszającego się ciała obserwator O' może wyznaczyć w następujący sposób. Najpierw masę ciała ustala obserwator O znajdujący się w pobliżu poruszającego się ciała,

$$m_v = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}},$$

gdzie m_0 jest masą spoczynkową poruszającego się ciała, v jest prędkością tego ciała względem O. Obserwator O' mnoży masę m_v przez α i otrzymuje masę m'.

$$m' = m\alpha = \frac{m_0\alpha}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_0}{\left(1+\frac{GM'}{c^2 r'}\right)\sqrt{1-\frac{v'^2}{c'^2}}}$$

Czynnik

$$\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} = \sqrt{1-\frac{v'^2}{c'^2}}$$

jest taki sam dla obydwu obserwatorów.

Jak widać obserwator O' może również wyznaczyć bezpośrednio masę ciała dzieląc masę ciała $m_0\alpha$, wyznaczoną przy pomocy własnego zegara, przez

$$\sqrt{1-\frac{v'^2}{c'^2}}.$$

Między masą bezwładną ciała i jego energią całkowitą zachodzi związek

$$E = mc^2,$$

przy czym ten wzór ma charakter lokalny, to znaczy jest prawdziwy tylko dla ciał znajdujących się blisko obserwatora O, który mierzy energię E i masę m. Dla obserwatora O' znajdującego się daleko od O i innych ciał materialnych mamy zależność

$$E' = m'c'^2,$$

gdzie

$$c' = c\alpha^2.$$

W przybliżeniu podczas swobodnego spadku punktu materialnego na kulę, dla dowolnego ustalonego obserwatora O, nie zmienia się masa ciała. Ponieważ

$$m = \frac{E}{c^2}$$

i

$$m = const.,$$

więc dla swobodnie spadającego ciała

$$\frac{E}{c^2} = const..$$

Jeżeli masa swobodnie spadającego ciała jest stała, to dla dowolnego obserwatora

$$\left(1 + \frac{GM}{c^2 r}\right)\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = const..$$

Stosując przybliżone rachunki otrzymujemy

$$\left(1 + \frac{2GM}{c^2 r}\right)\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) = const..$$

$$-\frac{v_1^2}{c^2} + \frac{2GM}{c^2 r_1} = -\frac{v_2^2}{c^2} + \frac{2GM}{c^2 r_2} \qquad /\cdot \left(-\frac{1}{2}mc^2\right)$$

$$\frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{GMm}{r_1} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{GMm}{r_2}$$

W ten sposób otrzymujemy klasyczną postać zasady zachowania energii dla swobodnie spadającego ciała.

Ruch ciała jest ruchem jego cząstek elementarnych. Ruch cząstki elementarnej nie jest ciągły, ale skokowy. Pęd i energia cząstki elementarnej, podczas jej spoczynku w układzie UW, zmieniają się również skokowo w wyniku jej oddziaływania z grawitonami. Dlatego kierunki i długości skoków cząstki elementarnej, w niewielkim stopniu, zmieniają się w sposób przypadkowy. Również zmiana pędu ciała jest nieciągła. Jednak w zwykłych warunkach zmiana pędu ciała wydaje się ciągła, ze względu na bardzo dużą ilość oddziaływań cząstek elementarnych ciała z grawitonami, podczas których grawiton przekazuje, na ogół, niewielki pęd. Jednak podczas ruchu cząstki elementarnej lub ciała złożonego z niewielkiej ich ilości należy uwzględniać efekty kwantowego oddziaływania z grawitonami.

Weźmy obserwatora O znajdującego się w początku układu współrzędnych $OXYZ$. Jeżeli obserwator O zapali lampę, to czoło fali świetlnej jest sferą określoną równaniem

$$x^2 + y^2 + z^2 - c^2t^2 = 0.$$

Dla obserwatora O' po przeniesieniu początku układu współrzędnych $O'X'Y'Z'$ do punktu O, $x' = x\alpha$, $y' = y\alpha$, $z' = z\alpha$, $t' = \frac{t}{\alpha}$, $c' = c\alpha^2$ i równanie czoła fali ma postać

$$\frac{x'^2}{\alpha^2} + \frac{y'^2}{\alpha^2} + \frac{z'^2}{\alpha^2} - \frac{c'^2}{\alpha^4}t'^2\alpha^2 = 0.$$

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 - c'^2t'^2 = 0$$

Również dla O' czoło fali świetlnej jest sferą.

Weźmy obserwatora O' spoczywającego względem pewnego układu ciał materialnych i znajdującego się daleko od nich. Obserwator O, wraz ze swoim materialnym otoczeniem, może zmieniać położenie względem tych ciał.

Obserwator O' może zauważyć pewne zmiany zachodzące w otoczeniu obserwatora O. Mogą zmieniać się: tempo upływu czasu, masa i energia wewnętrzna cząstek elementarnych, rozmiary cząstek i odległości między nimi, prędkość światła i oddziaływanie grawitacyjne między ciałami.

Natomiast obserwator O nie zauważy żadnej z tych zmian w ciałach znajdujących się blisko niego i pozostających względem niego w spoczynku. Obserwator O podlega tym samym zmianom co jego otoczenie i dla niego żadne zmiany nie zachodzą.

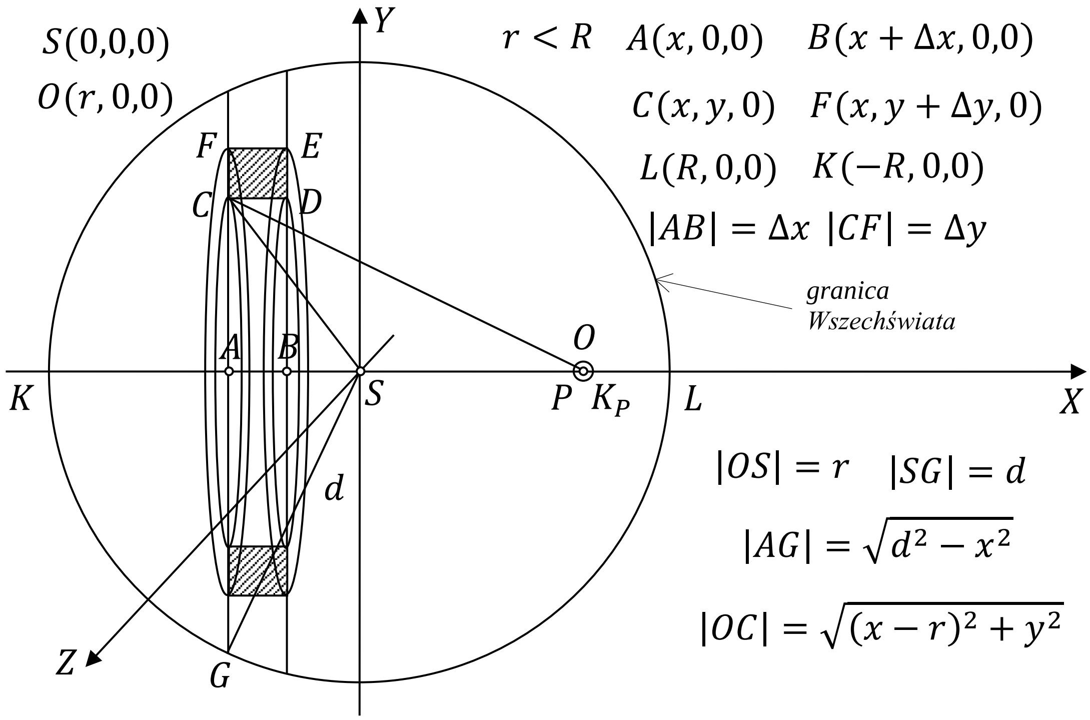
Te zmiany zachodzą w rzeczywistości a nie są wynikiem wybranego sposobu mierzenia odległości, czasu czy innych wielkości fizycznych.

Rozdział 4

4.1. Oddziaływanie grawitacyjne w skali Wszechświata

W skali gromady galaktyk oddziaływanie grawitacyjne, między cząstkami materii oraz cząstkami przestrzeni i cząstkami pozostałej materii, powoduje powstawanie sił działających na ciała materialne, tak jak gdyby te ciała nawzajem się "przyciągały". Inaczej wygląda to w skali całego Wszechświata.

Przestrzeń, tak jak i materia, ma pewną bezwładność. Stąd wynika, że dla dowolnego ustalonego obserwatora, żadna część przestrzeni nie może poruszać się z prędkością większą od prędkości światła. Grawiton, jak również foton, poruszający się z prędkością światła, może przebyć odległość między dowolnymi punktami Wszechświata w skończonym czasie, pomimo jego rozszerzania. Każda elementarna cząstka jest otoczona chmurą, nieustannie emitowanych, wirtualnych grawitonów rozciągającą się na cały Wszechświat. Z cząstkami Ziemi mogą oddziaływać grawitony emitowane przez cząstki znajdujące się nawet na krańcach Wszechświata.



Rys. 4.1.1.

Zakładam, że Wszechświat jest kulą o środku S i promieniu R, utworzoną z cząstek przestrzeni, w której znajdują się cząstki materii, przy czym w dużej skali cząstki przestrzeni oraz cząstki materii są równomiernie rozłożone we Wszechświecie. Cząstki przestrzeni tworzą gaz, dla którego w każdym miejscu jest określona gęstość i odpowiednie ciśnienie wytworzone przez wzajemne oddziaływanie tych cząstek. Materia nie oddziałuje bezpośrednio z cząstkami przestrzeni, lecz jedynie za pośrednictwem grawitonów.

Weźmy punkt materialny P, o masie m_P^*, znajdujący się w odległości r od środka S. K_P jest kulą o środku P i promieniu d_w.

Oznaczmy średnią gęstość materii i średnią gęstość przestrzeni, dla całego Wszechświata, odpowiednio przez ϱ_m^* i ϱ_p^*. Łączna średnia gęstość przestrzeni i materii

$$\varrho_w^* = \varrho_m^* + \varrho_p^*.$$

Wyznaczmy siłę działającą na punkt materialny P w wyniku jego oddziaływania z cząstkami materii i przestrzeni Wszechświata.

Ilość grawitonów oddziałujących między punktem materialnym P oraz cząstkami materii i przestrzeni pierścienia powstałego przez obrót prostokąta $CDEF$ dookoła osi OX, jest równa

$$\Delta N = a_w \frac{\Delta V \varrho_w^* m_P^*}{|CO|} \Delta t.$$

ϱ_w^* jest średnią gęstością materii i przestrzeni dla całego Wszechświata i

$$\Delta V = 2\pi y \Delta x \Delta y$$

jest objętością pierścienia.

$$\Delta N = a_w \frac{2\pi y \Delta x \Delta y \varrho_w^* m_P^*}{|CO|} \Delta t$$

$$\Delta N = a_w \frac{2\pi y \Delta x \Delta y \varrho_w m_p \eta^2}{((x-r)^2+y^2)^{\frac{1}{2}}} \Delta t$$

Grawiton zaabsorbowany lub wyemitowany przez punkt materialny P, który został odpowiednio wyemitowany lub zaabsorbowany przez cząstką przestrzeni lub cząstkę materii znajdującą się w punkcie $C(x, y, z)$, przekaże do punktu materialnego pęd

$$\overrightarrow{p_g} = \frac{h}{|CO|^2} \overrightarrow{CO}.$$

$$\overrightarrow{p_g} = \frac{h}{(x-r)^2+y^2} [r - x, -y, -z]$$

Pęd przekazany do punktu materialnego w wyniku jego oddziaływania z przestrzenią i materią zawartą w pierścieniu jest

$$\Delta \vec{p} = \frac{h}{(x-r)^2+y^2} \Delta N [r - x, 0,0] .$$

$$\Delta \vec{p} = \frac{h(r-x)}{(x-r)^2+y^2} \Delta N [1,0,0]$$

$$\Delta\vec{p} = 2\pi h a_w \eta^2 m_P \varrho_w \Delta t \frac{(r-x)y}{((x-r)^2+y^2)^{\frac{3}{2}}} \Delta y \Delta x [1,0,0]$$

$$h a_w \eta^2 = G$$

$$\Delta\vec{p} = 2\pi G m_P \varrho_w \Delta t \frac{(r-x)y}{((x-r)^2+y^2)^{\frac{3}{2}}} \Delta y \Delta x [1,0,0]$$

Pęd przekazany do punktu materialnego w wyniku jego oddziaływania z cząstkami przestrzeni i cząstkami materii całego Wszechświata jest równy

$$\vec{p} = 2\pi G m_P \varrho_w \Delta t \int_{-R}^{+R} (r-x) dx \int_0^{\sqrt{R^2-x^2}} \frac{y}{((x-r)^2+y^2)^{\frac{3}{2}}} dy \ [1,0,0] .$$

Punkt materialny nie oddziałuje z cząstkami znajdującymi się w kuli K_P. W obliczeniach przyjęto, że punkt materialny oddziałuje z cząstkami przestrzeni i materii znajdującymi się w dowolnej odległości od niego. Wzór na pęd przekazany do punktu materialnego jest jednak poprawny, ponieważ wypadkowy pęd przekazany do punktu materialnego w wyniku oddziaływania z cząstkami kuli K_P (gdyby takie oddziaływanie istniało) jest wektorem zerowym.
Z obliczeń w "**3.3. Siła działająca... wewnątrz materialnej kuli**" otrzymujemy.

$$\int_{-R}^{+R} (r-x) dx \int_0^{\sqrt{R^2-x^2}} \frac{y}{((x-r)^2+y^2)^{\frac{3}{2}}} dy = \frac{2}{3} r$$

$$\vec{p} = 2\pi G m_P \varrho_w \Delta t \frac{2}{3} r [1,0,0]$$

$$\vec{p} = \frac{4}{3} \pi G m_P \varrho_w r \Delta t [1,0,0]$$

$$\vec{F} \Delta t = \vec{p}$$

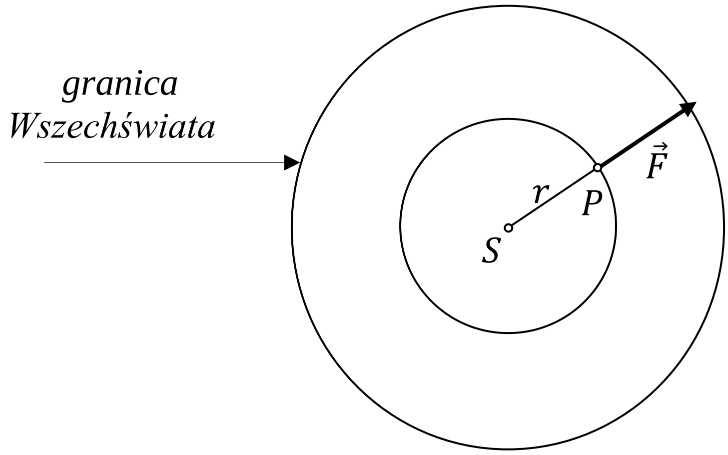
Siła działająca na punkt materialny P, o masie m_P, jest równa

$$\vec{F} = \frac{4}{3} \pi G m_P \varrho_w r [1,0,0]$$

Wartość liczbowa tej siły jest równa

$$F = \frac{4}{3} \pi G m_P \varrho_w r.$$

Na każde ciało materialne P, znajdujące się we Wszechświecie, działa siła grawitacji $\vec{F}$ wywołana wzajemnym oddziaływaniem materii tego ciała z przestrzenią i pozostałą materią całego Wszechświata. Nazwijmy ją siłą RW (Rozciągającą Wszechświat). Zwrot tej siły jest zgodny ze zwrotem wektora $\overrightarrow{SP}$. Nie biorę pod uwagę sił działających na to ciało ze względu na obecność innych ciał materialnych w pobliżu tego ciała. Analogiczna siła RW działa na cząstki przestrzeni.

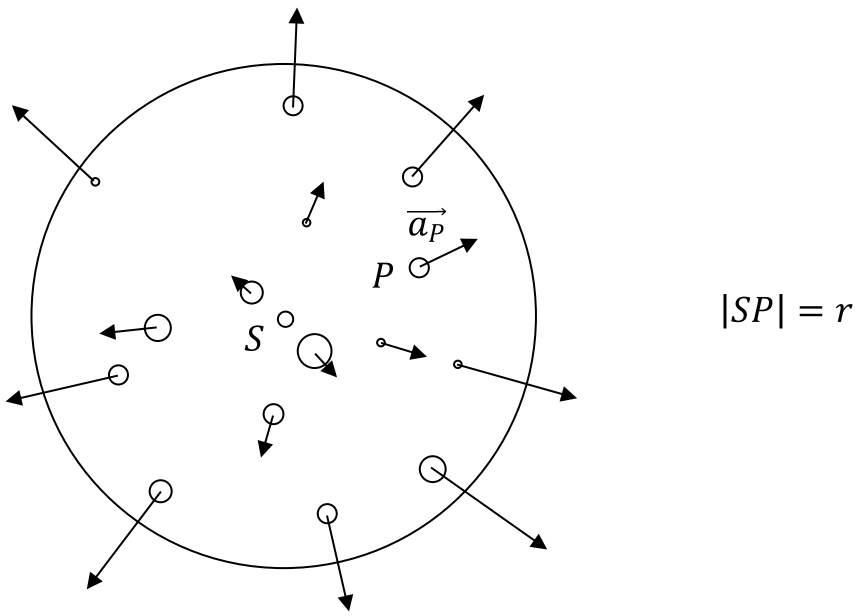


Rys. 4.1.2.

Siła $\vec{F}$ działająca na punkt materialny ma zwrot wektora $\overrightarrow{SP}$ i stara się odsunąć punkt materialny od środka Wszechświata.

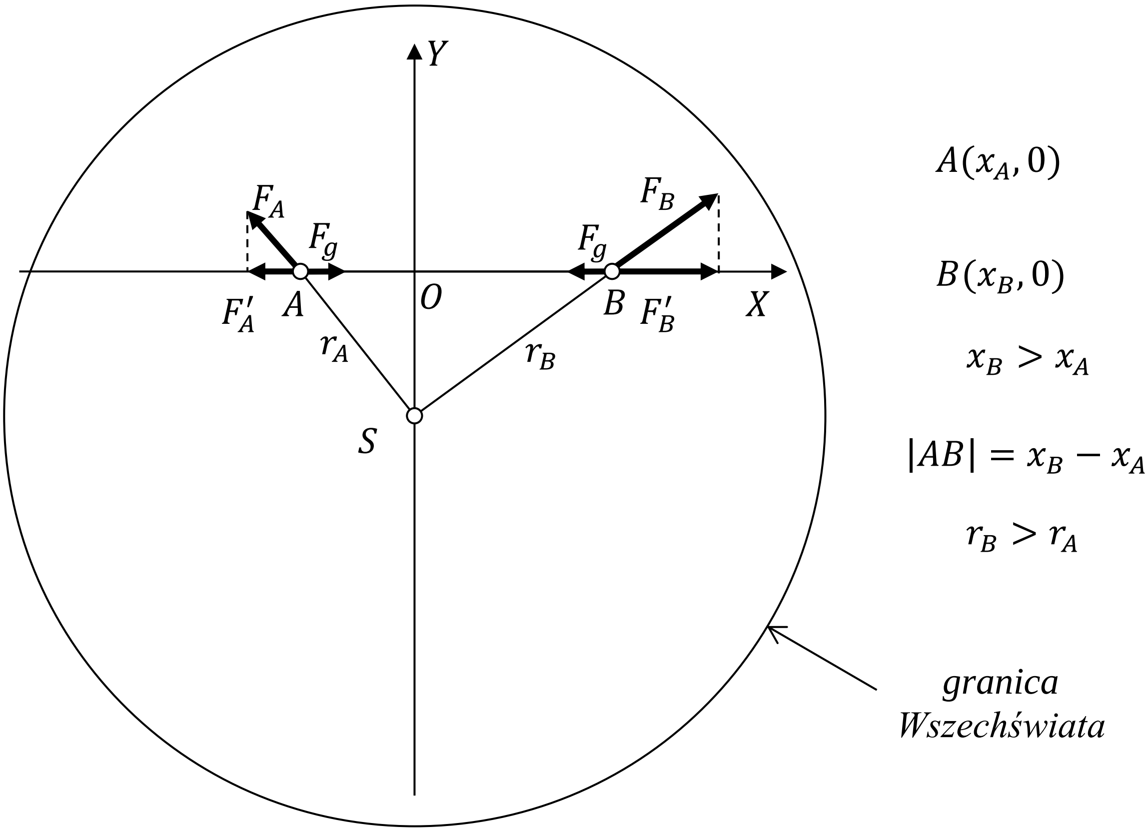
Przyspieszenie wywołane przez siłę RW jest równe

$$a = \frac{4}{3}\pi G \varrho_w r \ .$$



Rys. 4.1.3.

Przyspieszenie $\overrightarrow{a_P}$ ciała P wywołane przez siłę RW jest wprost proporcjonalne do jego odległości r od środka S Wszechświata i ma zwrot wektora $\overrightarrow{SP}$, ponieważ nie zerują się tylko siły pochodzące od przestrzeni i materii zawartej w kuli o środku S i promieniu r.



Rys. 4.1.4.

Weźmy dwa ciała materialne o masach m_A i m_B znajdujące się w punktach A i B takie, że

$$|AB| < d_w.$$

Oznaczmy przez F_A i F_B siły RW działające na te ciała. Na te ciała działają również siły wzajemnego "przyciągania" równe, co do wartości F_g.

Współrzędne składowych wektorów $\overrightarrow{F_A}$ i $\overrightarrow{F_B}$ względem osi OX są odpowiednio

$$F_A' = F_A \frac{x_A}{r_A}$$

oraz

$$F_B' = F_B \frac{x_B}{r_B}.$$

Współrzędne składowych wektorów przyspieszeń, względem osi OX, działających na ciała materialne znajdujące się w punktach A i B są odpowiednio

$$a_A = \frac{F_A \frac{x_A}{r_A} + F_g}{m_A}$$

oraz

$$a_B = \frac{F_B \frac{x_B}{r_B} - F_g}{m_B} .$$

Jeżeli $a_A < a_B$ wówczas ciała będą się od siebie oddalały.

$$\frac{F_A \frac{x_A}{r_A} + F_g}{m_A} < \frac{F_B \frac{x_B}{r_B} - F_g}{m_B}$$

$$F_A \frac{x_A}{r_A} m_B + F_g m_B < F_B \frac{x_B}{r_B} m_A - F_g m_A$$

$$(m_A + m_B)F_g < F_B \frac{x_B}{r_B} m_A - F_A \frac{x_A}{r_A} m_B$$

Siła wzajemnego “przyciągania” tych ciał

$$F_g = G \frac{m_A m_B}{|AB|^2} .$$

Siły F_A i F_B są określone następującymi wzorami.

$$F_A = \frac{4}{3}\pi G m_A \varrho_w r_A$$

$$F_B = \frac{4}{3}\pi G m_B \varrho_w r_B$$

$$(m_A + m_B)G \frac{m_A m_B}{|AB|^2} < \frac{4}{3}\pi G \varrho_w m_A m_B (x_B - x_A)$$

Dzieląc obydwie strony nierówności przez $G m_A m_B$ otrzymujemy

$$(m_A + m_B)\frac{1}{|AB|^2} < \frac{4}{3}\pi \varrho_w |AB| \quad .$$

$$|AB|^3 > \frac{3(m_A + m_B)}{4\pi \varrho_w}$$

$$|AB| > \left(\frac{3(m_A + m_B)}{4\pi \varrho_w}\right)^{\frac{1}{3}}$$

Jeżeli odległość $|AB|$ między materialnymi ciałami jest większa od

$$\left(\frac{3(m_A + m_B)}{4\pi \varrho_w}\right)^{\frac{1}{3}},$$

to ciała będą się od siebie oddalały nawet wtedy, gdy między nimi działają siły „przyciągania".

Odległość $|AB|$ zależy od średniej gęstości materii i przestrzeni we Wszechświecie, która nie jest dokładnie znana. Gdyby średnia gęstość materii i przestrzeni ϱ_w była 1000 razy mniejsza [większa], to odległość $|AB|$ byłaby odpowiednio 10 razy większa [mniejsza].

Przyjmuję, że średnia gęstość materii i przestrzeni jest

$$\varrho_w = 10^{-28}\frac{kg}{m^3}.$$

Gdyby średnia gęstość materii i przestrzeni była równa gęstości wody, to odległość $|AB|$ zmniejszy się trzy miliardy razy.

Oszacujemy odległość, przy jakiej przestaje działać siła „przyciągania" dla dwóch gromad galaktyk. Niech w każdej gromadzie znajduje się 5000 galaktyk. Przyjmuję, że każda galaktyka ma masę równą 10^{11} mas Słońca. Masa jednej gromady galaktyk $m = 5 \cdot 10^3 \cdot 10^{11} \cdot 2 \cdot 10^{30}\ kg = 10^{45}\ kg.$

$$|AB| > \left(\frac{3 \cdot 2 \cdot 10^{45}}{4 \cdot 3{,}14 \cdot 10^{-28}}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$|AB| > (4{,}77 \cdot 10^{72})^{\frac{1}{3}}$$

$$|AB| > 1{,}68 \cdot 10^{24}\ m$$

$$|AB| > 178 \text{ milionów lat świetlnych}$$

Jeżeli odległość między tymi gromadami galaktyk przekroczy 178 milionów lat świetlnych to zaczną się od siebie oddalać nawet, jeśli początkowo były względem siebie w spoczynku. Dla takiej odległości między tymi gromadami siły RW przeważają nad siłami „przyciągania" grawitacyjnego. Ten wynik jest zgodny z danymi astronomicznymi (siły grawitacji przestają działać między gromadami galaktyk dla odległości większej niż $10^{24}\ m$). Jeżeli

$$|AB| > d_w,$$

to między ciałami nie ma „przyciągania" i na gromady galaktyk działają tylko siły RW.

Jeżeli gromady galaktyk są rozmieszczone równomiernie w przestrzeni, to siły „przyciągania" grawitacyjnego mogą się wzajemnie anulować, co spowoduje oddalanie tych gromad, nawet wtedy, jeżeli ich wzajemne odległości są znacznie mniejsze niż 178 milionów lat świetlnych.

Dla dwóch galaktyk o masie

$$m = 10^{11} \cdot 2 \cdot 10^{30}\ kg = 2 \cdot 10^{41}\ kg$$

każda, odległość

$$|AB| > 9{,}85 \cdot 10^{22}\ m = 10{,}4 \text{ milionów lat świetlnych.}$$

Dla dwóch gwiazd o masie

$$m = 2 \cdot 10^{30}\ kg$$

każda, odległość

$$|AB| > 2{,}12 \cdot 10^{19}\ m = 2243 \text{ lat świetlnych.}$$

Obliczenia dotyczą sytuacji, gdy dwa ciała znajdują się daleko od innych ciał. Jeżeli między dwiema gwiazdami z ostatniego przykładu znajdzie się trzecia o takiej samej masie to między nimi działają siły „przyciągania” i gwiazdy nie będą się od siebie oddalały.

Jeżeli ciała znajdują się blisko siebie to różnica między siłami RW działającymi na nie jest niewielka i przeważają siły “przyciągania” tych ciał. Przy dużych odległościach ciał materialnych siły “przyciągania” tych ciał są słabsze od sił RW, z jakimi przestrzeń i materia Wszechświata na nie oddziałuje i ciała oddalają się od siebie. Równocześnie cząstki materii i cząstki przestrzeni w podobny sposób oddziałują na fragmenty przestrzeni, skutkiem czego przestrzeń również się rozszerza.

Przestrzeń tak jak i materia ma niezerową masę, wobec czego nie może się rozszerzać z prędkością większą od prędkości światła. Ostatecznie siły grawitacji powodują rozszerzanie się Wszechświata przy zachowaniu stabilności układów ciał w mniejszej skali.

W wyniku oddziaływania grawitacyjnego we Wszechświecie mogą powstać obszary o gęstości przestrzeni większej od średniej (podobnie jak obszary materii o większej gęstości).

Jeżeli z jednej strony gromady galaktyk znajduje się obszar przestrzeni o dużej gęstości, to na tę gromadę działa siła „przyciągania” pochodząca z tego obszaru przestrzeni. Dlatego taka gromada galaktyk może poruszać się z pewną prędkością w stosunku do innych gromad znajdujących się daleko od tego obszaru przestrzeni.

Dla odległości dostatecznie dużych (siły przyciągania grawitacyjnego są bardzo słabe) przyspieszenie gromad galaktyk względem środka Wszechświata jest równe

$$a = \frac{4}{3}\pi G \varrho_w r.$$

Z takim samym przyspieszeniem rozszerza się przestrzeń.

Przyrost prędkości ciała P, wywołany siłą RW, znajdującego się daleko od innych ciał materialnych, po upływie czasu Δt jest równy

$$\Delta v = a\Delta t.$$

$$\Delta v = \frac{4}{3}\pi G \varrho_w r \Delta t$$

Dla ustalonej wartości Δt przyrost prędkości

$$\Delta v = v - v_0$$

jest wprost proporcjonalny do odległości ciała P od środka Wszechświata.

$$v = v_0 + \frac{4}{3}\pi G \varrho_w r \Delta t$$

W obecnej chwili prędkość początkowa jest wprost proporcjonalna do odległości ciała od środka Wszechświata.

$$v_0 = H_0 r$$

$$v = \left(H_0 + \frac{4}{3}\pi G \varrho_w \Delta t\right) r$$

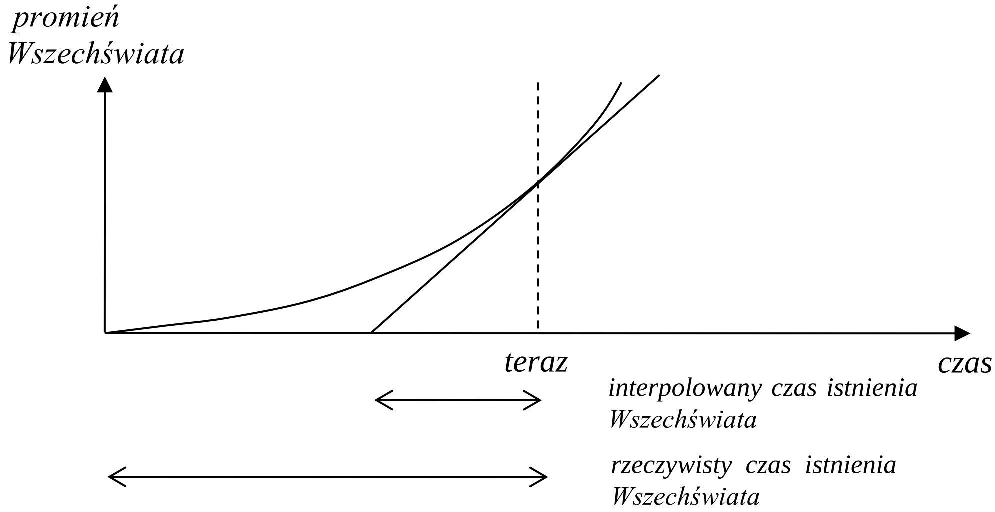
Dla dowolnych wartości Δt prędkości gromad galaktyk pozostaną wprost proporcjonalne do ich odległości od punktu S. To samo oczywiście powie każdy obserwator znajdujący się w dowolnym miejscu Wszechświata.

W obecnym czasie Wszechświat jest prawie płaski i rozszerza się w tym samym tempie we wszystkich kierunkach. Odpychające działanie grawitacji powoduje przyspieszenie ekspansji Wszechświata. Jest to zgodne z faktem wzrostu prędkości rozszerzania się Wszechświata. Obserwowane zjawisko przyśpieszenia ekspansji Wszechświata w prosty sposób wynika z istnienia sił RW.

Siła RW jest wprost proporcjonalna do średniej gęstości materii. W miarę upływu czasu średnia gęstość ϱ_w maleje, wobec tego wartość siły RW również się zmniejsza. Przyspieszenie ekspansji Wszechświata z czasem jest coraz mniejsze. Prędkość rozszerzania rośnie coraz wolniej. Nie musimy wprowadzać teorii inflacyjnej ani zakładać istnienie pól skalarnych dla wyjaśnienia obecnego stanu Wszechświata. Po prostu obecny stan Wszechświata jest skutkiem oddziaływania grawitacyjnego.

Ponieważ prędkość oddalania się ciał wzrasta z czasem wobec tego wiek Wszechświata jest większy niż wynikałoby to z obliczeń przyjmujących, że rozszerzanie zachodzi ze stałą prędkością równą obecnej prędkości rozszerzania się Wszechświata (Rys. 4.1.5.).

Wydaje się, że przedstawiony model oddziaływań grawitacyjnych usuwa problem istnienia gwiazd starszych od całego Wszechświata.



Rys. 4.1.5.

Siła RW jest określona wzorem

$$F = \frac{4}{3}\pi G m_P \varrho_w r.$$

Można ją również zapisać, jako

$$F = \frac{G m_P M_r}{r^2},$$

gdzie

$$M_r = \frac{4}{3}\pi r^3 \varrho_w$$

jest masą materii i przestrzeni znajdującej się w kuli $K(S, r)$ o środku S i promieniu r. Ostatni wzór jest analogiczny do wzoru Newtona dla prawa powszechnej grawitacji, jednak siła skierowana jest nie do środka S, ale w przeciwną stronę.

Materia i przestrzeń, zawarta w kuli $K(S, r)$, stara się odepchnąć cząstki materii oraz cząstki przestrzeni od środka Wszechświata S.

Wartość siły RW została obliczona przy założeniu, że w dużej skali średnia gęstość materii i przestrzeni jest taka sama w każdym miejscu Wszechświata. Przypuśćmy, że średnia gęstość przestrzeni oraz materii maleje w miarę oddalania się od środka S Wszechświata. Niech na przykład

$$\varrho_w(r) = \varrho_0 \frac{R-r}{R},$$

gdzie ϱ_0 jest gęstością materii i przestrzeni w centrum Wszechświata, R jest promieniem Wszechświata i r jest odległością od S. Wówczas masa materii oraz przestrzeni w kuli o środku S i promieniu r jest

$$M_r = \int_0^r 4\pi x^2 \varrho_w(x) dx.$$

$$M_r = \frac{4\pi\varrho_0}{R} \int_0^r x^2 (R - x) dx$$

$$M_r = \frac{4}{3}\pi\varrho_0 r^3 \left(1 - \frac{3r}{4R}\right)$$

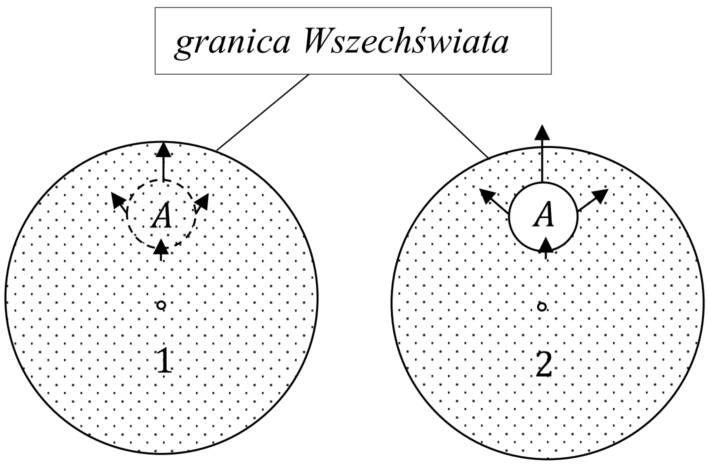
Siła RW obliczona wcześniej jest równa

$$F = \frac{4}{3}\pi G m_P \varrho_w r.$$

W rozpatrywanym przypadku

$$F = \frac{4}{3}\pi G m_P \varrho_0 r \left(1 - \frac{3r}{4R}\right).$$

Siła RW w tym przypadku rośnie wolniej niż proporcjonalnie do r, wobec tego tempo rozszerzania obszaru Wszechświata w odległości r od S maleje ze wzrostem r. Obszary o większej gęstości rozszerzałyby się szybciej niż obszary o mniejszej gęstości. W rezultacie łączna gęstość materii i przestrzeni w różnych obszarach z czasem stałaby się jednakowa.



Rys. 4.1.6.

Weźmy obszar *A* dostatecznie duży (Rys. 4.1.6.), w którym siły RW mogą przezwyciężyć „przyciągające” siły grawitacji. W przypadku 1 gęstość materii w tym obszarze jest taka sama jak w pozostałych częściach Wszechświata. Wówczas ten obszar powiększa się w takim samym tempie jak reszta Wszechświata.

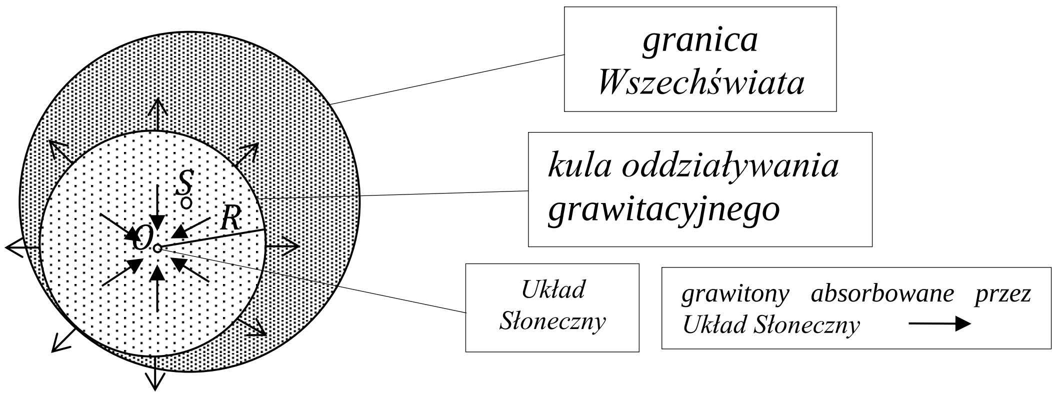
W przypadku 2 gęstość materii w obszarze *A* jest bardzo mała w stosunku do pozostałej części Wszechświata. Do jego brzegu dochodzi więcej grawitonów niż w przypadku pierwszym, ze względu na niewielką ilość materii w tym obszarze. Ze względu na mniejszą gęstość materii grawitony są słabiej absorbowane podczas przejścia przez ten obszar. Dlatego siły RW działające na materię znajdującą się na brzegu tego obszaru są większe niż w przypadku 1. Obszar *A* w przypadku 2 rozszerza się szybciej niż odpowiedni obszar w przypadku 1.

Gdyby we wczesnym okresie rozwoju Wszechświata powstało dożo takich obszarów o bardzo małej gęstości materii, to obecny Wszechświat byłby podobny do kuli mydlanej piany. Puste pęcherzyki, materia skupiona na ich ściankach.

Obszary o większej gęstości materii niż średnia powiększają się wolniej niż obszary o gęstości średniej.

4.2. Kula oddziaływania grawitacyjnego

W skali całego Wszechświata na obiekty materialne i cząstki przestrzeni działają siły RW. Powoduje to oddalanie tych obiektów i cząstek przestrzeni od środka S Wszechświata, w różnych kierunkach i z różnymi prędkościami. Jednak takie obiekty jak Układ Słoneczny zachowują się niemal tak, jak gdyby znajdowały się w układzie inercjalnym. Możemy przyjąć, że Słońce znajduje się w środku kuli o promieniu R, stycznej do powierzchni Wszechświata, oraz że z ciałami Układu Słonecznego oddziałują, za pośrednictwem grawitonów, tylko cząstki materii i cząstki przestrzeni zawarte w tej kuli. Nazwijmy ją kulą oddziaływania grawitacyjnego. Wypadkowy pęd przekazywany do obiektów materialnych w naszej Galaktyce w wyniku ich oddziaływania z cząstkami materii i cząstkami przestrzeni znajdującymi się w kuli oddziaływania grawitacyjnego, jest wektorem zerowym. Kula oddziaływania grawitacyjnego jest bardzo duża i nasza Galaktyka, w porównaniu z nią, może być traktowana jak punkt materialny. Oddziaływanie między naszą Galaktyką i pozostałą częścią Wszechświata, za pośrednictwem grawitonów, zmienia równomiernie pęd materii w naszej Galaktyce, która w całości zachowuje się tak, jak swobodnie spadające ciało w polu grawitacyjnym. Układ odniesienia związany z naszą Galaktyką jest w przybliżeniu układem inercjalnym.



Rys. 4.2.1.

Dla każdego obiektu we Wszechświecie można określić taką kulę oddziaływania grawitacyjnego. Obiekty leżące dalej od środka S Wszechświata mają promień R odpowiednio mniejszy. W związku z tym, dla ustalonego obserwatora, masa ciał i siła grawitacji mogą być inne w różnych częściach Wszechświata.

Oszacujmy promień R takiej kuli oddziaływania grawitacyjnego, której środkiem O jest Słońce (Rys. 4.2.2.). W punkcie O umieśćmy punkt materialny P o masie m_P^*. Obliczymy ilość grawitonów oddziałujących z tym punktem oraz cząstkami materii i przestrzeni tej kuli, w czasie Δt. Ilość grawitonów oddziałujących, w czasie $\Delta t,$ z punktem materialnym P oraz z cząstkami materii i przestrzeni warstwy kulistej, o środku O i promieniach r i $r + \Delta r$, jest równa

$$\Delta N = a_w \frac{\Delta V \varrho_w^* m_P^*}{r} \Delta t,$$

gdzie ϱ_w^* jest średnią gęstością materii i przestrzeni dla kuli oddziaływania grawitacyjnego i

$$\Delta V = 4\pi r^2 \Delta r\ .$$

$$\Delta N = a_w \frac{4\pi r^2 \Delta r \varrho_w^* m_P^*}{r} \Delta t$$

$$\Delta N = 4\pi a_w m_P^* \varrho_w^* r \Delta r \Delta t$$

$O(0,0)$

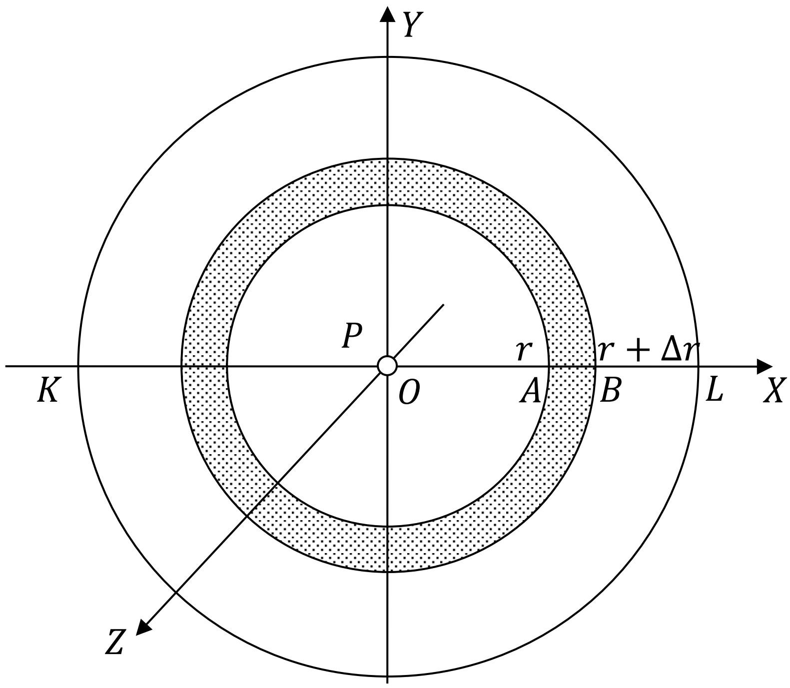
$L(R,0)$

$K(-R,0)$

$A(r,0)$

$B(r+\Delta r,0)$

$|AB| = \Delta r$



Rys. 4.2.2.

Ilość wszystkich grawitonów oddziałujących z punktem materialnym P jest równa

$$N = 4\pi a_w m_P^* \varrho_w^* \Delta t \int_{d_w}^{R} r\, dr.$$

$$N = 2\pi a_w m_P^* \varrho_w^* \Delta t (R^2 - d_w^2)$$

Ponieważ

$$N = m_P^* \Delta t,$$

więc

$$m_P^* \Delta t = 2\pi a_w m_P^* \varrho_w^* \Delta t \left(R^2 - d_w^2\right).$$

$$1 = 2\pi a_w \varrho_w^* (R^2 - d_w^2)$$

Długość promienia R kuli oddziaływania grawitacyjnego jest bardzo duża w porównaniu z wartością d_w, dlatego przyjmuję, że

$$R^2 - d_w^2 \approx R^2.$$

$$1 = 2\pi a_w \varrho_w^* R^2$$

$$R = \frac{1}{\sqrt{2\pi a_w \varrho_w^*}}$$

$$R = \frac{1}{\sqrt{2\pi a_w \eta \varrho_w}}$$

Podstawiając

$$a_w \eta = \frac{G}{h\eta}$$

otrzymujemy

$$R = \sqrt{\frac{h}{2\pi G \varrho_w}}\sqrt{\eta}.$$

Promień kuli oddziaływania grawitacyjnego jest odwrotnie proporcjonalny do pierwiastka kwadratowego ze średniej gęstości materii i przestrzeni we Wszechświecie. Przyjmuję, że średnia gęstość materii i przestrzeni jest równa

$$\varrho_w = 10^{-28}\,\frac{kg}{m^3}.$$

Wówczas

$$R = \sqrt{\frac{6{,}626 \cdot 10^{-34}}{2 \cdot 3{,}1416 \cdot 6{,}673 \cdot 10^{-11} \cdot 10^{-28}}}\sqrt{\eta}\, m = 126\sqrt{\eta}\, m.$$

W następnym podrozdziale 4.3. oszacowano wartość współczynnika η.

$$\eta = 10^{98}\,\frac{1}{kgs}$$

$$R = 126\sqrt{\eta}\, m = 1{,}26 \cdot 10^{51}\, m$$

$$R = 1{,}33 \cdot 10^{35} \text{ lat świetlnych}$$

Promień R kuli oddziaływania grawitacyjnego zależy od średniej gęstości materii i przestrzeni oraz od współczynnika η. Obliczoną wartość R należy traktować szacunkowo, ponieważ średnia gęstość ϱ_w nie jest dokładnie znana i wartość η została tylko oszacowana.

Średnią gęstość materii i przestrzeni można wyrazić wzorem

$$\varrho_W = \frac{h\eta}{2\pi G R^2}.$$

Przestrzeń zawarta w kuli oddziaływania grawitacyjnego rozszerza się podobnie jak w całym Wszechświecie. Przyspieszenie obszaru przestrzeni odległego o r od Układu Słonecznego (punkt O) jest równe

$$a = \frac{4}{3}\pi G \varrho_W r.$$

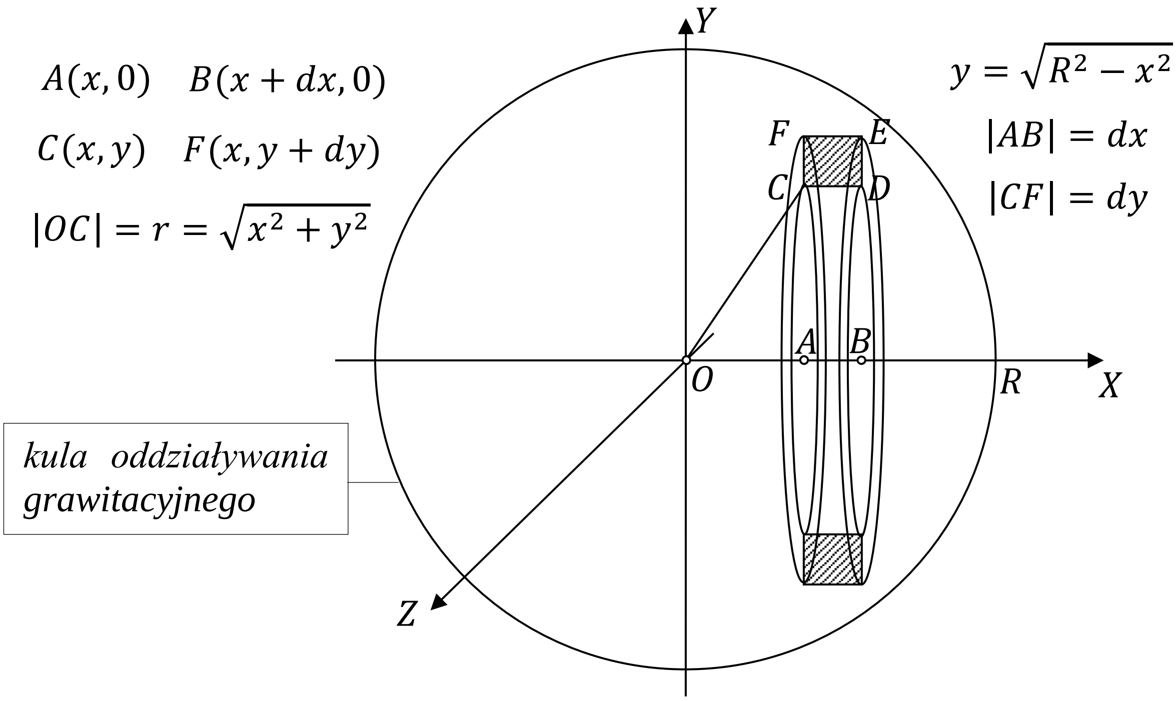
Dla odległości $r = 10$ miliardów lat świetlnych $a = 2{,}7 \cdot 10^{-12}\ \frac{m}{s^2}$.

W ciągu jednego miliona lat prędkość oddalania wzrośnie o $\Delta v = 85\ \frac{m}{s}$.

Kula oddziaływania grawitacyjnego, jak cały Wszechświat, rozszerza się równomiernie we wszystkich kierunkach, względem Ziemi, zachowując swój kulisty kształt.

4.3. Oddziaływanie grawitonów z materialną kulą

Jeżeli grawitony oddziałują z punktem materialnym, o masie m, tylko z jednej strony, wówczas siła działająca na niego jest największa. Obliczmy wartość liczbową takiej siły.



Rys. 4.3.1.

Ilość grawitonów oddziałujących z punktem materialnym o masie m, znajdującym się w początku układu współrzędnych O, oraz materią i przestrzenią zawartą w pierścieniu, jest równa

$$\Delta n = a_w \eta^2 \frac{V_p \varrho_w m}{r} \Delta t.$$

$$\Delta n = a_w \eta^2 \frac{2\pi y dx dy \varrho_w m}{r} \Delta t$$

Grawiton oddziałujący między punktem materialnym P i cząstką przestrzeni lub materii znajdującą się w punkcie $C(x,y,z)$, przekaże do punktu materialnego pęd określony wzorem

$$\overrightarrow{p_g} = \frac{h}{|CO|^2} \overrightarrow{CO}.$$

$$\overrightarrow{p_g} = \frac{h}{x^2+y^2} [-x,-y,-z]$$

Pęd przekazany do punktu materialnego przez materię i przestrzeń zawartą w pierścieniu jest równy

$$\overrightarrow{\Delta p} = \frac{h}{x^2+y^2}\Delta n[-x,0,0].$$

$$\overrightarrow{\Delta p} = -\frac{hx}{x^2+y^2}\Delta n[1,0,0]$$

$$\overrightarrow{\Delta p} = -2\pi a_w \eta^2 \varrho_w mh\Delta t \frac{xy}{(x^2+y^2)^{\frac{3}{2}}} dxdy[1,0,0]$$

Wartość liczbowa całkowitego pędu przekazanego przez grawitony oddziałujące z punktem materialnym oraz cząstkami materii i przestrzeni znajdującymi się w półprzestrzeni ograniczonej płaszczyzną OYZ, w której znajduje się dodatnia półoś OX, jest równa

$$\Delta p = 2\pi G \varrho_w m\Delta t \int_0^R x\, dx \int_0^{\sqrt{R^2-x^2}} \frac{y}{(x^2+y^2)^{\frac{3}{2}}} dy\ .$$

$$\Delta p = \pi G \varrho_w m \Delta t R$$

Siła, z jaką oddziałują z punktem materialnym cząstki materii i przestrzeni, znajdujące się z jednej jego strony, jest równa

$$F_1 = \pi G \varrho_w m R,$$

gdzie R jest promieniem kuli oddziaływania grawitacyjnego.

$$F_1 = \sqrt{\frac{\pi h G \varrho_w}{2}} m\sqrt{\eta}$$

$$F_1 = 2{,}635 \cdot 10^{-36} m\sqrt{\eta}$$

Jest to największa wartość siły oddziaływania grawitacyjnego, jaka może działać na ciało o masie m.

W dalszym ciągu przyjmuję, że

$$\eta = 10^{98}\ \frac{1}{kg\ s}.$$

Przyjętą wartość η należy traktować szacunkowo. Przypuszczam, że wprowadzona wartość η jest bliska rzeczywistej.

$$F_1 = 2{,}6 \cdot 10^{13} m \quad N$$

Weźmy punkt materialny o masie m na powierzchni kuli, która zachowuje się tak, jak cząstka elementarna, to znaczy oddziałuje z grawitonami tylko na swojej powierzchni. Na ten punkt materialny działa siła

$$F_{max} = \sqrt{\frac{2\pi G E_s}{c}}m. \text{ (patrz 3.2.)}$$

$$F_{max} = F_1.$$

$$\sqrt{\frac{2\pi G E_s}{c}}m = \sqrt{\frac{\pi h G \varrho_w}{2}}m\sqrt{\eta}$$

$$\eta = \frac{4E_s}{hc\varrho_w}$$

$$\eta = 2{,}01 \cdot 10^{53} E_s$$

$$E_s = 4{,}96 \cdot 10^{44}\,\frac{J}{m^2 s}$$

Jeżeli

$$\eta = 10^{98}\,\frac{1}{kg\, s},$$

to promień kuli oddziaływania grawitacyjnego, dla Układu Słonecznego, jest równy

$$R = 126\sqrt{\eta}\ \ m = 1{,}26 \cdot 10^{51}\ \ m\,.$$

$$R = 1{,}33 \cdot 10^{35} \text{ lat świetlnych}$$

Dla elementarnej cząstki materii o masie m i promieniu d jest prawdziwy wzór

$$\frac{d^2}{m} = \sqrt{\frac{2Gc}{\pi E_s}} \text{ (patrz 1.7.).}$$

Ponieważ

$$E_s = \frac{1}{4}hc\eta\varrho_w,$$

więc

$$d^2 = \sqrt{\frac{8G}{\pi h \eta \varrho_w}}m\,.$$

Dla elektronu

$$d_e^2 = 4{,}6 \cdot 10^{-54}\, m^2.$$

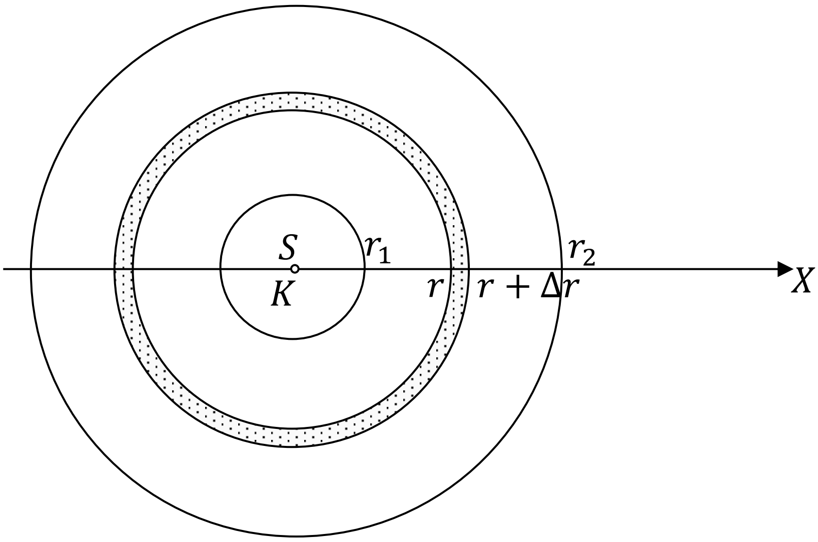
Promień elektronu

$$d_e = 1{,}5 \cdot 10^{-27}\ m$$

i jest znacznie większy od

$$w_e = \frac{Gm_e}{c^2} = 6{,}7 \cdot 10^{-58}\ m.$$

Weźmy materialną kulę K o masie m, środku w punkcie S i promieniu d znajdującą się daleko od innych ciał materialnych. Kula może być również cząstką elementarną, na przykład elektronem. Obliczmy ilość grawitonów Δn oddziałujących z kulą, w czasie Δt, które są emitowane oraz absorbowane przez kulistą warstwę materii i przestrzeni, ograniczoną sferami o środku w punkcie S i promieniach r i $r + \Delta r$. Czas, odległość i masa są mierzone przez ustalonego obserwatora O.



Rys. 4.3.2.

$$\Delta n = a_w \frac{\Delta V_{warstwy} \varrho_w m \eta^2}{r} \Delta t$$

$$\Delta V_{warstwy} = 4\pi r^2 \Delta r$$

$$\Delta n = a_w \frac{4\pi r^2 \Delta r}{r} m \varrho_w \eta^2 \Delta t$$

$$\Delta n = 4\pi a_w \eta^2 r \Delta r m \varrho_w \Delta t$$

Ilość grawitonów oddziałujących z kulą K i warstwą kulistą jest wprost proporcjonalna do odległości środka kuli od tej warstwy. W jednostce czasu z kulą oddziałuje

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = 4\pi a_w \eta^2 r \Delta r m \varrho_w$$

grawitonów.

Ilość grawitonów oddziałujących, w jednostce czasu, z kulą i warstwą kulistą o środku S i promieniach r_1 i r_2 ($r_1 < r_2$) jest równa

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = 4\pi a_w \eta^2 m \varrho_w \int_{r_1}^{r_2} x\, dx.$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = 2\pi a_w \eta^2 m \varrho_w (r_2^2 - r_1^2)$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = 2\pi \frac{G}{h} m \varrho_w (r_2^2 - r_1^2)$$

Masa elektronu

$$m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}\ kg\ .$$

$$m_e^* = m_e \eta$$

$$m_e^* = 9{,}11 \cdot 10^{67}\ \frac{1}{s}$$

Z elektronem oraz materią i przestrzenią, w czasie jednej sekundy, oddziałuje około $9{,}11 \cdot 10^{67}$ grawitonów. Dla elektronu

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = 2\pi \frac{G}{h} m_e \varrho_w (r_2^2 - r_1^2)\ .$$

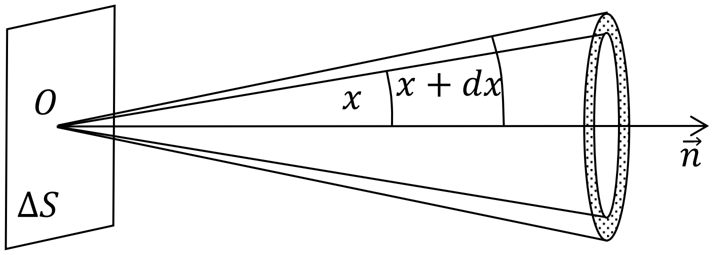
$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = 5{,}76 \cdot 10^{-35} (r_2^2 - r_1^2)$$

Ilość grawitonów oddziałujących, w jednostce czasu, z elektronem oraz przestrzenią i materią zawartą w kuli o promieniu r, której środkiem jest elektron, jest równa

$$\frac{\Delta N_r}{\Delta t} = 5{,}76 \cdot 10^{-35} r^2.$$

$r[m]$	10^{25}	10^{30}	10^{35}	10^{40}	10^{45}	10^{50}
$\frac{\Delta N_r}{\Delta t}\left[\frac{1}{s}\right]$	$6 \cdot 10^{15}$	$6 \cdot 10^{25}$	$6 \cdot 10^{35}$	$6 \cdot 10^{45}$	$6 \cdot 10^{55}$	$6 \cdot 10^{65}$

Obliczymy ciśnienie działające na powierzchnię kuli K, o masie m i promieniu d, wywierane przez grawitony oddziałujące z nią oraz przestrzenią i materią zawartą w warstwie kulistej, w czasie Δt.



Rys. 4.3.3.

Z elementem ΔS powierzchni kuli oddziałuje

$$\frac{\Delta S}{4\pi d^2}\Delta n$$

grawitonów. Te grawitony poruszają się pod różnymi kątami w stosunku do powierzchni ΔS, przy czym równomiernie z każdego kierunku.
Kąty bryłowe o wierzchołku w punkcie O odpowiadające kątowi x i $x + dx$ mają miary

$$\Gamma_x = 4\pi \sin^2 \frac{x}{2}$$

i

$$\Gamma_{x+dx} = 4\pi \sin^2 \frac{x+dx}{2}.$$

Miara kąta bryłowego o mierze Γ_{x+dx}, z którego wycięto kąt bryłowy o mierze Γ_x jest równa

$$\Delta\Gamma_{x+dx,x} = \Gamma_{x+dx} - \Gamma_x = 4\pi \left(\sin^2 \frac{x+dx}{2} - \sin^2 \frac{x}{2}\right).$$

$$\Delta\Gamma_{x+dx,x} = 4\pi \sin \frac{2x+dx}{2} \sin \frac{dx}{2}$$

$$\Delta\Gamma_{x+dx,x} = 2\pi \sin x \, dx$$

Z kąta bryłowego o mierze $\Delta\Gamma_{x+dx,x}$, w czasie Δt, z elementem ΔS oddziałuje

$$\frac{\Delta S}{4\pi d^2}\Delta n \frac{\Delta\Gamma_{x+dx,x}}{2\pi} = \frac{\Delta S}{4\pi d^2}\Delta n \sin x \, dx$$

grawitonów. Każdy grawiton przekazuje pęd

$$\frac{h}{r}$$

a jego składowa prostopadła do elementu powierzchni jest równa

$$\frac{h}{r}\cos x.$$

Do elementu powierzchni ΔS z kąta o mierze $\Delta\Gamma_{x+dx,x}$, w czasie Δt, jest przekazywany pęd

$$\frac{\Delta S}{4\pi d^2}\Delta n \sin x\, dx \frac{h}{r} \cos x.$$

Pęd przekazany przez wszystkie grawitony oddziałujące z tym elementem oraz przestrzenią i materią warstwy kulistej jest równy

$$\Delta p = \frac{\Delta S}{8\pi d^2}\Delta n \frac{h}{r}\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin 2x\, dx\ .$$

$$\Delta p = \frac{\Delta S}{8\pi d^2}\Delta n \frac{h}{r} \sin^2\frac{\pi}{2} = \frac{\Delta S}{8\pi d^2}\Delta n \frac{h}{r}$$

$$\Delta p = \frac{\Delta S}{8\pi d^2} 4\pi a_w \eta^2 r \Delta r m \varrho_w \Delta t \frac{h}{r}$$

$$\Delta p = \frac{\Delta S}{2d^2} a_w h \eta^2 m \varrho_w \Delta t \Delta r$$

$$\Delta p = \frac{\Delta S}{2d^2} G m \varrho_w \Delta t \Delta r$$

Pęd przekazywany do ΔS przez grawitony oddziałujące z tym elementem oraz materią i przestrzenią zawartą w kuli oddziaływania grawitacyjnego jest równy

$$p = \frac{\Delta S}{2d^2} G m \varrho_w \Delta t \int_0^R dr.$$

$$p = \frac{\Delta S}{2d^2} G m \varrho_w R \Delta t$$

Na element ΔS działa siła

$$F = \frac{\Delta S}{2d^2} G m \varrho_w R.$$

Ciśnienie q_g wywierane na powierzchnię kuli przez grawitony określa wzór

$$q_g = \frac{F}{\Delta S}.$$

$$q_g = \frac{1}{2d^2} G m \varrho_w R$$

$$R = \sqrt{\frac{h}{2\pi G\varrho_w}}\sqrt{\eta}$$

$$q_g = \sqrt{\frac{hG\varrho_w\eta}{2\pi}}\frac{m}{2d^2}$$

$$q_g = 4{,}19 \cdot 10^{12}\frac{m}{d^2}\ \frac{N}{m^2}$$

Jeżeli kula o masie m i promieniu d jest podobna do cząstki elementarnej, to jej masa może być określona wzorem

$$m = \sqrt{\frac{\pi E_s}{2Gc}}d^2.$$

Ciśnienie wywierane na jej powierzchnię przez grawitony jest równe

$$q_g = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{hG\varrho_w\eta}{2\pi}}\sqrt{\frac{\pi E_s}{2Gc}}\ .$$

$$E_s = \frac{1}{4}hc\varrho_w\eta$$

$$q_g = \frac{1}{8}h\varrho_w\eta$$

Dla każdej takiej kuli ciśnienie q_g nie zależy od masy kuli i jej wielkości. Jest to największe możliwe ciśnienie, jakie grawitony mogą wywierać na powierzchnię takiej kuli.

$$q_g = 8{,}3 \cdot 10^{35}\ \frac{N}{m^2}$$

Jest to bardzo duże ciśnienie, ale nie jest nieskończone. Nawet dla bardzo dużej masy kuli ciśnienie ma skończoną wartość, $q_g \leq 8{,}3 \cdot 10^{35}\ \frac{N}{m^2}$.

Ciśnienie $q_g = 8{,}3 \cdot 10^{35}\ \frac{N}{m^2}$ wywierane na powierzchnię elektronu przez grawitony chroni go przed rozpadem, jeżeli oddziaływania między elementami jego ładunku elektrycznego są odpowiednio mniejsze niż w prawie Coulomba.

Każda cząstka elementarna ma pewien średni poziom energii wewnętrznej, określony przez ilość grawitonów przez nią absorbowanych. Jeżeli cząstka elementarna ma energię wewnętrzną powyżej średniej, to ciśnienie wywierane przez grawitony na cząstkę jest za małe i cząstka emituje nadmiar swojej energii wewnętrznej przy pomocy grawitonów. Gdy energia wewnętrzna jest poniżej średniej wówczas cząstka emituje mniej grawitonów niż absorbuje i powiększa swoją energię.

Cząstki nieustannie absorbują grawitony powiększając swoją energię wewnętrzną, wobec tego muszą emitować grawitony dla jej zmniejszenia. W ten sposób funkcjonuje mechanizm stałej wymiany energii i pędu między elementarnymi cząstkami materii i przestrzeni.

Stabilne istnienie cząstek elementarnych materii jest możliwe dzięki ciśnieniu wywieranemu na nie przez grawitony. W przypadku braku tego ciśnienia cząstki uległy by destrukcji. Cząstka jest trwała, jeżeli występuje równowaga między ciśnieniem wewnętrznym, zależnym od jej energii wewnętrznej, oraz ciśnieniem zewnętrznym wywieranym przez grawitony. Jeżeli powstanie cząstka, w której ciśnienie wewnętrzne jest znacznie większe, niż ciśnienie wywierane przez grawitony, wówczas może ulec rozpadowi na inne zrównoważone cząstki i pozbywa się nadmiaru energii. Być może, dlatego mezony są cząstkami nietrwałymi.

Przyjmuje się, że siła grawitacji ma znaczenie w skali kosmosu, natomiast pomija się jej znaczenie dla cząstek elementarnych. Jest to błędny pogląd. Siła grawitacji jest ogromna zarówno w świecie gwiazd i galaktyk jak i w skali cząstek elementarnych. Gdyby nie było ciśnienia wywieranego na cząstki elementarne przez grawitony, to materia nie istniałaby w znanej nam postaci. Dzięki oddziaływaniu grawitacyjnemu istnieją gwiazdy i cząstki elementarne.

Czy woda w doświadczeniu Newtona z wiadrem podnosi się do góry przy brzegu wiadra, gdy wiadro wiruje również względem absolutnej, pustej przestrzeni? Jeżeli we Wszechświecie byłoby tylko wiadro z wodą, wówczas cząstki elementarne materii wody i wiadra uległy by rozpadowi ze względu na brak ciśnienia wywieranego przez grawitony na te cząstki. Wiadro i woda w takim świecie nie mogłoby istnieć, zatem pytanie, czy woda reaguje na obrót w pustej przestrzeni jest pozbawione sensu. Jeżeli w OTW wynika, że takie oddziaływanie jest możliwe, to jakieś jej założenie jest błędne. Błędne jest milczące założenie, że mogą istnieć cząstki materii w pustej przestrzeni.

Być może podczas grawitacyjnego zapodania się gwiazdy o bardzo dużej masie jej gęstość stanie się tak duża, że cząstki elementarne wewnątrz gwiazdy przestaną oddziaływać z zewnętrznymi cząstkami materii i przestrzeni. Powstanie gwiazda złożona tylko z kwarków, dla której zewnętrzne ciśnienie grawitacyjne jest równoważone przez ciśnienie degeneracji kwarków.

Prędkość światła blisko powierzchni takiej kuli o promieniu

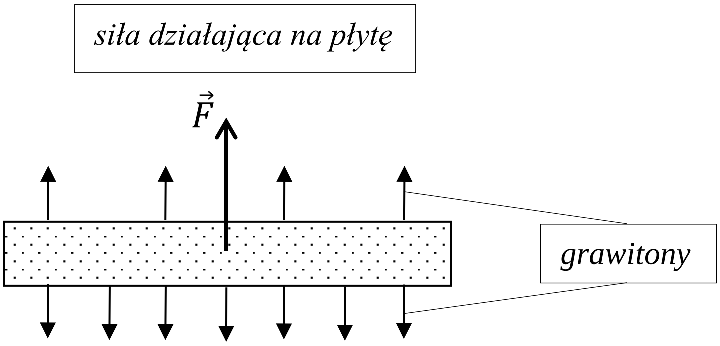
$$d' = \frac{Gm'}{c^2}$$

dla dalekiego obserwatora O' jest równa

$$c' \geq c\left(1 + \frac{Gm'}{c^2 d'}\right)^{-2} = \frac{1}{4}c > 0.$$

Fotony mogą opuszczać taką gwiazdę. W miarę oddalania od takiej gwiazdy ich energia maleje.

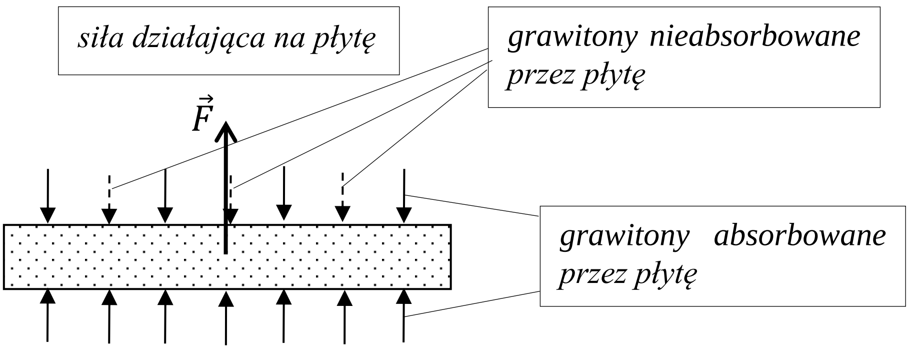
Materialna cząstka emituje grawitony równomiernie we wszystkich kierunkach przestrzeni. Jeżeli czynnik zewnętrzny spowoduje asymetrię tej emisji, wówczas na cząstkę działaby siła wynikająca z przekazywania jej niezerowego pędu przez emitowane grawitony. Przypuśćmy, że materialna płyta emituje więcej grawitonów z jednej swojej strony niż z drugiej.



Rys. 4. 3.4.

Otrzymalibyśmy w ten sposób silnik odrzutowy, którego działanie wymagałoby jedynie dostarczania energii dla podtrzymania takiej emisji.

Innym rodzajem takiego silnika byłaby płyta, która w większym stopniu absorbowała by grawitony dochodzące do niej z jednej strony niż z drugiej.



Rys. 4. 3.5.

Jaki czynnik może spowodować taką asymetryczną emisję lub absorpcję grawitonów?

Być może pole elektryczne powoduje taką asymetrię emisji lub absorpcji grawitonów i stąd efekt Biefelda-Browna.

4.4. Oszacowanie współczynników η, a_w i k_w

Wartości liczbowe współczynników możemy obliczyć z następującego układu równań.

$$k_w \eta = \frac{G}{c^2} \qquad G = a_w h \eta^2 \qquad k_w = \frac{G}{c^2 \eta}$$

$$a_w = \frac{G}{h\eta^2} \qquad k_w = \frac{\sqrt{Gh}}{c^2}\sqrt{a_w} \qquad k_w^2 = l_{Pl} \cdot t_{Pl} \cdot a_w$$

$$\frac{d_w}{D_w} = \frac{a_w}{k_w} \qquad \frac{d_w}{D_w} = \frac{c^2}{h \cdot \eta} \qquad \eta = 10^{98}\ \frac{1}{kg\ s}$$

$$a_w = 1{,}0 \cdot 10^{-173}\ m\ s \qquad k_w = 7{,}4 \cdot 10^{-126}\ m\ s$$

$$d_w = 10^{24}\ m \qquad \frac{d_w}{D_w} = 1{,}4 \cdot 10^{-48} \qquad D_w = 7{,}1 \cdot 10^{71}\ m$$

$$k_w \eta = 7{,}424267 \cdot 10^{-28}\ \frac{m}{kg}$$

Współczynniki k_w, a_w i D_w zależą od wyboru η, a więc ze zmianą wartości η mogą ulec zmianie. Natomiast wartość iloczynu $k_w \eta$ jest określona jednoznacznie. Ilość grawitonów oddziałujących w jednostce czasu z cząstką jest bardzo duża. Na przykład z elektronem w ciągu sekundy oddziałuje $9{,}11 \cdot 10^{67}$ grawitonów. Z tego powodu zmiana pędu oraz energii ciała wydaje się procesem ciągłym.

Weźmy dwie kule A i B o masach m_A i m_B, dla których odległość środków jest d. Z kulą A w czasie jednej sekundy oddziałuje

$$n_0 = \eta m_A$$

grawitonów. Ilość grawitonów, które nie oddziałują z kulą A ze względu na kulę B w czasie jednej sekundy, jest równa

$$n = \frac{\Delta N_{nA}}{\Delta t} = k_w \eta^2 \frac{m_A m_B}{d}.$$

Stosunek

$$\frac{n}{n_0} = k_w \eta \frac{m_B}{d} = \frac{G m_B}{c^2 d}.$$

Jeżeli $m_B = 1\ kg$, $d = 1\ m$, to $\frac{n}{n_0} = 7{,}4 \cdot 10^{-28}$, przy czym $n_0 = 10^{120}\ \frac{1}{s}$.

Dla $m_B = m_Z = 6{,}0 \cdot 10^{24}\ kg$ i $d = 6{,}4 \cdot 10^6\ m$ stosunek $\frac{n}{n_0}$, dla ciała o masie m_A umieszczonego na powierzchni Ziemi, jest równy $6{,}9 \cdot 10^{-10}$.

4.5. Oddziaływanie materii z cząstkami przestrzeni

Zakładam, że w zwykłych warunkach cząstki materii i przestrzeni są wymieszane ze sobą. Cząstki przestrzeni tworzą gaz, w którym zanurzone są cząstki materii. Cząstki przestrzeni i cząstki materii oddziałują ze sobą tylko za pośrednictwem grawitonów, ale cząstki przestrzeni (tak jak i cząstki materii) mogą oddziaływać ze sobą bez pośrednictwa grawitonów. Wzajemne oddziaływanie cząstek przestrzeni powoduje powstanie pewnego ciśnienia w przestrzeni.

Z cząstką przestrzeni oddziałują grawitony emitowane i absorbowane przez cząstki materii oraz cząstki przestrzeni całego Wszechświata, znajdujące się w odległości $d > d_w$ od tej cząstki. Jeżeli cząstka przestrzeni znajduje się w centralnej części Wszechświata, to suma pędów grawitonów z nią oddziałujących jest wektorem zerowym i z tego powodu nie działają na nią żadne siły. Na cząstki przestrzeni znajdujące się dalej od centrum Wszechświata działają siły RW pochodzące od materii i pozostałej przestrzeni, które starają się oddalić od siebie cząstki przestrzeni.

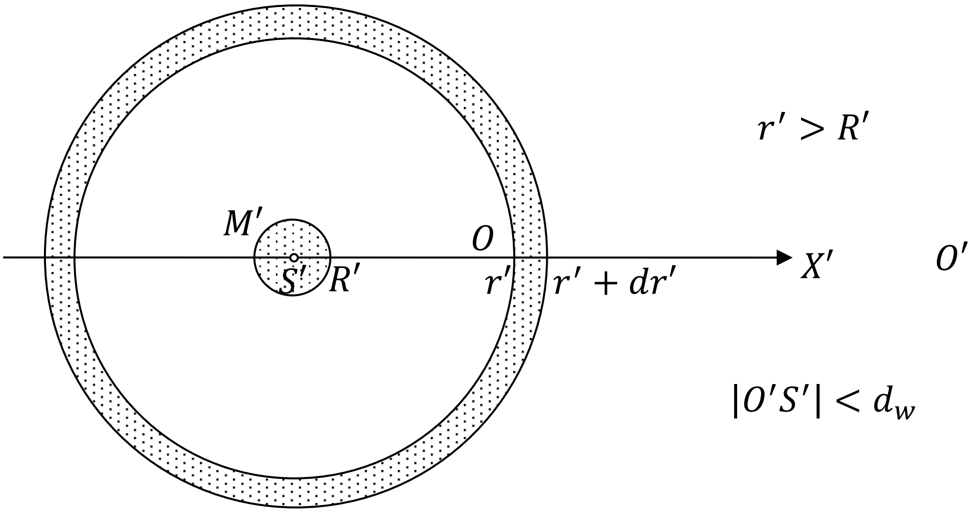
Jeżeli element objętości przestrzeni ΔV znajduje się w odległości r od ciała materialnego o masie M, to ich wzajemne oddziaływanie grawitacyjne może zmienić w tym elemencie ciśnienie i gęstość cząstek przestrzeni.

Zakładam, że stosunek ciśnienia q wytworzonego przez cząstki przestrzeni do gęstości ϱ_p tych cząstek jest stały dla każdego lokalnego obserwatora O. Przyjmuję, że

$$\sqrt{\frac{q}{\varrho_p}} = \frac{1}{\psi} c,$$

gdzie ψ jest stałym, bezwymiarowym współczynnikiem i c jest prędkością światła.

$$c = \psi \sqrt{\frac{q}{\varrho_p}}$$



Rys. 4.5.1.

Weźmy materialną kulę o masie M', o środku w punkcie S' i promieniu R', znajdującą się daleko od innych ciał materialnych oraz obserwatora O' daleko od S' i ciał materialnych. W odległości r od punktu S znajduje się element objętości ΔV, blisko którego znajduje się obserwator O. Jeżeli dla obserwatora O ciśnienie cząstek przestrzeni w elemencie ΔV jest równe q, to dla obserwatora O' ciśnienie w tym elemencie jest

$$q' = \frac{F'}{S'} = \frac{F\alpha^4}{S\alpha^2} = q\alpha^2,$$

gdzie

$$\alpha = \left(1 + \frac{GM'}{c^2 r'}\right)^{-1}.$$

$$q' = q\alpha^2$$

Gęstość cząstek przestrzeni w elemencie ΔV dla obserwatora O jest ϱ_p, natomiast dla obserwatora O' jest równa

$$\varrho_p' = \frac{m'}{\Delta V'} = \frac{m\alpha}{\Delta V \alpha^3} = \varrho_p \frac{1}{\alpha^2}.$$

$$\varrho_p' = \varrho_p \alpha^{-2}$$

Dla obserwatora O' mamy

$$c' = c\alpha^2 = \psi\sqrt{\frac{q}{\varrho_p}}\alpha^2 = \psi\sqrt{\frac{q'\alpha^{-2}}{\varrho_p'\alpha^2}}\alpha^2 = \psi\sqrt{\frac{q'}{\varrho_p'}}\,.$$

$$c' = \psi\sqrt{\frac{q'}{\varrho_p'}}$$

Dla obserwatora O' masa cząstek przestrzeni, znajdujących się w kulistej warstwie o środku S', promieniach r' i $r' + dr'$, jest określona wzorem

$$m_{pw}' = \varrho_p' V_{pw}',$$

gdzie ϱ_p' jest gęstością przestrzeni w tej warstwie i

$$V_{pw}' = 4\pi r'^2 dr'$$

objętością warstwy.

$$m_{pw}' = 4\pi r'^2 \varrho_p' dr'$$

Na warstwę kulistą działa siła

$$dF' = -\frac{G4\pi r'^2 \varrho_p' dr' M'}{r'^2}.$$

$$dF' = -4\pi G M' \varrho_p' dr'$$

Rzeczywista siła jest większa, ponieważ należałoby uwzględnić oddziaływanie grawitacyjne cząstek przestrzeni znajdujących się wewnątrz kuli o promieniu r'.

Zmiana ciśnienia w warstwie kulistej przy przejściu od r' do $r' + dr'$ jest

$$dq' = \frac{dF'}{4\pi r'^2}.$$

$$dq' = -\frac{4\pi G M' \varrho_p' dr'}{4\pi r'^2}$$

$$dq' = -\frac{G M' \varrho_p' dr'}{r'^2}$$

Ponieważ

$$\varrho_p' = \frac{\psi^2 q'}{c^2 \alpha^4},$$

więc

$$dq' = -\frac{\psi^2 G M' q'}{c^2 \alpha^4 r'^2} dr'.$$

Rozwiązujemy równanie różniczkowe o zmiennych rozdzielonych

$$\frac{dq'}{q'} = -\frac{\psi^2 G M'}{c^2 \alpha^4 r'^2} dr'.$$

$$\int \frac{dq'}{q'} = -\int \frac{\psi^2 G M'}{c^2 \alpha^4 r'^2} dr'$$

$$lnq' - lnC = -\psi^2 \int \frac{GM'}{c^2 r'^2}\left(1 + \frac{GM'}{c^2 r'}\right)^4 dr'$$

$$lnq' - lnC = \frac{1}{5}\psi^2 \left(1 + \frac{GM'}{c^2 r'}\right)^5$$

$$q'(r') = Ce^{\frac{1}{5}\psi^2\left(1+\frac{GM'}{c^2 r'}\right)^5}$$

dla

$$d_w' > r' > w' = \frac{GM'}{c^2}.$$

W pobliżu obserwatora O' ciśnienie cząstek przestrzeni jest

$$q'(O') = Ce^{\frac{1}{5}\psi^2} .$$

Gęstość przestrzeni jest równa

$$\varrho_p'(r') = C\,\frac{\psi^2}{c^2\alpha^4}\,e^{\frac{1}{5}\psi^2\left(1+\frac{GM'}{c^2r'}\right)^5} .$$

$$\varrho_p'(r') = C\,\frac{\psi^2}{c^2}\left(1+\frac{GM'}{c^2r'}\right)^4\,e^{\frac{1}{5}\psi^2\left(1+\frac{GM'}{c^2r'}\right)^5}$$

Gęstość przestrzeni w otoczeniu obserwatora O' jest równa

$$\varrho_p'(O') = C\,\frac{\psi^2}{c^2}\,e^{\frac{1}{5}\psi^2} = \varrho_p.$$

$$C = \frac{c^2}{\psi^2}\,e^{-\frac{1}{5}\psi^2}\,\varrho_p$$

Jeżeli przyjąć

$$\varrho_p'(O') = 5\cdot 10^{-29}\ \frac{kg}{m^3},$$

to

$$C = \frac{1}{\psi^2}\,e^{-\frac{1}{5}\psi^2}\cdot 4{,}49\cdot 10^{-12}\ \ \frac{N}{m^2} .$$

Ciśnienie

$$q'(O') = \frac{1}{\psi^2}\cdot 4{,}49\cdot 10^{-12}\ \ \frac{N}{m^2}.$$

$$q'(r') = \frac{c^2}{\psi^2}\,\varrho_p e^{\frac{1}{5}\psi^2\left[\left(1+\frac{GM'}{c^2r'}\right)^5-1\right]}$$

$$\varrho_p'(r') = \varrho_p\left(1+\frac{GM'}{c^2r'}\right)^4\,e^{\frac{1}{5}\psi^2\left[\left(1+\frac{GM'}{c^2r'}\right)^5-1\right]}$$

Jeżeli $\frac{GM'}{c^2r'}$ jest małe wówczas mamy następujące wzory.

$$q'(r') = \frac{c^2}{\psi^2}\,\varrho_p e^{\psi^2\frac{GM'}{c^2r'}}$$

$$\varrho_p'(r') = \varrho_p\left(1+\frac{4GM'}{c^2r'}\right)e^{\psi^2\frac{GM'}{c^2r'}}$$

Gdy odległość r' maleje wówczas ciśnienie q' jak również gęstość ϱ'_p rosną.

Jeżeli promień R' materialnej kuli zmniejsza się, to ciśnienie i gęstość cząstek przestrzeni na powierzchni tej kuli odpowiednio zwiększają się.

W skali całego Wszechświata przestrzeń, ze względu na panujące w niej ciśnienie i siły RW działające na cząstki przestrzeni, może się tylko rozszerzać, przy czym szybkość rozszerzania wzrasta wraz z upływem czasu.

W pobliżu materialnych obiektów znajduje się obszar, w którym gęstość cząstek przestrzeni jest większa niż jej wartość średnia. Słońce jest otoczone dość dużym obszarem podwyższonej gęstości cząstek przestrzeni, co powoduje niewielkie zwiększenie siły „przyciągania" działającej na planety; kula przestrzeni o zwiększonej gęstości oddziałuje grawitacyjnie podobnie jak materialna kula. Z tego powodu należy nieco zmodyfikować wzór na przyciąganie dwóch ciał, w prawie powszechnej grawitacji Newtona. Gęstość cząstek przestrzeni w tym obszarze maleje ze wzrostem odległości od Słońca, co dodatkowo komplikuje obliczanie siły działającej na planetę.

Duże obiekty materialne, takie jak galaktyki, są otoczone obszarem cząstek przestrzeni, w którym średnia gęstość cząstek przestrzeni może być znacznie większa w stosunku do średniej gęstości cząstek materii. Centralna część galaktyki o dużej gęstości materii „przyciąga" cząstki przestrzeni, co powoduje wzrost średniej łącznej gęstości materii i przestrzeni. To zwiększanie gęstości powoduje zwiększenie siły „przyciągania" i napływ nowych cząstek przestrzeni aż do wystąpienia równowagi między siłami grawitacji i ciśnieniem wewnętrznym przestrzeni. Galaktyka jest zanurzona w kuli przestrzeni, o dużej gęstości, znacznie większej niż sama galaktyka. Ta kula przestrzeni oddziałuje na ciała materialne znajdujące się wewnątrz niej. Wobec tego na gwiazdę znajdującą się w galaktyce działa siła pochodząca od materii, malejąca ze wzrostem odległości od środka i dodatkowa siła pochodząca od kuli przestrzeni. Wypadkowa tych sił jest większa, niż siła wynikająca z oddziaływania tylko samej materii znajdującej się w galaktyce. Gwiazdy znajdujące się blisko centrum galaktyki poruszają się po orbitach zgodnych z prawem powszechnej grawitacji, natomiast gwiazdy znajdujące się na obrzeżach galaktyki mogą poruszać się znacznie szybciej, niż wynika to z tego prawa.

Jeżeli

$$w' = \frac{GM'}{c^2}$$

i ϱ'_{0p} jest minimalną gęstością przestrzeni, to

$$\varrho'_p(r') = \varrho'_{0p}\left(1 + \frac{4w'}{r'}\right) e^{\psi^2 \frac{w'}{r'}}.$$

$$\varrho'_p(r') = \varrho'_{0p}\left(1 + \frac{4w'}{r'}\right)\left(e^{\frac{w'}{r'}}\right)^{\psi^2}$$

Jeżeli $\frac{w'}{r'}$ jest małe, to

$$\varrho'_p(r') = \varrho'_{0p}\left(1 + \frac{4w'}{r'}\right)\left(1 + \frac{w'}{r'}\right)^{\psi^2}.$$

$$\varrho'_p(r') = \varrho'_{0p}\left(1 + \frac{4w'}{r'}\right)\left(1 + \frac{\psi^2 w'}{r'}\right)$$

W dużym przybliżeniu

$$\varrho'_p(r') = \varrho'_{0p}\left(1 + \frac{(4+\psi^2)w'}{r'}\right).$$

Na powierzchni kuli o promieniu $R' > w'$ gęstość przestrzeni jest równa

$$\varrho'_p(R') = \varrho'_{0p}\left(1 + \frac{(4+\psi^2)w'}{R'}\right).$$

Zakładam, że wewnątrz tej kuli gęstość jest taka sama jak na jej powierzchni. Masa przestrzeni zawarta w tej kuli jest równa

$$m'_{pk} = \frac{4}{3}\pi {R'}^3 \varrho'_p(R').$$

$$m'_{pk} = \frac{4}{3}\pi \varrho'_{0p}\left[{R'}^3 + (4+\psi^2)w'{R'}^2\right]$$

Masa przestrzeni zawarta w warstwie kulistej, o promieniach R' i $r' > R'$, jest równa

$$m'_{ppk} = \int_{R'}^{r'} \varrho'_p(r') 4\pi {r'}^2\, dr'.$$

$$m'_{ppk} = \frac{2}{3}\pi \varrho'_{0p}\left(2{r'}^3 - 2{R'}^3 + 3(4+\psi^2)w'{r'}^2 - 3(4+\psi^2)w'{R'}^2\right)$$

Masa przestrzeni w kuli o promieniu r' jest równa

$$m'_p = m'_{pk} + m'_{ppk}.$$

$$m'_p = \frac{2}{3}\pi \varrho'_{0p}\left(2{r'}^3 + 3(4+\psi^2)w'{r'}^2 - (4+\psi^2)w'{R'}^2\right)$$

Na punkt materialny o masie m', znajdujący się w odległości r' od środka kuli, działa siła „przyciągania" F'_P wywierana przez nadwyżkę masy przestrzeni m'_n zawartej w tej kuli ponad wartość minimalną

$$\frac{4}{3}\pi\varrho'_{0p}{r'}^3.$$

$$m'_n = \frac{2}{3}\pi\varrho'_{0p}\left(3(4+\psi^2)w'{r'}^2 - (4+\psi^2)w'{R'}^2\right)$$

$$m'_n = 2\pi\varrho'_{0p}(4+\psi^2)w'\left({r'}^2 - \frac{1}{3}{R'}^2\right)$$

$$F'_P = 2\pi Gm'\,\varrho'_{0p}(4+\psi^2)w'\left(1 - \frac{{R'}^2}{3{r'}^2}\right)$$

dla

$$r' > R'\,.$$

$$F'_P = 2\pi\frac{G^2}{c^2}M'm'\,\varrho'_{0p}(4+\psi^2)\left(1 - \frac{{R'}^2}{3{r'}^2}\right)$$

Na ten punkt materialny działa również siła „przyciągania", pochodząca od masy kuli, określona wzorem

$$F' = \frac{GM'm'}{{r'}^2}.$$

Stosunek tych sił jest równy

$$\frac{F'_P}{F'} = 2\pi\frac{G}{c^2}\varrho'_{0p}(4+\psi^2)\left(1 - \frac{{R'}^2}{3{r'}^2}\right){r'}^2\,.$$

$$\frac{F'_P}{F'} = 2\pi\frac{G}{c^2}\varrho_p(4+\psi^2)\left(1 - \frac{{R'}^2}{3{r'}^2}\right){r'}^2$$

Stosunek $\frac{F'_P}{F'}$ nie zależy od masy kuli i jest wprost proporcjonalny do średniej gęstości materii. Dla małych r' siła F'_P ma niewielkie znaczenie, dla dużych r' siła F'_P może być znacznie większa od F'. Gdyby w przestrzeni istniała tylko jedna materialna kula, to siła F'_P byłaby praktycznie stała w całym Wszechświecie. W rzeczywistości obok jednego materialnego ciała istnieją inne, co powoduje, że gęstość przestrzeni w pewnej odległości r'_{max} od kuli staje się minimalna i nadwyżka masy przestrzeni ponad minimalną jest równa zero. Dla odległości $r' > r'_{max}$ masa m'_n jest stała.

$$m'_n = 2\pi\varrho'_{0p}(4+\psi^2)w'\left({r'_{max}}^2 - \frac{1}{3}{R'}^2\right)$$

Dla odległości $r' > r'_{max}$ siła F'_P zmienia się zgodnie z prawem powszechnej grawitacji. Można przyjąć, że r'_{max} jest równe $\frac{1}{4}$ średniej odległości między ciałami. Dla gwiazd w naszej galaktyce ta odległość jest stosunkowo duża, dla galaktyk niewielka.

Weźmy kulę o masie

$$M' = 10^9 \text{ } mas\ Słońca = 2\cdot 10^{39}\ kg$$

i promieniu

$$R' = 10^4 \text{ } lat\ świetlnych = 9\cdot 10^{19}\ m\ .$$

W odległości

$$r' = 5\cdot 10^4 \text{ } lat\ świetlnych = 4{,}5\cdot 10^{20}\ m$$

od środka kuli stosunek

$$\frac{F'_P}{F'} = 4{,}6\cdot 10^{-55}(4+\psi^2){r'}^2\ .$$

Przypuśćmy, że

$$(4+\psi^2) = 10^{14}.$$

Wówczas

$$\frac{F'_P}{F'} = 2{,}3\cdot 10^{-41}{r'}^2.$$

$$F'_P = 4{,}6F'$$

Całkowita siła działająca na punkt materialny znajdujący się w odległości r' jest równa $F'_C = F' + F'_P = 5{,}6F'$. Na podstawie ruchu gwiazdy znajdującej się w odległości r' od kuli możemy dojść do wniosku, że masa kuli jest prawie 6 razy większa niż w rzeczywistości.

$r'\ [l.y.]$	$2\cdot 10^4$	$3\cdot 10^4$	$4\cdot 10^4$	$5\cdot 10^4$	$6\cdot 10^4$	$7\cdot 10^4$
F'_C	$1{,}7\cdot F'$	$2{,}6\cdot F'$	$4{,}0\cdot F'$	$5{,}6\cdot F'$	$8{,}7\cdot F'$	$10{,}1\cdot F'$

Dla większych odległości od środka kuli oddziaływanie grawitacyjne innych ciał może zmienić gęstość przestrzeni i siła F'_C może się zmieniać w inny sposób, niż dla mniejszych odległości. W centrum galaktyki ruchy gwiazd są określone prawem powszechnej grawitacji, ponieważ wpływ przestrzeni na nie jest niewielki. Natomiast w większych odległościach od środka ruch gwiazdy jest bardzo skomplikowany, ponieważ oprócz rozkładu materii w galaktyce należy uwzględnić rozkład gęstości przestrzeni, który zależy nie tylko od samej galaktyki, ale również od innych galaktyk.

Dla Układu Słonecznego wpływ przestrzeni jest niewielki.

Masa Słońca

$$M' = 2 \cdot 10^{30} \ \ kg \ \ ,$$

promień

$$R' = 6{,}96 \cdot 10^{8} \ \ m.$$

Dla Ziemi

$$r' = 1{,}49 \cdot 10^{11} \ m,$$

$$\frac{F_P'}{F'} = 2{,}3 \cdot 10^{-26} \varrho_{0p}' r'^2 = 5{,}1 \cdot 10^{-19}.$$

Dla Neptuna

$$\frac{F_P'}{F'} = 4{,}6 \cdot 10^{-16}.$$

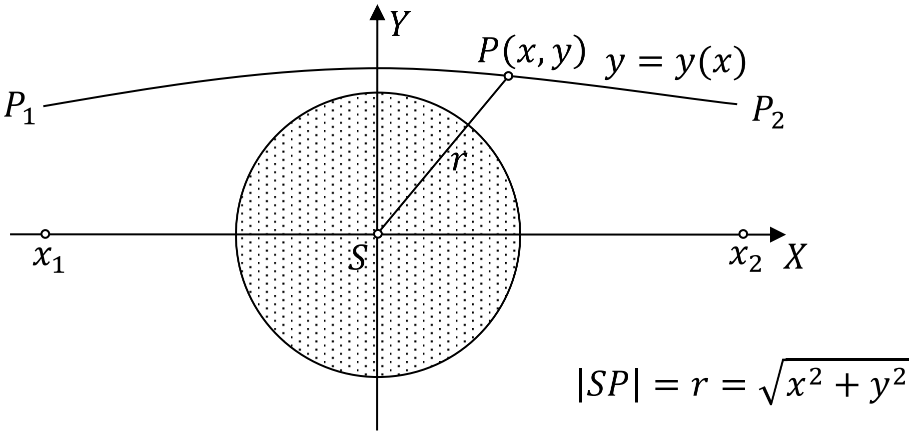
Rozdział 5

5.1. Zakrzywienie promieni świetlnych w pobliżu Słońca

Foton poruszający się blisko Słońca zmienia swoją prędkość. Powoduje to zakrzywienie jego toru. Środek Słońca znajduje się w punkcie S układu $SXYZ$. Ruch fotonu wyznacza obserwator O' znajdujący się daleko od Słońca i innych ciał. Foton porusza się w płaszczyźnie SXY przechodzącej przez środek Słońca.

Dla uproszczenia zapisu układ $O'X'Y'Z'$ został przesunięty tak, że pokrywa się z układem $SXYZ$. Stąd jednostki długości na osiach układu $SXYZ$ są takie same jak dla układu $O'X'Y'Z'$. Masa Słońca jest równa M.

Ze względu na zmianę prędkości światła tor ruchu fotonu jest taki, aby czas przejścia z punktu P_1 do punktu P_2 był najkrótszy.



Rys. 5.1.1.

Dla obserwatora O' prędkość światła w układzie $SXYZ$ jest określona wzorem

$$c' = c\left(1 + \frac{w}{r}\right)^{-2}$$

gdzie

$$w = \frac{GM}{c^2}.$$

Jeżeli tor ruchu jest określony równaniem $y = y(x)$, to czas w jakim światło przejdzie z punktu P_1 do punktu P_2 jest określony następującym wzorem

$$t_{P_1P_2} = \int_{x_1}^{x_2} \frac{\sqrt{1+y'^2}}{c'}\, dx.$$

$$t_{P_1P_2} = \int_{x_1}^{x_2} \frac{\sqrt{1+y'^2}}{c\left(1+\frac{w}{\sqrt{x^2+y^2}}\right)^{-2}}\, dx$$

Funkcja podcałkowa ma postać

$$F(x,y,y') = \frac{\sqrt{1+y'^2}}{c}\left(1+\frac{w}{\sqrt{x^2+y^2}}\right)^2.$$

Aby określić tor ruchu światła należy znaleźć krzywą

$$y = y(x),$$

dla której funkcjonał

$$t_{P_1P_2} = \int_{x_1}^{x_2} F(x,y,y')dx$$

przyjmuje wartość najmniejszą. Warunkiem koniecznym, istnienia ekstremum takiego funkcjonału, jest spełnienie równania

$$F_y - F_{xy'} - F_{yy'}y' - F_{y'y'}y'' = 0\ .$$

Obliczenia pochodnych cząstkowych dają następujące wyniki.

$$F_y = -\frac{2wy\sqrt{1+y'^2}\left(\sqrt{x^2+y^2}+w\right)}{c(x^2+y^2)^2}$$

$$F_{y'} = \frac{y'\left(\sqrt{x^2+y^2}+w\right)^2}{c\sqrt{1+y'^2}(x^2+y^2)}$$

$$F_{xy'} = -\frac{2wxy'\left(\sqrt{x^2+y^2}+w\right)}{c\sqrt{1+y'^2}(x^2+y^2)^2}$$

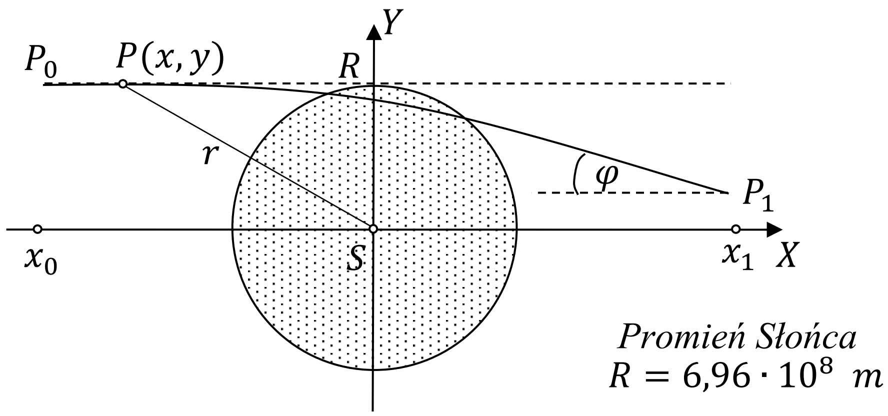
$$F_{yy'} = -\frac{2wyy'\left(\sqrt{x^2+y^2}+w\right)}{c\sqrt{1+y'^2}(x^2+y^2)^2}$$

$$F_{y'y'} = \frac{\left(\sqrt{x^2+y^2}+w\right)^2}{c(x^2+y^2)(1+y'^2)\sqrt{1+y'^2}}$$

Po podstawieniu do warunku koniecznego istnienia ekstremum funkcjonału otrzymujemy równanie różniczkowe zwyczajne rzędu drugiego.

$$y'' = \frac{2w(xy'-y)(1+y'^2)}{(x^2+y^2)\left(\sqrt{x^2+y^2}+w\right)}$$

Równanie określa tor fotonu $y = y(x)$ jako wynik zmiany prędkości światła.



Rys. 5.1.2.

Odchylenie toru fotonu, przebiegającego blisko Słońca, od prostej zostało obliczone przy pomocy programu napisanego w Borland C++.

```
#include <iostream.h>
#include <math.h>
#include <conio.h>
long int N,i;
long double x,y,x1,y1,r,R,M,G,c,d,dx,czas,w,u,z,od;
 int main()
{
   clrscr();
   N=10000; R=6.96e8; M=1.989e30; G=6.67259e-11; c=2.99792458e8;
   czas=1200.0; d=c*czas; dx=d/N; w=G*M/(c*c);
   x=-d/2; y=R; r=sqrt(x*x+y*y); u=0;                // wartości początkowe
       for(i=1;i<N+1;i++)
       {
           if(i==N)
          {
              x1=x; y1=y;
           }
           z=2*w*(x*u-y)*(1+u*u)/(r*r*(r+w));       // z = y''(x)
           x=-d/2+i*dx;
           y=y+u*dx+0.5*z*dx*dx;
           u=u+z*dx;                                // u = y'(x)
           r=sqrt(x*x+y*y);
        }
     od=(y-y1)/(x-x1); cout<<"   N="<<N<<endl;
     cout<<"odchylenie="<<-od*180*3600/3.141592;
     getch();
     return 0;
}
```

W programie przyjęto, że w chwili początkowej foton jest w odległości 600 s świetlnych od Słońca i porusza się wzdłuż stycznej do jego powierzchni. Czas ruchu fotonu jest równy 1200 s. Odległość $d = 1200c\ m$ podzielono na N równych części. Argument x zmienia się od $x_0 = -\frac{d}{2}\ m$ do $x_1 = \frac{d}{2}\ m$. Warunki początkowe $y(x_0) = R, y'(x_0) = 0$. Wartość $\varphi = -y'(x_1)$ jest odchyleniem, w radianach, promienia światła od toru prostoliniowego. Na początku pętli for obliczane są nowe współrzędne fotonu. Następnie przyjmowane są nowe warunki początkowe do kolejnego kroku obliczeniowego. Końcowe odchylenie biegu światła jest w sekundach kątowych. Wyniki działania programu przedstawia tabela.

Ilość kroków N	200	400	800	1000	2000	10000
Odchylenie	2,5255"	1,8316"	1,7514"	1,75058"	1,7505"	1,7505"

Dalsze powiększanie wartości N daje stale wartość $\varphi = 1{,}7505''$.

Jeżeli w równaniu przyjmiemy $y' = 0$, wartość $w = 0$ w wyrażeniu $\left(\sqrt{x^2 + y^2} + w\right)$ i $y = R$, to otrzymamy uproszczone równanie

$$y'' = \frac{-2wR}{(x^2+R^2)^{\frac{3}{2}}}.$$

$$y' = -2wR \int \frac{1}{(x^2+R^2)^{\frac{3}{2}}} dx$$

$$y' = -2wR \frac{x}{R^2(x^2+R^2)^{\frac{1}{2}}} + C$$

$$y' = -2w \frac{x}{R(x^2+R^2)^{\frac{1}{2}}} + C$$

Ponieważ

$$y'\left(-\frac{d}{2}\right) = 0,$$

więc

$$C = \frac{-2wd}{R(d^2+4R^2)^{\frac{1}{2}}}.$$

$$y'\left(\frac{d}{2}\right) = \frac{-4wd}{R(d^2+4R^2)^{\frac{1}{2}}}$$

R jest bardzo małe w stosunku do $\frac{d}{2}$. Stąd

$$y'\left(\frac{d}{2}\right) = \frac{-4wd}{Rd} = \frac{-4w}{R}.$$

Podstawiając

$$w = \frac{GM}{c^2}$$

otrzymujemy

$$y'\left(\frac{d}{2}\right) = \frac{-4GM}{Rc^2}.$$

Odchylenie

$$\varphi = -y'\left(\frac{d}{2}\right) = \frac{4GM}{Rc^2}.$$

$$\varphi = 8{,}4867 \cdot 10^{-6}\ rad = 1{,}7505''$$

W otoczeniu Słońca zmieniają się własności przestrzeni, co powoduje zmianę prędkości fotonu poruszającego się blisko jego powierzchni. Z tego powodu foton przebiegający w pobliżu Słońca porusza się po torze krzywoliniowym ale nie w wyniku oddziaływania grawitacyjnego. Fotony nie oddziałują z grawitonami. Masa grawitacyjna fotonu jest równa zero.

Stwierdzenie, w OTW, że każda energia oddziałuje grawitacyjnie jest nieprawdziwe. Na przykład energia kinetyczna ciała, niezależnie od jej wielkości, nie zmienia masy grawitacyjnej ciała. Można napisać, że masa fotonu jest równa

$$m = \frac{h\nu}{c^2},$$

ale to nie oznacza, że to jest masa grawitacyjna.

Jeżeli cząstka ma masę grawitacyjną m, to z tą cząstką jest związana energia

$$E = mc^2.$$

Natomiast nie jest prawdą, że każdej energii odpowiada masa grawitacyjna

$$m = \frac{E}{c^2}.$$

Na przykład energii kinetycznej cząstki nie odpowiada żadna masa grawitacyjna.

5.2. Ruch planety dookoła Słońca

Pierwszy sposób wyznaczania orbity planety.

Dla obserwatora O', znajdującego się daleko od Słońca, planety i innych ciał materialnych, masa planety i tempo upływu czasu zależą od miejsca przestrzeni, w którym te wielkości są mierzone. Ruch planety dookoła Słońca jest swobodnym spadkiem jednego ciała na drugie wobec tego dla obserwatora O' ich masy pozostają stałe. Pędy tych ciał zmieniają się w zależności od odległości r między nimi. Ruch planety wyznacza obserwator O' w układzie $O'X'Y'Z'$. Dla uproszczenia zapisu układ $O'X'Y'Z'$ został przesunięty tak, że pokrywa się z układem $S'X'Y'Z'$. Stąd jednostki długości na osiach układu $S'X'Y'Z'$ są takie same jak dla układu $O'X'Y'Z'$. Niech m' i M' oznaczają odpowiednio masę grawitacyjną planety $\tilde{P}$ i masę Słońca $\tilde{S}$, mierzone przez obserwatora O'. Masa bezwładna planety

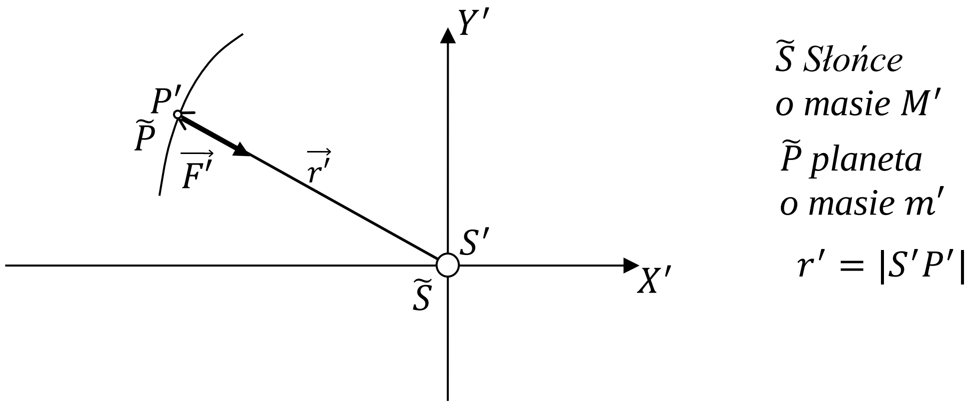
$$m_b' = \frac{m'}{\beta},$$

gdzie

$$\beta = \sqrt{1 - \frac{v'^2}{c'^2}}\ .$$

Ruch planety jest jej swobodnym spadkiem na Słońce, dlatego $m_b' = const.$. Prędkość planety jest stosunkowo niewielka i możemy przyjąć $\beta = 1 - \frac{v'^2}{2c'^2}$.

Dla planety Merkury $\beta = 1 - 1{,}4 \cdot 10^{-8}$. Dla pozostałych planet β jest jeszcze bliższa liczbie jeden.



Rys. 5.2.1.

Równanie ruchu planety w układzie $S'X'Y'Z'$, ma postać (patrz 3.4.)

$$\frac{d}{dt'}\left(\alpha^{-3} m_b' \vec{v'}\right) = -\alpha^{-3} G \frac{m'M'}{r'^3} \vec{r'}.$$

Współczynnik

$$\alpha = \left(1 + \frac{w'}{r'}\right)^{-1}$$

i

$$w' = \frac{GM'}{c^2} \ .$$

Ponieważ m_b' jest dla planety wielkością stałą, więc równanie ma postać

$$\frac{m'}{\beta}\frac{d}{dt'}\left(\left(1+\frac{w'}{r'}\right)^3\frac{d\overrightarrow{r'}}{dt'}\right) = -\left(1+\frac{w'}{r'}\right)^3 G\,\frac{m'M'}{r'^3}\overrightarrow{r'}$$

$$\frac{d}{dt'}\left(\left(1+\frac{w'}{r'}\right)^3\frac{d\overrightarrow{r'}}{dt'}\right) = -\left(1+\frac{w'}{r'}\right)^3 \beta\,\frac{GM'}{r'^3}\overrightarrow{r'}$$

Współczynnik β jest bardzo bliski jeden. W dalszym ciągu przyjmuję $\beta = 1$.

$$\frac{d}{dt'}\left(\left(1+\frac{w'}{r'}\right)^3\frac{d\overrightarrow{r'}}{dt'}\right) = -\left(1+\frac{w'}{r'}\right)^3 \frac{GM'}{r'^3}\overrightarrow{r'}$$

Dla uproszczenia zapisu zamiast t', r', w', M' będę pisał odpowiednio t, r, w, M.

$$-3\left(1+\frac{w}{r}\right)^2\frac{w}{r^2}\frac{dr}{dt}\frac{d\vec{r}}{dt} + \left(1+\frac{w}{r}\right)^3\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = -\left(1+\frac{w}{r}\right)^3\frac{GM}{r^3}\vec{r}$$

$$\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \frac{3w}{\left(1+\frac{w}{r}\right)r^2}\frac{dr}{dt}\frac{d\vec{r}}{dt} - \frac{GM}{r^3}\vec{r}$$

$$\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \frac{3w}{r(r+w)}\frac{dr}{dt}\frac{d\vec{r}}{dt} - \frac{GM}{r^3}\vec{r}$$

We współrzędnych kartezjańskich ruch planety dookoła Słońca wyznacza rozwiązanie $x = x(t)$, $y = y(t)$ układu równań różniczkowych.

$$\begin{cases} \dfrac{d^2x}{dt^2} = \dfrac{3w}{r(r+w)}\dfrac{dr}{dt}\dfrac{dx}{dt} - \dfrac{GM}{r^3}x \\ \dfrac{d^2y}{dt^2} = \dfrac{3w}{r(r+w)}\dfrac{dr}{dt}\dfrac{dy}{dt} - \dfrac{GM}{r^3}y \end{cases}$$

Po pomnożeniu pierwszego równania przez $-y$ oraz drugiego przez x i dodaniu stronami otrzymujemy równanie.

$$\left(-y\frac{d^2x}{dt^2} + x\frac{d^2y}{dt^2}\right) = \frac{3w}{r(r+w)}\frac{dr}{dt}\left(-y\frac{dx}{dt} + x\frac{dy}{dt}\right)$$

$$\frac{d}{dt}\left(-y\frac{dx}{dt} + x\frac{dy}{dt}\right) = \frac{3w}{r(r+w)}\frac{dr}{dt}\left(-y\frac{dx}{dt} + x\frac{dy}{dt}\right)$$

We współrzędnych biegunowych $x = r\cos\varphi$, $y = r\sin\varphi$.

$$\frac{dx}{dt} = \frac{dr}{dt}\cos\varphi - r\sin\varphi\frac{d\varphi}{dt}$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{dr}{dt}\sin\varphi + r\cos\varphi\frac{d\varphi}{dt}$$

$$-y\frac{dx}{dt} + x\frac{dy}{dt} = r^2\frac{d\varphi}{dt}$$

$$\frac{d}{dt}\left(r^2\frac{d\varphi}{dt}\right) = \frac{3w}{r(r+w)}\frac{dr}{dt}r^2\frac{d\varphi}{dt}$$

$$\frac{d}{dr}\left(r^2\frac{d\varphi}{dt}\right)\frac{dr}{dt} = \frac{3w}{r(r+w)}\frac{dr}{dt}r^2\frac{d\varphi}{dt}$$

$$\frac{\frac{d}{dr}\left(r^2\frac{d\varphi}{dt}\right)}{r^2\frac{d\varphi}{dt}} = \frac{3}{r} - \frac{3}{r+w}$$

$$\frac{d}{dr}\left[ln\left(r^2\frac{d\varphi}{dt}\right)\right] = \frac{3}{r} - \frac{3}{r+w}$$

$$ln\left(r^2\frac{d\varphi}{dt}\right) = \int\left(\frac{3}{r} - \frac{3}{r+w}\right)dr$$

$$ln\left(r^2\frac{d\varphi}{dt}\right) = ln\left[\left(\frac{r}{r+w}\right)^3 P\right]$$

$$r^2\frac{d\varphi}{dt} = \frac{r^3P}{(r+w)^3}$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{rP}{(r+w)^3}$$

Stała P jest w przybliżeniu podwojoną prędkością polową planety.

Układ równań

$$\begin{cases} \dfrac{d^2x}{dt^2} = \dfrac{3w}{r(r+w)}\dfrac{dr}{dt}\dfrac{dx}{dt} - \dfrac{GM}{r^3}x \\ \dfrac{d^2y}{dt^2} = \dfrac{3w}{r(r+w)}\dfrac{dr}{dt}\dfrac{dy}{dt} - \dfrac{GM}{r^3}y \end{cases}$$

mnożymy odpowiednio przez $2\frac{dx}{dt}$ oraz $2\frac{dy}{dt}$ i dodajemy stronami.

$$2\frac{dx}{dt}\frac{d^2x}{dt^2}+2\frac{dy}{dt}\frac{d^2y}{dt^2}=\frac{6w}{r(r+w)}\frac{dr}{dt}\left[\left(\frac{dx}{dt}\right)^2+\left(\frac{dy}{dt}\right)^2\right]-\frac{GM}{r^3}\left(2x\frac{dx}{dt}+2y\frac{dy}{dt}\right)$$

$$\frac{d}{dt}\left[\left(\frac{dx}{dt}\right)^2+\left(\frac{dy}{dt}\right)^2\right]=\frac{6w}{r(r+w)}\frac{dr}{dt}\left[\left(\frac{dx}{dt}\right)^2+\left(\frac{dy}{dt}\right)^2\right]-\frac{GM}{r^3}\frac{d}{dt}(x^2+y^2)$$

Dla współrzędnych biegunowych

$$\left(\frac{dx}{dt}\right)^2+\left(\frac{dy}{dt}\right)^2=\left(\frac{dr}{dt}\right)^2+r^2\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2$$

oraz

$$x^2+y^2=r^2.$$

Wprowadźmy oznaczenie

$$z=\left(\frac{dr}{dt}\right)^2+r^2\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2.$$

$$\frac{dz}{dt}=\frac{6w}{r(r+w)}\frac{dr}{dt}z-\frac{GM}{r^3}\frac{d}{dt}(r^2)$$

$$\frac{dz}{dt}=\frac{6w}{r(r+w)}\frac{dr}{dt}z-\frac{2GM}{r^2}\frac{dr}{dt}$$

$$\frac{dz}{dr}\frac{dr}{dt}=\frac{6w}{r(r+w)}\frac{dr}{dt}z-\frac{2GM}{r^2}\frac{dr}{dt}$$

Otrzymujemy równanie liniowe

$$\frac{dz}{dr}=\frac{6w}{r(r+w)}z-\frac{2GM}{r^2}.$$

Rozwiązujemy równanie jednorodne

$$\frac{dz}{dr}=\frac{6w}{r(r+w)}z.$$

$$\frac{dz}{z}=6\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{r+w}\right)dr$$

$$ln\,z=6ln\frac{r}{r+w}+lnK$$

$$z=\frac{r^6}{(r+w)^6}K$$

Uzmienniamy stałą K i rozwiązujemy równanie liniowe niejednorodne.

$$z = K(r)\frac{r^6}{(r+w)^6}$$

$$\frac{dz}{dr} = \frac{dK}{dr}\frac{r^6}{(r+w)^6} + \frac{6Kwr^5}{(r+w)^7}$$

$$\frac{dK}{dr}\frac{r^6}{(r+w)^6} + \frac{6Kwr^5}{(r+w)^7} = \frac{6w}{r(r+w)}K\frac{r^6}{(r+w)^6} - \frac{2GM}{r^2}$$

$$\frac{dK}{dr}\frac{r^6}{(r+w)^6} = -\frac{2GM}{r^2}$$

$$\frac{dK}{dr} = -\frac{2GM(r+w)^6}{r^8}$$

$$\frac{dK}{dr} = -2GM\left(\frac{1}{r^2} + \frac{6w}{r^3} + \frac{15w^2}{r^4} + \frac{20w^3}{r^5} + \frac{15w^4}{r^6} + \frac{6w^5}{r^7} + \frac{w^6}{r^8}\right)$$

Pomijam wyraz

$$\frac{15w^2}{r^4}$$

i następne, jako bardzo małe.

$$\frac{dK}{dr} = -2GM\left(\frac{1}{r^2} + \frac{6w}{r^3}\right)$$

$$K = \frac{2GM}{r} + \frac{6GMw}{r^2} + E$$

Rozwiązanie ma postać

$$z = \left(\frac{2GM}{r} + \frac{6GMw}{r^2} + E\right)\frac{r^6}{(r+w)^6} .$$

$$\left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + r^2\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 = \left(\frac{2GM}{r} + \frac{6GMw}{r^2} + E\right)\frac{r^6}{(r+w)^6}$$

$$\left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + r^2\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 = \left(\frac{dr}{d\varphi}\right)^2\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 + r^2\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 = \left[\left(\frac{dr}{d\varphi}\right)^2 + r^2\right]\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2$$

$$\left[\left(\frac{dr}{d\varphi}\right)^2 + r^2\right]\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 = \left(\frac{2GM}{r} + \frac{6GMw}{r^2} + E\right)\frac{r^6}{(r+w)^6}$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{rP}{(r+w)^3}$$

$$\left[\left(\frac{dr}{d\varphi}\right)^2 + r^2\right]\frac{r^2P^2}{(r+w)^6} = \left(\frac{2GM}{r} + \frac{6GMw}{r^2} + E\right)\frac{r^6}{(r+w)^6}$$

$$\left(\frac{dr}{d\varphi}\right)^2 + r^2 = \left(\frac{2GM}{r} + \frac{6GMw}{r^2} + E\right)\frac{r^4}{P^2}$$

Podstawmy

$$r = \frac{1}{u},$$

$$\frac{dr}{d\varphi} = -\frac{1}{u^2}\frac{du}{d\varphi}.$$

$$\left(\frac{du}{d\varphi}\right)^2 + u^2 = (2GMu + 6GMwu^2 + E)\frac{1}{P^2}$$

$$\left(\frac{du}{d\varphi}\right)^2 + u^2 = \frac{2GM}{P^2}u + \frac{6GMw}{P^2}u^2 + \frac{E}{P^2}$$

Odpowiednie równanie w teorii Newtona ma postać

$$\left(\frac{du}{d\varphi}\right)^2 + u^2 = \frac{2GM}{P^2}u + \frac{E}{P^2}\,.$$

$$\left(\frac{du}{d\varphi}\right)^2 = -\left(1 - \frac{6GMw}{P^2}\right)u^2 + \frac{2GM}{P^2}u + \frac{E}{P^2}$$

Oznaczmy

$$q = \sqrt{1 - \frac{6GMw}{P^2}}\,.$$

Dla orbity newtonowskiej $q = 1$.

$$\left(\frac{du}{d\varphi}\right)^2 = -q^2u^2 + \frac{2GM}{P^2}u + \frac{E}{P^2}$$

Szukam rozwiązania tego równania w postaci $u = a + b\cos q\varphi$.

$$\frac{du}{d\varphi} = -bq\sin q\varphi$$

$$(-bq\sin q\varphi)^2 = -q^2(a + b\cos q\varphi)^2 + \frac{2GM}{P^2}(a + b\cos q\varphi) + \frac{E}{P^2}$$

$$L = b^2q^2 - b^2q^2\,cos^2\,q\varphi$$

$$P = -q^2a^2 - 2abq^2 \cos q\varphi - q^2b^2 \cos^2 q\varphi + \frac{2GMa}{P^2} + \frac{2GMb}{P^2} \cos q\varphi + \frac{E}{P^2}$$

Funkcja $u = a + b\cos q\varphi$ jest rozwiązaniem równania

$$\left(\frac{du}{d\varphi}\right)^2 = -q^2u^2 + \frac{2GM}{P^2}u + \frac{E}{P^2},$$

jeżeli są spełnione następujące warunki

$$b^2q^2 + a^2q^2 - \frac{2GMa}{P^2} - \frac{E}{P^2} = 0$$

i

$$-2abq^2 + \frac{2GMb}{P^2} = 0\ .$$

Rozwiązując układ otrzymujemy

$$a = \frac{GM}{P^2 - 6GMw}$$

i

$$b = \frac{\sqrt{G^2M^2 + E(P^2 - 6GMw)}}{P^2 - 6GMw}\ .$$

$$u(\varphi) = \frac{GM}{P^2 - 6GMw} + \frac{\sqrt{G^2M^2 + E(P^2 - 6GMw)}}{P^2 - 6GMw}\cos q\varphi$$

$$r(\varphi) = \frac{P^2 - 6GMw}{GM + \sqrt{G^2M^2 + E(P^2 - 6GMw)}\cos q\varphi}$$

$$r(\varphi) = \frac{\frac{P^2}{GM} - 6w}{1 + \sqrt{1 + E\left(\frac{P^2}{G^2M^2} - \frac{6w}{GM}\right)}\cos q\varphi}$$

Oznaczmy

$$p = \frac{P^2}{GM} - 6w$$

i

$$e = \sqrt{1 + E\left(\frac{P^2}{G^2M^2} - \frac{6w}{GM}\right)}.$$

Wówczas

$$r(\varphi) = \frac{p}{1 + e\cos q\varphi}\ .$$

Kolejne minima funkcji $r(\varphi)$ będą w odstępie $\Delta\varphi$ takim, że $q\Delta\varphi = 2\pi$.

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{q}$$

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\sqrt{1-\frac{6GMw}{P^2}}}$$

$$\Delta\varphi = 2\pi\left(1+\frac{6GMw}{2P^2}\right) = 2\pi + \varepsilon$$

Obliczone przesunięcie peryhelium planety $\varepsilon = \frac{6\pi GMw}{P^2}$.

Rzeczywista orbita planety niewiele odbiega od orbity obliczonej na podstawie prawa Newtona. Z III prawa Keplera

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$$

i wzoru na pole elipsy

$$P_{el} = \pi a^2\sqrt{1-e^2}$$

otrzymujemy

$$\frac{P_{el}^2}{T^2} = \frac{GMa(1-e^2)}{4},$$

gdzie

$$\frac{P_{el}^2}{T^2}$$

jest kwadratem prędkości polowej, a dużą półosią natomiast e mimośrodem elipsy. Kwadrat podwojonej prędkości polowej $P^2 = GMa(1-e^2)$.

$$\varepsilon = \frac{6\pi GMw}{GMa(1-e^2)} = \frac{6\pi w}{a(1-e^2)}$$

$$\varepsilon = \frac{6\pi w}{a(1-e^2)} \qquad\qquad w = 1476{,}69\ m$$

	Merkury	Wenus	Ziemia
a	$5{,}7909\cdot 10^{10}\ m$	$1{,}0821\cdot 10^{11}\ m$	$1{,}4960\cdot 10^{11}\ m$
e	$0{,}2056$	$0{,}0068$	$0{,}0167$
T	$0{,}2408\ roku$	$0{,}6152\ roku$	$1\ rok$
ε	$5{,}0188\cdot 10^{-7}\ \frac{rad}{orbita}$ $42{,}99''/stulecie$	$2{,}5724\cdot 10^{-7}\ \frac{rad}{orbita}$ $8{,}62''/stulecie$	$1{,}8611\cdot 10^{-7}\ \frac{rad}{orbita}$ $3{,}84''/stulecie$
ε *obs. astr*	$43{,}11 \pm 0{,}45''/stulecie$	$8{,}4 \pm 4{,}8''/stulecie$	$5{,}0 \pm 1{,}2''/stulecie$

Obliczone przesunięcia peryhelium są zgodne z wartościami uzyskanymi z obserwacji astronomicznych i są takie same jak w OTW.

Prędkość polowa planety nie jest stała. Określa ją wartość wyrażenia

$$V_{polowa} = \frac{r^3 P}{2(r+w)^3} = \frac{P}{2}\left(1 + \frac{w}{r}\right)^{-3} = \frac{P}{2}\alpha^3,$$

gdzie P jest wartością stałą. Prędkość polowa planety w niewielkim stopniu zależy od jej odległości od Słońca.

Różnica prędkości polowej dla aphelium i peryhelium jest równa

$$\Delta V_{polowa} = \frac{P}{2}\left(1 + \frac{w}{r_{aphelium}}\right)^{-3} - \frac{P}{2}\left(1 + \frac{w}{r_{peryhelium}}\right)^{-3}.$$

Ponieważ

$$\frac{w}{r_{aphelium}}$$

oraz

$$\frac{w}{r_{peryhelium}}$$

są bliskie zera, więc

$$\Delta V_{polowa} = \frac{3}{2} Pw \left(\frac{1}{r_{peryhelium}} - \frac{1}{r_{aphelium}}\right).$$

$$\Delta V_{polowa} = \frac{3}{2} cw\sqrt{wa(1-e^2)} \left(\frac{1}{r_{peryhelium}} - \frac{1}{r_{aphelium}}\right)$$

Dla planety Merkury

$$\Delta V_{polowa} = 4{,}52 \cdot 10^7 \ \frac{m^2}{s},$$

$$V_{polowa} = 2{,}71 \cdot 10^{15} \ \frac{m^2}{s}$$

i

$$\frac{\Delta V_{polowa}}{V_{polowa}} = 1{,}7 \cdot 10^{-8}.$$

Obliczone równanie orbity planety ma postać

$$r(\varphi) = \frac{\frac{P^2}{GM} - 6w}{1 + \sqrt{1 + E\left(\frac{P^2}{G^2M^2} - \frac{6w}{GM}\right)} \cos q\varphi}$$

i

$$q = \sqrt{1 - \frac{6GMw}{P^2}}.$$

$$r(\varphi) = \frac{p}{1+e\cos q\varphi}$$

Dla orbity newtonowskiej mamy

$$r(\varphi) = \frac{\frac{P^2}{GM}}{1+\sqrt{1+\frac{P^2E}{G^2M^2}}\cos\varphi}.$$

$$r(\varphi) = \frac{p_N}{1+e_N\cos\varphi}$$

Drugi sposób wyznaczania orbity planety.
Energia kinetyczna planety jest określona wzorem

$$T = \frac{1}{2}m(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)\alpha^{-1}.$$

$$\alpha = \left(1 + \frac{w}{r}\right)^{-1}$$

$$w = \frac{GM}{c^2}$$

$$T = \frac{1}{2}m(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)\left(1 + \frac{w}{r}\right).$$

Energię potencjalną określam wzorem

$$V = \frac{1}{5}mc^2 - \frac{1}{5}mc^2\alpha^{-5}$$

$$V = \frac{1}{5}mc^2 - \frac{1}{5}mc^2\left(1 + \frac{w}{r}\right)^5.$$

$$r = (x^2 + y^2)^{\frac{1}{2}}.$$

Lagrangian ma postać

$$L = T - V = \frac{1}{2}m(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)\left(1 + \frac{w}{r}\right) - \frac{1}{5}mc^2 + \frac{1}{5}mc^2\left(1 + \frac{w}{r}\right)^5.$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{x}} = m\dot{x}\left(1 + \frac{w}{r}\right)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{y}} = m\dot{y}\left(1 + \frac{w}{r}\right)$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}}\right) = m\ddot{x}\left(1 + \frac{w}{r}\right) - \frac{mw\dot{x}}{r^2}\frac{dr}{dt}$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{y}}\right) = m\ddot{y}\left(1 + \frac{w}{r}\right) - \frac{mw\dot{y}}{r^2}\frac{dr}{dt}$$

$$\frac{\partial L}{\partial x} = -\frac{1}{2}m(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)\frac{wx}{r^3} - mc^2\left(1 + \frac{w}{r}\right)^4\frac{wx}{r^3}$$

$$\frac{\partial L}{\partial y} = -\frac{1}{2}m(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)\frac{wy}{r^3} - mc^2\left(1 + \frac{w}{r}\right)^4\frac{wy}{r^3}$$

Równania Lagrangea

$$\begin{cases}\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}}\right) = \frac{\partial L}{\partial x}\\ \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{y}}\right) = \frac{\partial L}{\partial y}\end{cases}$$

mają postać

$$m\ddot{x}\left(1 + \frac{w}{r}\right) - \frac{mw\dot{x}}{r^2}\frac{dr}{dt} = -\frac{1}{2}m(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)\frac{wx}{r^3} - mc^2\left(1 + \frac{w}{r}\right)^4\frac{wx}{r^3}$$

$$m\ddot{y}\left(1 + \frac{w}{r}\right) - \frac{mw\dot{y}}{r^2}\frac{dr}{dt} = -\frac{1}{2}m(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)\frac{wy}{r^3} - mc^2\left(1 + \frac{w}{r}\right)^4\frac{wy}{r^3}$$

Równania mnożymy odpowiednio przez $-y$ i x i dodajemy stronami.

$$m(-y\ddot{x} + x\ddot{y})\left(1 + \frac{w}{r}\right) - \frac{mw(-y\dot{x}+x\dot{y})}{r^2}\frac{dr}{dt} = 0$$

$$m\frac{d}{dt}(-y\dot{x} + x\dot{y})\left(1 + \frac{w}{r}\right) - \frac{mw(-y\dot{x}+x\dot{y})}{r^2}\frac{dr}{dt} = 0$$

$$\frac{d}{dt}(-y\dot{x} + x\dot{y}) - \frac{w(-y\dot{x}+x\dot{y})}{r^2}\left(1 + \frac{w}{r}\right)^{-1}\frac{dr}{dt} = 0$$

$$\frac{\frac{d}{dt}(-y\dot{x}+x\dot{y})}{(-y\dot{x}+x\dot{y})} + \frac{d}{dt}ln\left(1 + \frac{w}{r}\right) = 0$$

$$\frac{d}{dt}ln(-y\dot{x} + x\dot{y}) + \frac{d}{dt}ln\left(1 + \frac{w}{r}\right) = 0$$

$$ln(-y\dot{x} + x\dot{y})\left(1 + \frac{w}{r}\right) = lnP$$

$$-y\dot{x}+x\dot{y}=\frac{P}{\left(1+\frac{w}{r}\right)}$$

We współrzędnych biegunowych $x=r\cos\varphi$, $y=r\sin\varphi$.

$$\dot{x}=\dot{r}\cos\varphi-r\sin\varphi\,\dot{\varphi}$$

$$\dot{y}=\dot{r}\sin\varphi+r\cos\varphi\dot{\varphi}$$

$$-y\dot{x}+x\dot{y}=r^2\dot{\varphi}$$

$$r^2\dot{\varphi}=\frac{P}{\left(1+\frac{w}{r}\right)}$$

Stała P jest w przybliżeniu podwojoną prędkością polową planety.

Równania Lagrangea mnożymy odpowiednio przez $2\dot{x}$ i $2\dot{y}$ i dodajemy stronami.

$$m\left(1+\frac{w}{r}\right)\frac{d}{dt}(\dot{x}^2+\dot{y}^2)-\frac{2mw}{r^2}(\dot{x}^2+\dot{y}^2)\frac{dr}{dt}=-\frac{mw}{r^2}(\dot{x}^2+\dot{y}^2)\frac{dr}{dt}-mc^2\left(1+\frac{w}{r}\right)^4\frac{2w}{r^2}\frac{dr}{dt}$$

$$\left(1+\frac{w}{r}\right)\frac{d}{dt}(\dot{x}^2+\dot{y}^2)=\frac{w}{r^2}(\dot{x}^2+\dot{y}^2)\frac{dr}{dt}-\left(1+\frac{w}{r}\right)^4\frac{2c^2w}{r^2}\frac{dr}{dt}$$

$$\left(1+\frac{w}{r}\right)\frac{d}{dr}(\dot{x}^2+\dot{y}^2)\frac{dr}{dt}=\frac{w}{r^2}(\dot{x}^2+\dot{y}^2)\frac{dr}{dt}-\left(1+\frac{w}{r}\right)^4\frac{2c^2w}{r^2}\frac{dr}{dt}$$

$$\left(1+\frac{w}{r}\right)\frac{d}{dr}(\dot{x}^2+\dot{y}^2)=\frac{w}{r^2}(\dot{x}^2+\dot{y}^2)-\left(1+\frac{w}{r}\right)^4\frac{2c^2w}{r^2}$$

$$\frac{d}{dr}(\dot{x}^2+\dot{y}^2)=\frac{w}{r^2}(\dot{x}^2+\dot{y}^2)\left(1+\frac{w}{r}\right)^{-1}-\frac{2c^2w}{r^2}\left(1+\frac{w}{r}\right)^3$$

Oznaczmy $z=\dot{x}^2+\dot{y}^2$. Dla współrzędnych biegunowych

$$\dot{x}^2+\dot{y}^2=\dot{r}^2+r^2\dot{\varphi}^2$$

oraz

$$x^2+y^2=r^2.$$

$$\frac{dz}{dr} = \frac{w}{r(r+w)}z - \frac{2c^2w}{r^2}\left(1+\frac{w}{r}\right)^3$$

Rozwiązujemy równanie jednorodne

$$\frac{dz}{dr} = \frac{w}{r(r+w)}z\ .$$

$$\frac{dz}{z} = \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r+w}\right)dr$$

$$ln\, z = ln\frac{r}{r+w} + lnK$$

$$z = \frac{r}{r+w}K$$

Uzmienniamy stałą K i rozwiązujemy równanie liniowe niejednorodne.

$$z = K(r)\frac{r}{r+w}$$

$$\frac{dz}{dr} = \frac{dK}{dr}\frac{r}{r+w} + \frac{Kw}{(r+w)^2}$$

$$\frac{dK}{dr}\frac{r}{r+w} + \frac{Kw}{(r+w)^2} = \frac{w}{r(r+w)}K\frac{r}{r+w} - \frac{2c^2w}{r^2}\left(1+\frac{w}{r}\right)^3$$

$$\frac{dK}{dr}\frac{r}{r+w} = -\frac{2c^2w}{r^2}\left(1+\frac{w}{r}\right)^3$$

$$\frac{dK}{dr} = -\frac{2c^2w}{r^2}\left(1+\frac{w}{r}\right)^4$$

$$K = \frac{2c^2}{5}\left(1+\frac{w}{r}\right)^5 + E - \frac{2c^2}{5}$$

Rozwiązanie ma postać

$$z = \left(\frac{2c^2}{5}\left(1+\frac{w}{r}\right)^5 + E - \frac{2c^2}{5}\right)\frac{r}{r+w}$$

$$\left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + r^2\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 = \left(\frac{2c^2}{5}\left(1+\frac{w}{r}\right)^5 + E - \frac{2c^2}{5}\right)\frac{r}{r+w}$$

$$\left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + r^2\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 = \left(\frac{dr}{d\varphi}\right)^2\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 + r^2\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 = \left[\left(\frac{dr}{d\varphi}\right)^2 + r^2\right]\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2$$

$$\left[\left(\frac{dr}{d\varphi}\right)^2 + r^2\right]\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 = \left(\frac{2c^2}{5}\left(1+\frac{w}{r}\right)^5 + E - \frac{2c^2}{5}\right)\frac{r}{r+w}$$

$$r^2\dot{\varphi} = \frac{P}{\left(1+\frac{w}{r}\right)}$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{P}{r^2\left(1+\frac{w}{r}\right)}$$

$$\left[\left(\frac{dr}{d\varphi}\right)^2 + r^2\right]\frac{P^2}{r^4\left(1+\frac{w}{r}\right)^2} = \left(\frac{2c^2}{5}\left(1+\frac{w}{r}\right)^5 + E - \frac{2c^2}{5}\right)\frac{r}{r+w}$$

$$\left[\left(\frac{dr}{d\varphi}\right)^2 + r^2\right]\frac{P^2}{r^4} = \left(\frac{2c^2}{5}\left(1+\frac{w}{r}\right)^5 + E - \frac{2c^2}{5}\right)\left(1+\frac{w}{r}\right)$$

Podstawmy

$$r = \frac{1}{u},$$

$$\frac{dr}{d\varphi} = -\frac{1}{u^2}\frac{du}{d\varphi}.$$

$$\left(\frac{du}{d\varphi}\right)^2 + u^2 = \left(\frac{2c^2}{5}(1+wu)^5 + E - \frac{2c^2}{5}\right)\frac{(1+wu)}{P^2}$$

$$\left(\frac{du}{d\varphi}\right)^2 + u^2 = (2c^2wu + 4c^2w^2u^2 + E)\frac{(1+wu)}{P^2}$$

$$\left(\frac{du}{d\varphi}\right)^2 + u^2 = \left(\frac{2GM}{P^2}u + \frac{4GMw}{P^2}u^2 + \frac{E}{P^2}\right)(1+wu)$$

$$\left(\frac{du}{d\varphi}\right)^2 + u^2 = \left(\frac{2GM}{P^2}u + \frac{4GMw}{P^2}u^2 + \frac{E}{P^2} + \frac{2GMw}{P^2}u^2 + \frac{GME}{c^2P^2}u\right)$$

$$\left(\frac{du}{d\varphi}\right)^2 + u^2 = \left(\frac{2GM}{P^2}\left(1+\frac{E}{2c^2}\right)u + \frac{6GMw}{P^2}u^2 + \frac{E}{P^2}\right)$$

Wartość $\frac{E}{2c^2}$ jest bliska zera.

$$\left(\frac{du}{d\varphi}\right)^2 + u^2 = \frac{2GM}{P^2}u + \frac{6GMw}{P^2}u^2 + \frac{E}{P^2}$$

Otrzymaliśmy takie samo równanie jak w pierwszym przypadku.

Jednak prędkość polowa planety nie jest stała i jest określona innym wzorem niż w pierwszym przypadku. Określa ją wartość wyrażenia

$$r^2\dot{\varphi} = \frac{P}{\left(1+\frac{w}{r}\right)}$$

$$V_{polowa} = \frac{P}{2\left(1+\frac{w}{r}\right)} = \frac{P}{2}\left(1+\frac{w}{r}\right)^{-1} = \frac{P}{2}\alpha,$$

gdzie P jest wartością stałą. Prędkość polowa planety w niewielkim stopniu zależy od jej odległości od Słońca.

Różnica prędkości polowej dla aphelium i peryhelium jest równa

$$\Delta V_{polowa} = \frac{P}{2}\left(1+\frac{w}{r_{aphelium}}\right)^{-1} - \frac{P}{2}\left(1+\frac{w}{r_{peryhelium}}\right)^{-1}.$$

Ponieważ

$$\frac{w}{r_{aphelium}}$$

oraz

$$\frac{w}{r_{peryhelium}}$$

są bliskie zera, więc

$$\Delta V_{polowa} = \frac{1}{2}Pw\left(\frac{1}{r_{peryhelium}} - \frac{1}{r_{aphelium}}\right).$$

$$\Delta V_{polowa} = \frac{1}{2}cw\sqrt{wa(1-e^2)}\left(\frac{1}{r_{peryhelium}} - \frac{1}{r_{aphelium}}\right)$$

Dla planety Merkury

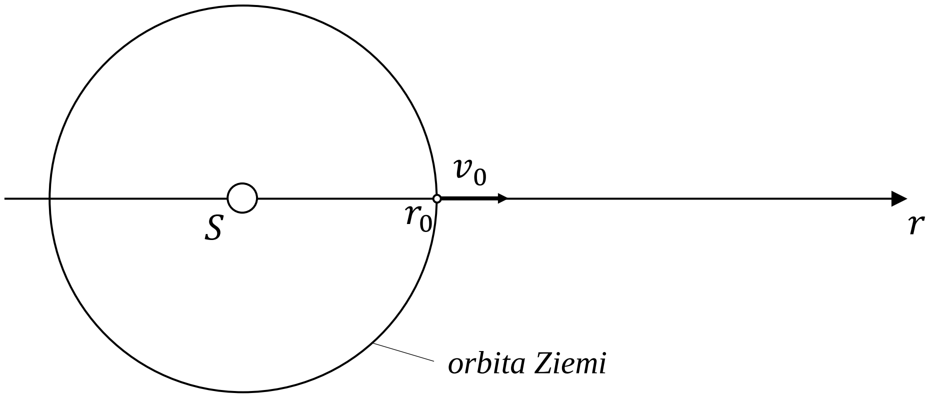
$$\Delta V_{polowa} = 1{,}51 \cdot 10^7\ \frac{m^2}{s},$$

$$V_{polowa} = 2{,}71 \cdot 10^{15}\ \frac{m^2}{s}$$

i

$$\frac{\Delta V_{polowa}}{V_{polowa}} = 5{,}57 \cdot 10^{-9}.$$

5.3. Maksymalna odległość punktu materialnego od Słońca podczas jego swobodnego ruchu po orbicie eliptycznej



Rys. 5.3.1.

Weźmy punkt materialny znajdujący się w odległości r_0 od Słońca, równej promieniowi orbity Ziemi. Wyrzućmy go w stronę przeciwną do Słońca z prędkością początkową $v_0 < 42,2\ \frac{km}{s}$. Obliczmy maksymalną odległość r na jaką punkt materialny oddali się od Słońca. Obliczenia przeprowadzę w dwóch przypadkach w zależności od przyjętego wzoru dla całkowitej energii tego punktu. Ze wzoru dla klasycznej całkowitej energii mamy

$$\frac{v^2}{2} - \frac{wc^2}{r} = \frac{v_0^2}{2} - \frac{wc^2}{r_0}\ .$$

Po podstawieniu dla prędkości końcowej v wartości zero otrzymujemy

$$-\frac{wc^2}{r} = \frac{v_0^2}{2} - \frac{wc^2}{r_0}\,,$$

gdzie

$$w = \frac{GM}{c^2}$$

i M jest masą Słońca. Po przekształceniu otrzymujemy następujące równanie.

$$r = \frac{wc^2}{\frac{wc^2}{r_0} - \frac{v_0^2}{2}}$$

$$r = \frac{r_0}{1 - \frac{v_0^2 r_0}{2c^2 w}}$$

W przypadku wprowadzonej w tej książce zmodyfikowanej całkowitej energii otrzymujemy

$$\frac{mv^2}{2}\left(1+\frac{w}{r}\right)+\frac{1}{5}mc^2-\frac{1}{5}mc^2\left(1+\frac{w}{r}\right)^5=\frac{mv_0^2}{2}\left(1+\frac{w}{r_0}\right)+\frac{1}{5}mc^2-\frac{1}{5}mc^2\left(1+\frac{w}{r_0}\right)^5.$$

Po podstawieniu $v=0$ otrzymujemy bardziej skomplikowane, niż poprzednio, równanie.

$$-\frac{1}{5}c^2\left(1+\frac{w}{r}\right)^5=\frac{v_0^2}{2}\left(1+\frac{w}{r_0}\right)-\frac{1}{5}c^2\left(1+\frac{w}{r_0}\right)^5$$

$$\left(1+\frac{w}{r}\right)^5=\left(1+\frac{w}{r_0}\right)^5-\frac{5v_0^2}{2c^2}\left(1+\frac{w}{r_0}\right)$$

$$r=\frac{w}{\left[\left(1+\frac{w}{r_0}\right)^5-\frac{5v_0^2}{2c^2}\left(1+\frac{w}{r_0}\right)\right]^{\frac{1}{5}}-1}$$

$$r=\frac{w}{\left(1+\frac{w}{r_0}\right)\left[1-\frac{5v_0^2}{2c^2}\left(1+\frac{w}{r_0}\right)^{-4}\right]^{\frac{1}{5}}-1}$$

$$r=\frac{w}{\left(1+\frac{w}{r_0}\right)\left[1-\frac{v_0^2}{2c^2}\left(1+\frac{w}{r_0}\right)^{-4}\right]-1}$$

$$r=\frac{w}{\frac{w}{r_0}-\frac{v_0^2}{2c^2}\left(1+\frac{w}{r_0}\right)^{-3}}$$

$$\hat{r}=\frac{r_0}{1-\frac{v_0^2r_0}{2c^2w}\left(1+\frac{w}{r_0}\right)^{-3}}$$

$$r-\hat{r}=\frac{r_0}{1-\frac{v_0^2r_0}{2c^2w}}-\frac{r_0}{1-\frac{v_0^2r_0}{2c^2w}\left(1+\frac{w}{r_0}\right)^{-3}}$$

$$r-\hat{r}=r_0\frac{\frac{v_0^2 r_0}{2c^2 w}\left(1-\left(1+\frac{w}{r_0}\right)^{-3}\right)}{\left(1-\frac{v_0^2 r_0}{2c^2 w}\right)\left(1-\frac{v_0^2 r_0}{2c^2 w}\left(1+\frac{w}{r_0}\right)^{-3}\right)}$$

$$r-\hat{r}=r_0\frac{1-\left(1+\frac{w}{r_0}\right)^{-3}}{\left(\frac{2c^2 w}{v_0^2 r_0}-1\right)\left(\frac{2c^2 w}{v_0^2 r_0}-\left(1+\frac{w}{r_0}\right)^{-3}\right)}$$

$$r-\hat{r}=\frac{3w}{\left(\frac{2c^2 w}{v_0^2 r_0}-1\right)\left(\frac{2c^2 w}{v_0^2 r_0}-1+\frac{3w}{r_0}\right)}$$

Do obliczeń przyjmuję następujące wielkości.

$w=\frac{GM}{c^2}=1{,}4766867\ km$ $\qquad$ $c=2{,}99792458\cdot 10^5\ \frac{km}{s}$

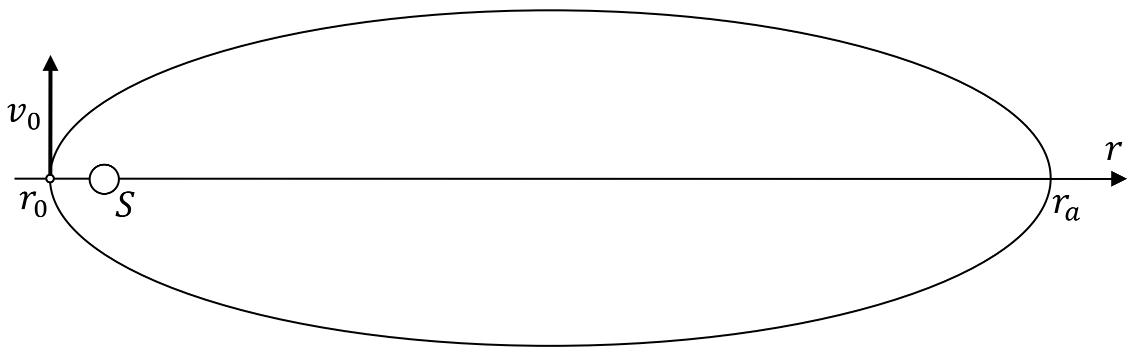
$$r_0=1{,}49588\cdot 10^8\ km$$

$v_0\left[\frac{km}{s}\right]$	r	$r-\hat{r}\ [km]$	
35	$3{,}2286\cdot r_0$	22,0	
38,5	$6{,}0690\cdot r_0$	113,8	okolice orbity Jowisza
40	$10{,}1605\cdot r_0$	372,7	okolice orbity Saturna
41,1	$20{,}7676\cdot r_0$	1731,3	okolice orbity Urana
41,45	$31{,}3761\cdot r_0$	4088,1	okolice orbity Neptuna
41,8	$64{,}7131\cdot r_0$	17985,4	
42	$166{,}4231\cdot r_0$	121242,0	
42,1	$787{,}4927\cdot r_0$	2740576,3	

Ze wzrostem maksymalnej odległości, na jaką oddali się punkt materialny od Słońca szybko wzrasta różnica między zasięgiem rzutu punktu materialnego w rozpatrywanych przypadkach.

Zasięg rzutu jest równy odległości od Słońca punktu materialnego w aphelium r_a podczas jego ruchu po orbicie eliptycznej, przy jednakowej szybkości początkowej v_0 i takiej samej odległości r_0 od Słońca.

$$r_a=\hat{r}$$



Rys. 5.3.2.

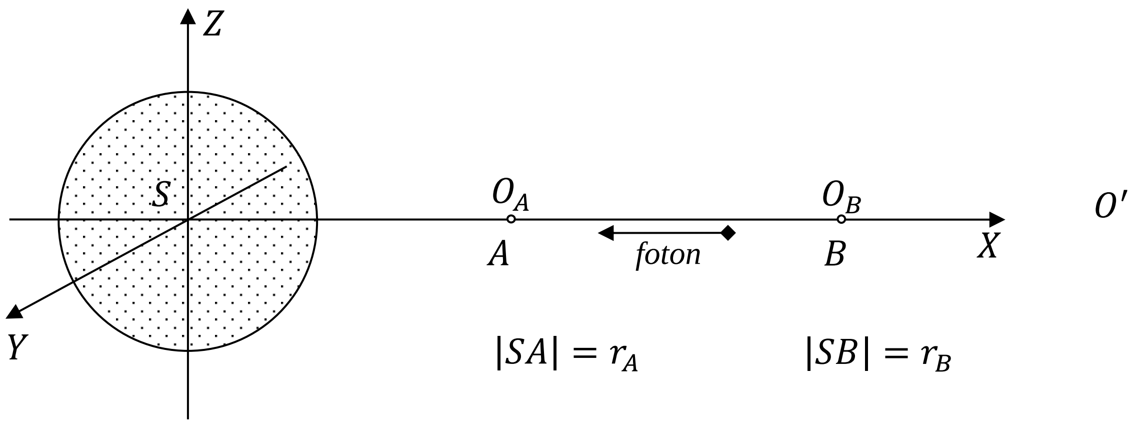
Odległość punktu materialnego w aphelium jest większa dla orbity newtonowskiej, niż dla orbity wynikającej z zastosowania nowego wzoru dla energii potencjalnej, przy tych samych warunkach początkowych. Sonda kosmiczna wyrzucona z orbity Ziemi oddali się na mniejszą odległość od Słońca, niż wynika to z obliczeń, w których stosujemy prawa ruchu Newtona.

5.4. Foton w polu grawitacyjnym

Weźmy materialną kulę o masie M' i środku S. W punktach A i B leżących na osi SX, prostokątnego układu współrzędnych $SXYZ$, znajdują się odpowiednio obserwatorzy O_A i O_B. Daleko od kuli i innych ciał materialnych znajduje się obserwator O'. Z punktu B do A porusza się foton. Zakładam, że dla obserwatora O' energia fotonu pozostaje stała, ponieważ foton nie oddziałuje z polem grawitacyjnym.

$$E' = h\nu' = const..$$

Stąd wynika, że dla obserwatora O' częstotliwość fotonu ν' jest stała.



Rys. 5.4.1.

Foton poruszający się w polu grawitacyjnym od punktu B do A, dla obserwatora O', nie zmienia swojej częstotliwości

$$\nu'_B = \nu'_A.$$

Jeżeli wzdłuż toru fotonu umieścimy obserwatorów spoczywających na osi OX, to dla każdego z nich częstotliwość fotonu jest inna ze względu na zmianę tempa upływu czasu.

Oznaczmy

$$\alpha_B = \left(1 + \frac{GM'}{c^2 r'_B}\right)^{-1}$$

i

$$\alpha_A = \left(1 + \frac{GM'}{c^2 r'_A}\right)^{-1}.$$

Częstotliwości fotonu, dla O', w punktach B i A są odpowiednio ν'_B i ν'_A. Dla obserwatora O_B częstotliwość fotonu jest ν_B, natomiast dla O_A jest ν_A.

Ponieważ

$$\nu_B = \frac{1}{T_B} = \frac{1}{T_B'\alpha_B} = \frac{\nu_B'}{\alpha_B},$$

więc

$$\nu_B = \frac{\nu_B'}{\alpha_B}$$

i odpowiednio

$$\nu_A = \frac{\nu_A'}{\alpha_A}.$$

$$\nu_A - \nu_B = \frac{\nu_A'}{\alpha_A} - \frac{\nu_B'}{\alpha_B}$$

Dla obserwatora O' częstotliwość

$$\nu_B' = \nu_A' = \nu',$$

więc

$$\nu_A - \nu_B = \nu'\left(\frac{1}{\alpha_A} - \frac{1}{\alpha_B}\right).$$

$$\nu_A - \nu_B = \nu'\left(\frac{GM'}{c^2 r_A'} - \frac{GM'}{c^2 r_{B'}}\right)$$

$$\nu_A - \nu_B = \frac{GM'}{c^2}\nu'\left(\frac{1}{r_A'} - \frac{1}{r_B'}\right)$$

$$\nu_A - \nu_B = \frac{\nu'}{c^2}(V_B' - V_A')$$

Jeżeli masę kuli i odległości mierzy obserwator O_B, to

$$\nu_A - \nu_B = \frac{GM_B\alpha_B}{c^2}\nu_B\alpha_B\left(\frac{1}{r_A\alpha_B} - \frac{1}{r_B\alpha_B}\right)$$

$$\frac{\nu_A - \nu_B}{\nu_B} = \frac{GM_B\alpha_B}{c^2}\left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B}\right)$$

$$\nu_A = \nu_B\left(1 + \frac{GM_B\alpha_B}{c^2}\left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B}\right)\right)$$

Jeżeli foton o częstotliwości ν_H spada z niewielkiej wysokości H, nad powierzchnią Ziemi o promieniu R, to jego częstotliwość na powierzchni Ziemi jest równa

$$\nu_0 = \nu_H\left(1 + \frac{GM_Z\alpha_H}{c^2}\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R+H}\right)\right).$$

$$\nu_0 = \nu_H \left(1 + \frac{GM_Z \alpha_H}{c^2} \frac{H}{R(R+H)}\right)$$

Ponieważ

$$R + H \approx R$$

i

$$\alpha_H \approx 1,$$

więc

$$\nu_0 \approx \nu_H \left(1 + \frac{GM_Z}{c^2} \frac{H}{R^2}\right).$$

Podstawiając

$$GM_Z = gR^2,$$

gdzie g jest przyspieszeniem ziemskim na powierzchni Ziemi otrzymujemy

$$\nu_0 \approx \nu_H \left(1 + \frac{gH}{c^2}\right).$$

Częstotliwość fotonu

$$\nu_B' = \nu_B \alpha_B.$$

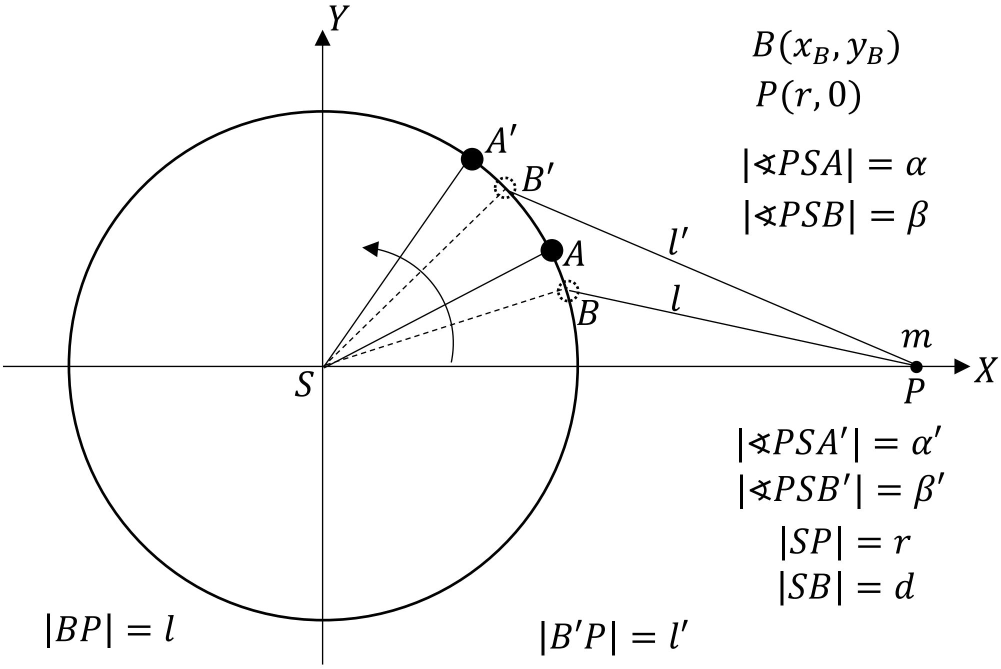
Stąd otrzymujemy

$$E_B' = h\nu_B' = h\nu_B \alpha_B = h_B \alpha_B^4 \nu_B \alpha_B,$$

$$E_B' = E_B \alpha_B^5.$$

5.5. Oddziaływanie wirującej materialnej kuli z elementem materii lub przestrzeni

Kula K o masie M porusza się po okręgu o środku S i promieniu d z prędkością kątową ω. W odległości r od punktu S w punkcie P znajduje się punkt materialny o masie m.



Rys. 5.5.1.

Jeżeli kula znajduje się punkcie A, to oddziałuje z punktem materialnym tak, jak gdyby znajdowała się w punkcie B, ze względu na skończoną prędkość grawitonów. Kula przejdzie z punktu B do A w czasie

$$t = \frac{l}{c}$$

potrzebnym grawitonom na przebycie odległości od B do P. W tym czasie promień wodzący kuli obróci się o kąt, którego miara jest równa

$$|\sphericalangle BSA| = t\omega = \frac{l\omega}{c}.$$

Kąt

$$\alpha = \beta + \frac{l\omega}{c}.$$

Odpowiednio dla A' kąt

$$\alpha' = \beta' + \frac{l'\omega}{c}.$$

Jeżeli kąt β wzrośnie o

$$\Delta\beta = \beta' - \beta,$$

to odpowiednio kąt α wzrośnie o

$$\Delta\alpha = \alpha' - \alpha = \Delta\beta + \frac{\omega(l'-l)}{c}$$

w czasie

$$\Delta t = \frac{\Delta\alpha}{\omega} = \frac{\Delta\beta}{\omega} + \frac{l'-l}{c}.$$

Podczas przejścia kuli z B do B' do punktu materialnego przekazywany jest pęd

$$\Delta p = \frac{GMm}{l^2}\Delta t = \frac{GMm}{l^2}\left(\frac{\Delta\beta}{\omega} + \frac{l'-l}{c}\right).$$

$$l^2 = d^2 + r^2 - 2dr\,cos\,\beta$$

$$l'^2 = d^2 + r^2 - 2dr\,cos(\beta + \Delta\beta)$$

$$l' - l = \frac{l'^2 - l^2}{l'+l} = \frac{-2dr\,cos(\beta+\Delta\beta)+2dr\,cos\,\beta}{2l} = \frac{4drsin\frac{2\beta+\Delta\beta}{2}sin\frac{\Delta\beta}{2}}{2l}$$

$$l' - l = \frac{drsin\beta\Delta\beta}{l}$$

$$\Delta p = \frac{GMm}{l^2}\left(\frac{1}{\omega} + \frac{dr\sin\beta}{cl}\right)\Delta\beta$$

$$\overrightarrow{PB} = [x_B - r, y_B]$$

$$\overrightarrow{\Delta p} = \frac{GMm}{l^3}\left(\frac{1}{\omega} + \frac{dr\,sin\,\beta}{cl}\right)\Delta\beta[x_B - r, y_B]$$

$$y_B = d\sin\beta$$

Składowa wektora $\overrightarrow{\Delta p}$ równoległa do osi SY jest równa

$$\Delta p_y = \frac{GMm}{l^3}\left(\frac{1}{\omega} + \frac{dr\,sin\,\beta}{cl}\right)\Delta\beta y_B = \frac{GMmd\,sin\,\beta}{l^3}\left(\frac{1}{\omega} + \frac{dr\,sin\,\beta}{cl}\right)\Delta\beta\;.$$

Podczas jednego obiegu okręgu przez kulę do punktu materialnego, ze względu na obecność kuli, zostanie przekazany pewien pęd a jego składowa równoległa do osi SY jest równa

$$p_y = \int_0^{2\pi}\frac{GMmd\,sin\,\beta}{l^3}\left(\frac{1}{\omega} + \frac{dr\,sin\,\beta}{cl}\right)d\beta\;.$$

$$p_y = \int_0^{2\pi} \frac{GMmd\sin\beta}{(d^2+r^2-2dr\cos\beta)^{\frac{3}{2}}}\left(\frac{1}{\omega}+\frac{dr\sin\beta}{c(d^2+r^2-2dr\cos\beta)^{\frac{1}{2}}}\right)d\beta$$

Podstawmy nową zmienną

$$u = \beta - \pi\ .$$

$$p_y = \int_{-\pi}^{\pi} \frac{-GMmd\sin u}{(d^2+r^2+2dr\cos u)^{\frac{3}{2}}}\left(\frac{1}{\omega}+\frac{-dr\sin u}{c(d^2+r^2+2dr\cos u)^{\frac{1}{2}}}\right)du$$

Oznaczmy

$$a = d^2 + r^2$$

i

$$b = 2dr\ .$$

$$p_y = \int_{-\pi}^{\pi} \frac{-GMmd\sin u}{\omega(a+b\cos u)^{\frac{3}{2}}}du + \int_{-\pi}^{\pi} \frac{GMmd^2r\sin^2 u}{c(a+b\cos u)^2}du$$

Pierwsza całka jest równa zero, ponieważ funkcja podcałkowa jest nieparzysta.

$$p_y = \frac{GMmd^2r}{c}\int_{-\pi}^{\pi} \frac{\sin^2 u}{(a+b\cos u)^2}du$$

Stosując całkowanie przez części otrzymujemy.

$$I = \int_{-\pi}^{\pi} \frac{\sin^2 u}{(a+b\cos u)^2}du = -\frac{1}{b}\int_{-\pi}^{\pi} \frac{\cos u}{a+b\cos u}du$$

$$I = -\frac{2}{b}\int_0^{\pi} \frac{\cos u}{a+b\cos u}du = -\frac{2}{b}\left[\frac{u}{b} - \frac{2a}{b\sqrt{a^2-b^2}}\tan^{-1}\frac{(a-b)\tan\frac{u}{2}}{\sqrt{a^2-b^2}}\right]_0^{\pi}$$

$$I = -\frac{2}{b}\left(\frac{\pi}{b} - \frac{2a}{b\sqrt{a^2-b^2}}\frac{\pi}{2}\right)\ I = -\frac{1}{dr}\left(\frac{\pi}{2dr} - \frac{d^2+r^2}{dr(r^2-d^2)}\frac{\pi}{2}\right) = \frac{\pi}{r^2(r^2-d^2)}$$

Podczas jednego obiegu kuli po okręgu składowa pędu równoległa do osi SY przekazana do punktu materialnego jest równa

$$p_y = \frac{\pi GMmd^2}{cr(r^2-d^2)}\ .$$

Jeden obieg jest wykonywany w czasie $\frac{2\pi}{\omega}$.

Średnia siła działająca na punkt materialny równolegle do osi SY jest równa

$$F_y = \frac{\pi GMmd^2}{cr(r^2-d^2)}\frac{\omega}{2\pi} = \frac{GMmd^2\omega}{2cr(r^2-d^2)} \ .$$

Istnienie tej siły jest skutkiem skończonej prędkości rozchodzenia się oddziaływania grawitacyjnego, za pośrednictwem grawitonów. Z tego powodu czas t_o oddalania się punktu B od punktu materialnego jest dłuższy niż czas t_z jego zbliżania. Miara kąta α rośnie proporcjonalnie do czasu, natomiast miara kąta β nie, ze względu na okresową zmianę odległości punktu B od punktu P. Podczas oddalania do punktu materialnego przekazywany jest pęd p_{y+} o zwrocie zgodnym ze zwrotem osi SY, podczas zbliżania pęd p_{y-} o zwrocie przeciwnym. Ponieważ

$$t_o > t_z,$$

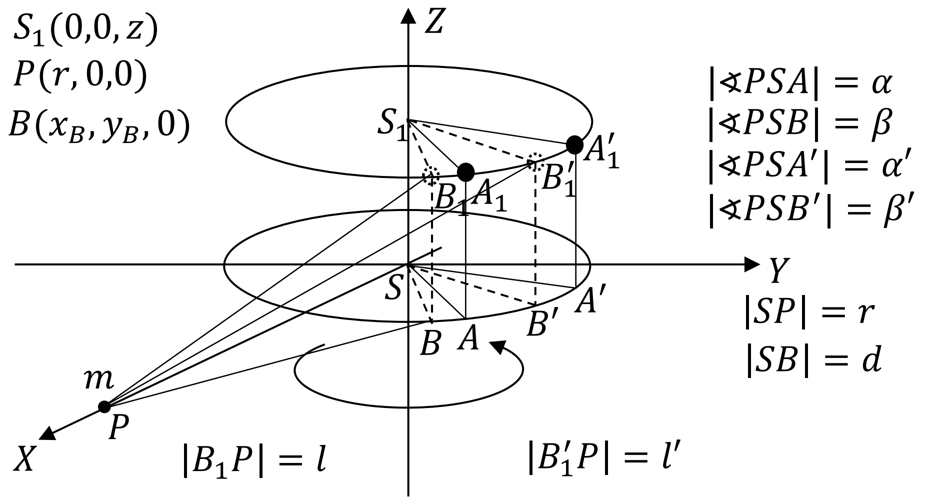
więc

$$p_{y+} > p_{y-}$$

i

$$p_y = p_{y+} - p_{y-} > 0 \ .$$

Kula K o masie M porusza się po okręgu o środku $S_1(0{,}0,z)$ i promieniu d, w płaszczyźnie prostopadłej do osi SZ, z prędkością kątową ω. W odległości r od początku prostokątnego układu współrzędnych S, na osi SX, w punkcie $P(r,0{,}0)$ znajduje się punkt materialny o masie m.



Rys. 5.5.2.

$$l^2 = z^2 + d^2 + r^2 - 2dr\cos\beta$$

$$l'^2 = z^2 + d^2 + r^2 - 2dr\cos(\beta + \Delta\beta)$$

$$l' - l = \frac{dr\sin\beta\Delta\beta}{l}$$

Podczas przejścia kuli z B_1 do B_1' do punktu materialnego przekazywany jest pęd

$$\overrightarrow{\Delta p} = \frac{GMm}{l^3}\left(\frac{1}{\omega} + \frac{dr\sin\beta}{cl}\right)\Delta\beta[x_{B_1} - r, y_{B_1}, z_{B_1}] \,,$$

a jego składowa równoległa do osi SY jest równa

$$\Delta p_y = \frac{GMmd\sin\beta}{l^3}\left(\frac{1}{\omega} + \frac{dr\sin\beta}{cl}\right)\Delta\beta.$$

Podczas jednego obiegu okręgu przez kulę do punktu materialnego zostanie przekazana składowa

$$p_y = \int_0^{2\pi} \frac{GMmd\,sin\,\beta}{(z^2+d^2+r^2-2dr\,cos\,\beta)^{\frac{3}{2}}}\left(\frac{1}{\omega} + \frac{dr\,sin\,\beta}{c(z^2+d^2+r^2-2dr\,cos\,\beta)^{\frac{1}{2}}}\right)d\beta$$

Podstawmy nową zmienną

$$u = \beta - \pi \,.$$

$$p_y = \int_{-\pi}^{\pi} \frac{-GMmd\,sin\,u}{(z^2+d^2+r^2+2dr\,cos\,u)^{\frac{3}{2}}}\left(\frac{1}{\omega} + \frac{-dr\,sin\,u}{c(z^2+d^2+r^2+2dr\,cos\,u)^{\frac{1}{2}}}\right)du$$

Oznaczmy

$$a = z^2 + d^2 + r^2$$

i

$$b = 2dr \,.$$

$$p_y = -\frac{GMmd}{c}\left(\frac{\pi}{b} - \frac{2a}{b\sqrt{a^2-b^2}}\frac{\pi}{2}\right) = \frac{GMmd\pi}{cb}\left(\frac{a}{\sqrt{a^2-b^2}} - 1\right)$$

$$p_y = \frac{GMm\pi}{2cr}\left(\frac{r^2+d^2+z^2}{\sqrt{(r^2+d^2+z^2)^2-4r^2d^2}} - 1\right)$$

Średnia siła działająca na punkt materialny równolegle do osi SY jest równa

$$F_y = \frac{GMm\omega}{4cr}\left(\frac{r^2+d^2+z^2}{\sqrt{(r^2+d^2+z^2)^2-4r^2d^2}} - 1\right).$$

Zamiast kuli weźmy cienki pierścień o masie M, promieniu d, obracający się z prędkością ω w płaszczyźnie prostopadłej do osi SZ dookoła punktu S_1.

Składowa F_y siły działającej na punkt materialny w wyniku obrotu pierścienia jest określona takim samym wzorem jak w przypadku kuli, ale w tym przypadku pozostaje taka sama w każdej chwili.

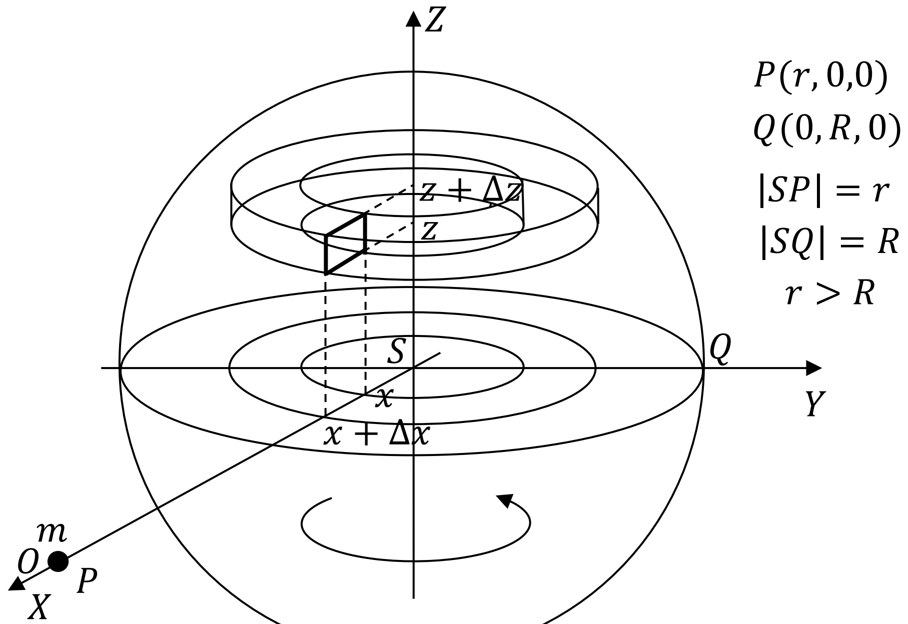
Weźmy jednorodną materialną kulę o środku w punkcie S, promieniu R, masie M i gęstości ϱ, obracającą się z prędkością kątową ω dookoła osi SZ w zwrocie od dodatniej części osi SX do dodatniej części osi SY. Na zewnątrz kuli, w punkcie P na osi SX znajduje się punkt materialny o masie m. Wszystkie te wartości są mierzone przez obserwatora O znajdującego się blisko punktu P. Dla uproszczenia zapisu układ współrzędnych obserwatora O został przesunięty tak, że pokrywa się z układem $SXYZ$. W kuli wycinam pierścień o osi SZ, ograniczony płaszczyznami prostopadłymi do osi SZ i przechodzącymi przez punkty o współrzędnych $(0,0,z)$ i $(0,0,z+\Delta z)$, o promieniach x i $x+\Delta x$, szerokości Δx i grubości Δz. Objętość tego pierścienia

$$\Delta V = 2\pi x \Delta x \Delta z$$

a jego masa

$$m_p = 2\pi \varrho x \Delta x \Delta z.$$

Pierścień wiruje z prędkością kątową ω .



Rys. 5.5.3.

Pierścień działa na punkt materialny pewną siłą, której składowa równoległa do osi SY jest równa

$$\Delta F_y = \frac{2\pi G m \varrho \omega x}{4cr}\left(\frac{r^2+x^2+z^2}{\sqrt{(r^2+x^2+z^2)^2-4r^2x^2}} - 1\right)\Delta x \Delta z\ .$$

Składowa siły z jaką kula oddziałuje na punkt materialny, równoległa do osi SY jest równa

$$F_y = \int_{-R}^{R}\int_{0}^{\sqrt{R^2-z^2}} \frac{2\pi Gm\varrho\omega x}{4cr}\left(\frac{r^2+x^2+z^2}{\sqrt{(r^2+x^2+z^2)^2-4r^2x^2}}-1\right)dxdz \ .$$

$$F_y = \frac{2\pi Gm\varrho\omega}{4cr}\int_{-R}^{R}\int_{0}^{\sqrt{R^2-z^2}}\left(\frac{r^2+x^2+z^2}{\sqrt{(r^2+x^2+z^2)^2-4r^2x^2}}-1\right)xdxdz$$

$$I_1 = \int_{0}^{\sqrt{R^2-z^2}}\left(\frac{r^2+x^2+z^2}{\sqrt{(r^2+x^2+z^2)^2-4r^2x^2}}-1\right)xdx$$

Podstawiając nową zmienną

$$u = x^2 + z^2 - r^2 \ ,$$

$$xdx = \frac{1}{2}du \ ,$$

otrzymujemy

$$I_1 = \frac{1}{2}\int_{z^2-r^2}^{R^2-r^2}\left(\frac{u+2r^2}{\sqrt{u^2+4r^2z^2}}-1\right)du \ .$$

$$I_1 = \frac{1}{2}\left[\sqrt{u^2+4r^2z^2}\right]_{z^2-r^2}^{R^2-r^2} + \ r^2\left[ln\left|u+\sqrt{u^2+4r^2z^2}\right|\right]_{z^2-r^2}^{R^2-r^2} - \frac{1}{2}[u]_{z^2-r^2}^{R^2-r^2}$$

$$I_1 = \frac{1}{2}\left[\sqrt{(R^2-r^2)^2+4r^2z^2}-(r^2+R^2)\right]+r^2\left[ln\left|R^2-r^2+\right.\right.$$
$$\left.\left.+\sqrt{(R^2-r^2)^2+4r^2z^2}\right|-ln|2z^2|\right]$$

$$I_2 = \int_{-R}^{R} I_1 dz$$

Ponieważ funkcja podcałkowa jest parzysta, więc

$$I_2 = 2\int_{0}^{R} I_1 dz \ .$$

$$I_2 = \int_0^R \sqrt{(R^2-r^2)^2+4r^2z^2}dz - (r^2+R^2)\int_0^R dz + 2r^2\int_0^R ln\left|R^2-r^2+\right.$$
$$\left.+\sqrt{(R^2-r^2)^2+4r^2z^2}\right| dz - 2r^2\int_0^R ln|2z^2|\, dz$$

$$I_3 = \int_0^R \sqrt{(R^2-r^2)^2+4r^2z^2}dz = \int_0^R 2r\sqrt{\left(\frac{R^2-r^2}{2r}\right)^2+z^2}\ dz$$

$$I_3 = r\left[z\sqrt{\left(\frac{R^2-r^2}{2r}\right)^2+z^2} + \left(\frac{R^2-r^2}{2r}\right)^2 ln\left|z+\sqrt{\left(\frac{R^2-r^2}{2r}\right)^2+z^2}\right|\right]_0^R$$

$$I_3 = r\left[R\frac{R^2+r^2}{2r} + \left(\frac{R^2-r^2}{2r}\right)^2 ln\left|\frac{r+R}{r-R}\right|\right]$$

$$I_4 = \int_0^R dz = R$$

$$I_5 = \int_0^R ln\left|R^2 - r^2 + \sqrt{(R^2-r^2)^2 + 4r^2z^2}\right| dz = \Big[z\, ln\Big|R^2 - r^2 +$$
$$+\sqrt{(R^2-r^2)^2 + 4r^2z^2}\Big|\Big]_0^R + \int_0^R \frac{R^2-r^2-\sqrt{(R^2-r^2)^2+4r^2z^2}}{\sqrt{(R^2-r^2)^2+4r^2z^2}} dz$$

$$\lim_{z\to 0} z\, ln\left|R^2 - r^2 + \sqrt{(R^2-r^2)^2 + 4r^2z^2}\right| = 0$$

$$I_5 = Rln|2R^2| + \frac{R^2-r^2}{2r} ln\left|z + \sqrt{\left(\frac{R^2-r^2}{2r}\right)^2 + z^2}\right|_0^R - [z]_0^R$$
$$I_5 = Rln|2R^2| + \frac{R^2-r^2}{2r} ln\frac{r+R}{r-R} - R$$

$$I_6 = \int_0^R ln|2z^2|\, dz = ln2[z]_0^R + [2zlnz]_0^R - 2[z]_0^R = Rln2R^2 - 2R$$

$$\lim_{z\to 0} zlnz = 0$$

$$I_2 = I_3 - (r^2 + R^2)I_4 + 2r^2I_5 - 2r^2I_6$$

$$I_2 = \frac{1}{4r}\left[-2R^3r + 6Rr^3 + (R^4 + 2R^2r^2 - 3r^4)\ln\left|\frac{r+R}{r-R}\right|\right]$$

$$F_y = \frac{2\pi Gm\varrho\omega}{4cr}\frac{1}{4r}\left[-2R^3r + 6Rr^3 + (R^4 + 2R^2r^2 - 3r^4)\ln\left|\frac{r+R}{r-R}\right|\right]$$

$$F_y = \frac{\pi Gm\varrho\omega}{8cr^2}\left[-2R^3r + 6Rr^3 + (R^4 + 2R^2r^2 - 3r^4)\ln\left|\frac{r+R}{r-R}\right|\right]$$

Dla

$$r < R$$

mamy

$$ln\left|\frac{r+R}{r-R}\right| = 2\left(\frac{R}{r} + \frac{R^3}{3r^3} + \frac{R^5}{5r^5} + \frac{R^7}{7r^7} + \frac{R^9}{9r^9} + \cdots\right).$$

Po podstawieniu i wykonaniu odpowiednich działań otrzymujemy.

$$I_2 = \frac{8R^5}{3r^2}\left(\frac{1}{5} + \frac{2R^2}{35r^2} + \frac{R^4}{35r^4} + \frac{4R^6}{231r^6} + \cdots\right)$$

$$F_y = \frac{2\pi G m \varrho \omega}{4cr} \frac{8R^5}{3r^2} \left(\frac{1}{5} + \frac{2R^2}{35r^2} + \frac{R^4}{35r^4} + \frac{4R^6}{231r^6} + \cdots \right)$$

$$F_y = \frac{G m \varrho \omega R^2}{cr^3} \frac{4\pi R^3}{3} \left(\frac{1}{5} + \frac{2R^2}{35r^2} + \frac{R^4}{35r^4} + \frac{4R^6}{231r^6} + \cdots \right)$$

Na element materii lub przestrzeni o masie m, znajdujący się w punkcie P działa siła

$$F_y = \frac{G M m \omega R^2}{cr^3} \left(\frac{1}{5} + \frac{2R^2}{35r^2} + \frac{R^4}{35r^4} + \frac{4R^6}{231r^6} + \cdots \right),$$

prostopadła do wektora $\overrightarrow{SP}$ w płaszczyźnie równikowej kuli.

Siła ta powoduje, że swobodne cząstki przestrzeni znajdujące się blisko kuli poruszają się dookoła kuli zgodnie z jej obrotem. W ten sposób moment pędu kuli jest przenoszony do przestrzeni i kula stopniowo zmniejsza swoją prędkość kątową, w stosunku do cząstek przestrzeni. Przestrzeń dookoła kuli zyskuje pewien moment pędu, który poprzez wzajemne oddziaływanie cząstek przestrzeni rozprasza się w całej przestrzeni. Po bardzo długim czasie kula będzie nieruchoma w stosunku do cząstek przestrzeni, jeżeli w tym czasie nie oddziałuje z cząstkami materii. Pochłanianie materii przez kulę może zmienić jej pęd.

Cząstki przestrzeni oraz cząstki materii znajdujące się blisko takiej kuli zyskują dodatkowy moment pędu zgodny z momentem pędu kuli. Największy moment pędu jest przekazywany do tych cząstek, które są najbliżej kuli.

Dla Ziemi siła

$$F_y = \frac{G M m \omega R^2}{5cr^3},$$

działająca na ciało o masie $1\ kg$, znajdujące się w odległości dwóch promieni Ziemi od jej środka, jest równa

$$F_y = 3{,}8 \cdot 10^{-7}\ N.$$

Odpowiednio przyspieszenie uzyskane przez to ciało jest

$$a = 3{,}8 \cdot 10^{-7}\ \frac{m}{s^2}\ .$$

Gdyby Słońce miało promień $R = 100\ km$, to w odległości $2R$ od jego środka siła działająca na $1\ kg$ masy byłaby równa

$$F_y = 1{,}1 \cdot 10^5 \omega\ \ N.$$

Dla

$$\omega = 10\ \frac{1}{s},$$

co odpowiada prędkości liniowej w odległości R od osi obrotu

$$v = \frac{1}{300} c = 1000\ \frac{km}{s},$$

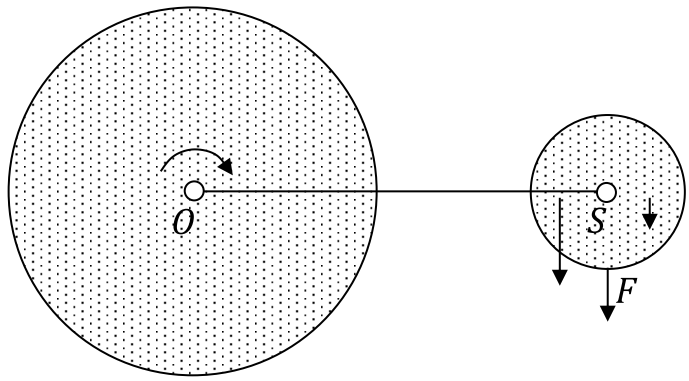
siła działająca na 1 kg masy jest równa

$$F_y = 1{,}1 \cdot 10^6\ N,$$

a przyspieszenie tego elementu

$$a = 1{,}1 \cdot 10^6\ \frac{m}{s^2}.$$

Takie siły działają na masę m, pozostającą w spoczynku, w układzie współrzędnych w którym wiruje kula. Po pewnym czasie cząstki materii lub przestrzeni zaczynają obiegać kulę, zmniejszając swoją prędkość względem jej powierzchni i wówczas wartość siły i przyspieszenia maleje.



Rys. 5.5.4.

Jeżeli w pobliżu wirującej kuli umieścimy drugą, początkowo nieruchomą, to działa na nią siła F, prostopadła do odcinka OS, która powoduje obieganie pierwszej kuli przez drugą (o ile to jest możliwe) w kierunku zgodnym z obrotem pierwszej kuli. Ponadto druga kula zacznie wirować w przeciwną stronę niż pierwsza. Te efekty powinny być widoczne dla bardzo masywnej kuli wirującej z dostatecznie dużą prędkością.

Jeżeli dwa masywne ciała obiegają się nawzajem, to ich moment pędu zmniejsza się wskutek ich oddziaływania z cząstkami przestrzeni. Powoduje to, że zbliżają się do siebie poruszając się po coraz ciaśniejszych orbitach.

5.6. Efekt Biefelda-Browna

Na naładowany kondensator płaski działa siła, prostopadła do jego okładek, o zwrocie od okładki naładowanej ujemnie do naładowanej dodatnio. To zjawisko nazywa się efektem Biefelda-Browna. Można je wyjaśnić zakładając proste oddziaływanie pola elektrycznego na wirtualne grawitony.

W podrozdziale 4.3. oszacowano maksymalną siłę F_{max} działającą na ciało o masie m , jeżeli grawitony są absorbowane przez to ciało z kąta bryłowego o mierze 2π (tylko z jednej strony).

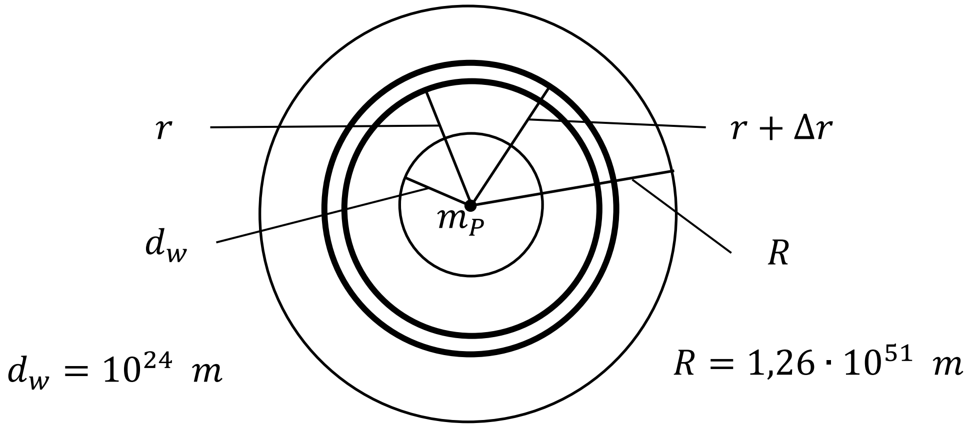
$$F_{max} = 2{,}6 \cdot 10^{13} m \ \ N$$

Dla kąta bryłowego o mierze $\frac{2\pi}{n}$ siła działająca na ciało jest n razy mniejsza. Weźmy ciało o masie m, które z każdego kierunku absorbuje taką samą ilość grawitonów. Na takie ciało nie działa żadna siła. Niech z każdego kąta bryłowego $\frac{2\pi}{n}$ ciało absorbuje A grawitonów, w czasie jednej sekundy. Jeżeli z jednego takiego kąta bryłowego ciało absorbuje dodatkowo $10^{-11} A$ grawitonów, w czasie jednej sekundy, wówczas działa na niego siła

$$F = F_{max} \frac{1}{n} 10^{-11} = 2{,}6 \cdot 10^{2} \frac{1}{n} m \ \ N \ .$$

Jeżeli $2{,}6 \frac{1}{n} = 10^{-1}$ ($n = 26$), to na ciało o masie 1 kg działa siła 10 N, wystarczająca aby podnieść to ciało z powierzchni Ziemi.

Grawitony absorbowane przez punkt materialny są emitowane z warstwy kulistej o promieniach d_w i R, gdzie R jest promieniem kuli oddziaływania grawitacyjnego.



Rys. 5.6.1.

W podrozdziale 4.2. obliczono ilość grawitonów ΔN oddziałujących z punktem materialnym o masie m_P, w czasie Δt, oraz z cząstkami materii i przestrzeni warstwy kulistej, o środku O i promieniach r i $r + \Delta r$.

$$\Delta N = 4\pi a_w m_P^* \varrho_w^* r \Delta r \Delta t$$

$$\Delta N = 4\pi \frac{G}{h\eta^2} m_P \rho_w \eta^2 r \Delta r \Delta t$$

$$\Delta N = 4\pi \frac{G}{h} m_P \rho_w r \Delta r \Delta t$$

Grawiton emitowany z tej warstwy przekazuje do punktu materialnego pęd

$$\frac{h}{r}.$$

Z jednej strony do punktu materialnego jest przekazany sumaryczny pęd

$$\Delta p_1 = 2\pi \frac{G}{h} m_P \rho_w r \Delta r \Delta t \frac{h}{r}.$$

$$\Delta p_1 = 2\pi G m_P \rho_w \Delta r \Delta t$$

Grawitony są absorbowane przez punkt materialny z różnych kierunków, więc wypadkowy pęd przekazany do niego, z jednej strony, jest równy

$$\Delta p = \pi G m_P \rho_w \Delta r \Delta t.$$

Na punkt materialny, o masie m_P, z jednej strony działa siła

$$\Delta F = \pi G m_P \rho_w \Delta r.$$

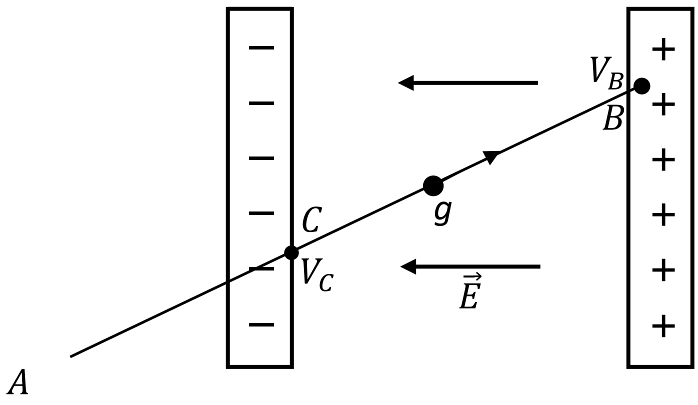
$G = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \ \frac{m^3}{kg\, s^2}$ jest stałą grawitacji i $\rho_w = 10^{-28} \ \frac{kg}{m^3}$ jest średnia gęstością materii i przestrzeni we Wszechświecie.

Każda warstwa kulista o grubości Δr, niezależnie od promienia r, działa z jednej strony na punkt materialny, o masie m_P, siłą

$$\Delta F = \pi G m_P \rho_w \Delta r$$

proporcjonalną do jej grubości.

Weźmy kondensator płaski w którym odległość między okładkami jest mała w stosunku do ich powierzchni.



Rys. 5.6.2.

Założenie 11.

Jeżeli grawiton g został wyemitowany z cząstki A i zaabsorbowany przez cząstkę B, to do cząstki B zostaje przekazana energia

$$E_B = \frac{hc}{|AB|}\left(1 - b\vec{E} \cdot \overrightarrow{CB}\right)$$

i odpowiednio pęd

$$p_B = \frac{h}{|AB|}\left(1 - b\vec{E} \cdot \overrightarrow{CB}\right) \ .$$

Ponieważ

$$V_B - V_C = -\vec{E} \cdot \overrightarrow{CB} \, ,$$

więc do cząstki B zostaje przekazana energia

$$E_B = \frac{hc}{|AB|}[1 + b(V_B - V_C)]$$

i pęd

$$p_B = \frac{h}{|AB|}[1 + b(V_B - V_C)] \ .$$

$\vec{E}$ jest natężeniem pola elektrycznego między okładkami kondensatora, V_B i V_C są odpowiednio potencjałami elektrycznymi w punktach B i C oraz b jest dodatnią wartością stałą. Współczynnik b jest bardzo mały. Cząstka B może należeć do dowolnej z okładek, znajdować się między nimi lub na zewnątrz kondensatora.

Bez obecności pola elektrycznego grawiton przekazuje odpowiednio energię

$$E_B = \frac{hc}{|AB|}$$

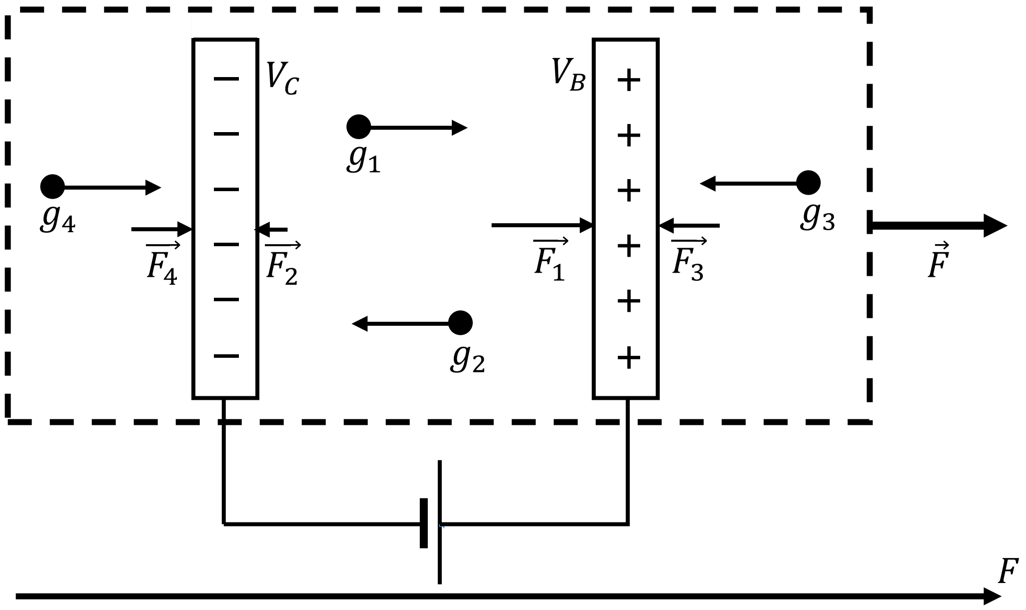
i pęd

$$p_B = \frac{h}{|AB|}\,.$$

W ***Założeniu 2*** wprowadzono wartość $d_w = 10^{24}\ m$, która określa jaki pęd i jaka energia mogą być przekazane przez wirtualny grawiton do cząstki.

Punkt materialny może absorbować grawitony, których energia jest mniejsza lub równa od $\frac{hc}{d_w}$.

Obliczmy siły działające na cząstki okładek naładowanego kondensatora płaskiego oraz na cząstki znajdujące się między okładkami lub na zewnątrz tego kondensatora.



Rys. 5.6.3.

Grawitony g_1, g_2, g_3 i g_4, na rysunku 5.6.3., są przedstawione schematycznie. W rzeczywistości mogą poruszać się w różnych kierunkach. Grawitony typu g_3 tylko z prawej strony okładki naładowanej dodatnio, g_4 tylko z lewej strony okładki naładowanej ujemnie, g_1 i g_2 między okładkami tego kondensatora.

Grawitony g_3 i g_4 poruszające się w stronę okładek kondensatora, jak na rysunku 5.6.2., przekazują do jego cząstek energię

$$E = \frac{hc}{|AB|}$$

i pęd określony wzorem

$$p = \frac{h}{|AB|}\,,$$

jak to zostało określone w ***Założeniu 2*** . W wyniku ich oddziaływania z cząstkami okładek działają na te okładki siły $\overrightarrow{F_3}$ i $\overrightarrow{F_4}$ równe co do wartości, ale przeciwnie skierowane.

Przejście grawitonu przez pole elektryczne zmienia energię i pęd przekazywany do cząstki która go absorbuje.

Grawiton wirtualny g_1, poruszający się od okładki naładowanej ujemnie do okładki naładowanej dodatnio, podczas absorbcji przez cząstkę z okładki naładowanej dodatnio, przekazuje do tej cząstki odpowiedni większą energię E_1 i odpowiednio większy pęd p_1, niż gdyby poruszał się w przestrzeni bez pola elektrycznego lub przestaje istnieć. Zachowuje się tak, jak gdyby przebył mniejszą odległość od punktu emisji do punktu absorpcji.

$$E_1 = \frac{hc}{|AB|}[1 + b(V_B - V_C)]$$

$$p_1 = \frac{h}{|AB|}[1 + b(V_B - V_C)]$$

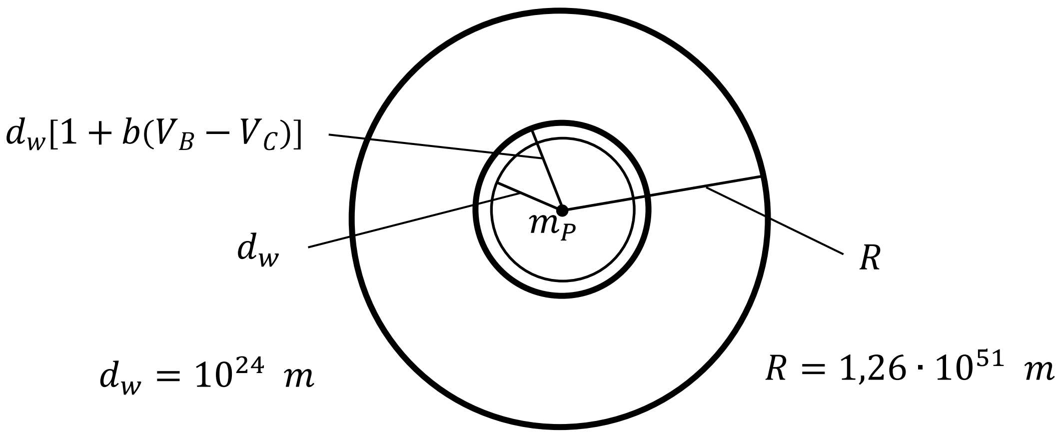
$$V_B - V_C > 0$$

Cząstka należąca do okładki dodatniej absorbuje mniej grawitonów, ponieważ nie absorbuje tych , które w obecności pola elektrycznego mają zbyt dużą energię. Cząstka absorbuje grawitony spełniające warunek

$$\frac{hc}{|AB|}[1 + b(V_B - V_C)] \leq \frac{hc}{d_w}$$

$$|AB| \geq d_w[1 + b(V_B - V_C)]$$

$$d_w[1 + b(V_B - V_C)] > d_w$$



Rys. 5.6.4

W obecności pola elektrycznego cząstka nie absorbuje grawitonów wyemitowanych z warstwy kulistej o promieniach d_w i $d_w[1 + b(V_B - V_C)]$ i grubości $d_w b(V_B - V_C)$.

Na cząstkę od strony okładki naładowanej ujemnie działa siła

$$F_1 = \pi G m_P \rho_w \big(R - d_w - d_w b(V_B - V_C)\big)\big(1 + b(V_B - V_C)\big)\,,$$

będąca wynikiem absorbowania mniejszej liczby grawitonów, ale które przekazują do cząstki większe pędy.

$$F_1 = \pi G m_P \rho_w (R - d_w + Rb(V_B - V_C) - 2d_w b(V_B - V_C) - d_w b^2 (V_B - V_C)^2)$$

Ostatnie dwa wyrazy są bardzo małe w stosunku do trzech pierwszych i można je pominąć.

$$F_1 = \pi G m_P \rho_w \big(R - d_w + Rb(V_B - V_C)\big)$$

Bez obecności pola elektrycznego na cząstkę, z jednej strony, działa odpowiednio siła

$$F_0 = \pi G m_P \rho_w (R - d_w) = 2{,}6 \cdot 10^{13}\, m_P \;\; N\,.$$

Wypadkowa siła F_+ działająca na cząstkę, należącą do dodatnio naładowanej okładki w wyniku oddziaływania z grawitonami g_1 i g_3, jest równa

$$F_+ = \pi G m_P \rho_w R b (V_B - V_C)$$

I ma zwrot od okładki naładowanej ujemnie do naładowanej dodatnio.

$$F_+ = F_0 \frac{Rb}{R - d_w}(V_B - V_C)$$

Ponieważ $\frac{R}{R - d_w}$ z bardzo dobrym przybliżaniem jest równa jeden, więc możemy przyjąć

$$F_+ = F_0 b (V_B - V_C)\,.$$

Jeżeli zamiast m_P podstawimy masą m okładki, to powyższy wzór przedstawia wartość siły działającej na okładkę naładowaną dodatnio, gdzie F_0 jest siłą działającą na okładkę z jednej strony, bez obecności pola elektrycznego.

Grawiton g_2 poruszający się w przeciwną stronę, od okładki naładowanej dodatnio do okładki naładowanej ujemnie, podczas absorbcji przez cząstkę z okładki naładowanej ujemnie, przekazuje do tej cząstki odpowiedni mniejszą energię E_2 i odpowiednio mniejszy pęd p_2. Zachowuje się tak, jak gdyby przebył większą odległość od punktu emisji do punktu absorpcji, niż gdyby poruszał się w przestrzeni bez pola elektrycznego.

$$E_2 = \frac{hc}{|AB|}[1 + b(V_C - V_B)]$$

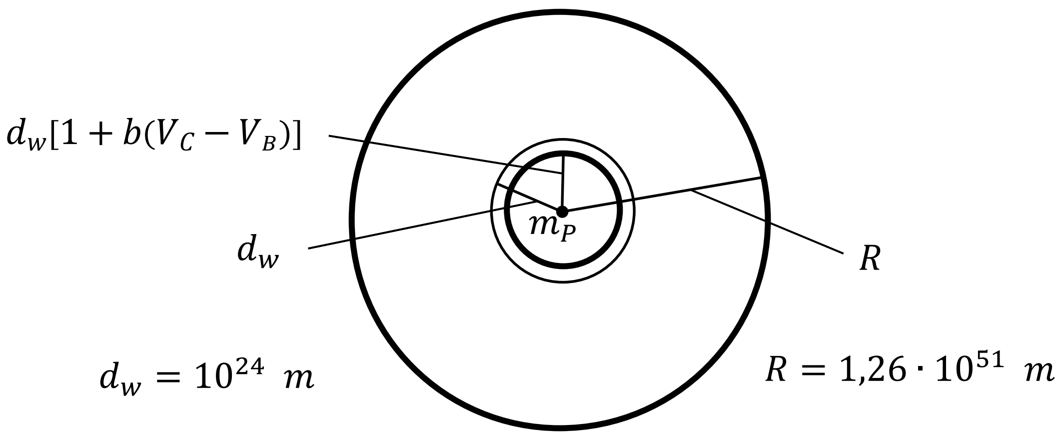
$$p_2 = \frac{hc}{|AB|}[1 + b(V_C - V_B)]$$

$$V_C - V_B < 0$$

Cząstka należąca do okładki ujemnej absorbuje więcej grawitonów w obecności pola elektrycznego niż przy jego braku, ponieważ absorbuje również te grawitony, które bez obecności pola elektrycznego miałyby zbyt dużą energię. Cząstka absorbuje grawitony spełniające warunek

$$\frac{hc}{|AB|}[1 + b(V_C - V_B)] \leq \frac{hc}{d_w}$$

$$|AB| \geq d_w[1 + b(V_C - V_B)]$$



Rys. 5.6.5.

Cząstka absorbuje dodatkowo grawitony wyemitowane z warstwy kulistej o promieniach $d_w[1 + b(V_C - V_B)]$ i d_w oraz grubości $|d_w b(V_C - V_B)|$.

Na cząstkę od strony okładki naładowanej dodatnio działa siła

$$F_2 = \pi G m_P \rho_w \big(R - d_w - d_w b(V_C - V_B)\big)\big(1 + b(V_C - V_B)\big)\,,$$

będąca wynikiem absorbowania większej liczby grawitonów, ale które przekazują do cząstki mniejsza pędy.

$$F_2 = \pi G m_P \rho_w (R - d_w + Rb(V_C - V_B) - 2d_w b(V_C - V_B) - d_w b^2 (V_C - V_B)^2)$$

Ostatnie dwa wyrazy są bardzo małe w stosunku do trzech pierwszych i można je pominąć.

$$F_2 = \pi G m_P \rho_w \big(R - d_w + Rb(V_C - V_B)\big)$$

Bez obecności pola elektrycznego na cząstkę, z jednej strony, działa odpowiednio siła

$$F_0 = \pi G m_P \rho_w (R - d_w)\ .$$

Wypadkowa siła F_- działająca na cząstkę, należącą do ujemnie naładowanej okładki w wyniku oddziaływania z grawitonami g_2 i g_4, jest równa

$$F_- = -\pi G m_P \rho_w R b (V_C - V_B) = F_+$$

i ma zwrot od okładki naładowanej ujemnie do naładowanej dodatnio.

$$F_- = -F_0 \frac{Rb}{R-d_w}(V_C - V_B)$$

Ponieważ $\frac{R}{R-d_w}$ z bardzo dobrym przybliżaniem jest równa jeden, więc możemy przyjąć

$$F_- = -F_0 b (V_C - V_B)\ .$$

Jeżeli zamiast m_P podstawimy masą m okładki, to powyższy wzór przedstawia wartość siły działającej na okładkę naładowaną ujemnie, gdzie F_0 jest siłą działającą na okładkę z jednej strony.

Energia i pęd są emitowane jednakowo w każdym kierunku, więc wypadkowa siła działająca na cząstki kondensatora, w wyniku emisji grawitonów, jest wektorem zerowym.

W wyniku absorbowania grawitonów przez cząstki okładek kondensatora, na kondensator działa siła $\vec{F} = \overrightarrow{F_4} + \overrightarrow{F_2} + \overrightarrow{F_1} + \overrightarrow{F_3} = \overrightarrow{F_-} + \overrightarrow{F_+}$.

$$F = F_- + F_+$$

$$F = 2bF_0 \frac{R}{R-d_w}(V_B - V_C)$$

Wartość $F_0 = \pi G \rho_w R m = 2{,}6 \cdot 10^{13} m\ N$ jest siłą działającą na cząstki okładki kondensatora, o masie m, tylko z jednej strony. Jest to bardzo duża siła.

$$F = 2\pi G m \rho_w R b (V_B - V_C)$$

Promień kuli oddziaływania grawitacyjnego

$$R = \sqrt{\frac{h\eta}{2\pi G\rho_w}}$$

gdzie

$$h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}\ \frac{kgm^2}{s}$$

jest stałą Plancka i

$$\eta = 10^{98}\ \frac{1}{kg \cdot s}$$

jest ilością grawitonów oddziałujących z jednym kilogramem materii w czasie jednej sekundy.

$$F = \sqrt{2\pi G\rho_w h\eta}\, mb(V_B - V_C)$$

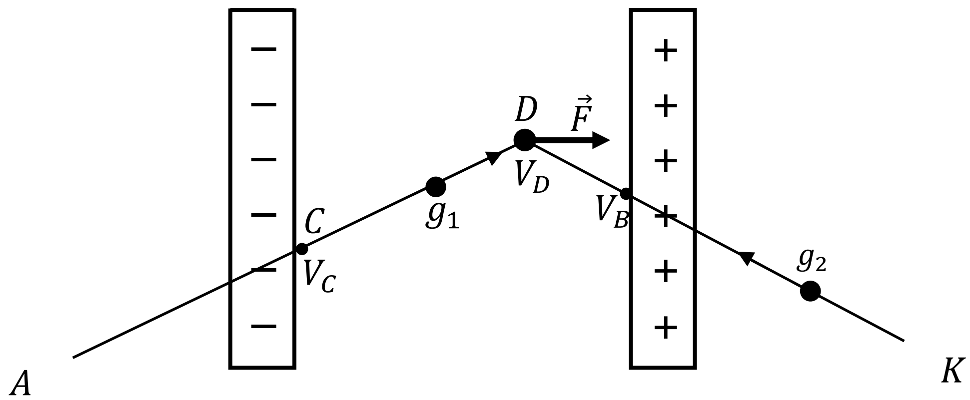
Otrzymany wzór jest bardziej dokładny jeżeli odległość między okładkami kondensatora jest bardzo mała w stosunku do powierzchni okładek.

Siła F zrównoważy ciężar kondensatora, o masie $2m$ na powierzchni Ziemi, gdy

$$\pi G\rho_w R 2mb(V_B - V_C) = 2mg$$

$$b(V_B - V_C) = \frac{g}{\pi G\rho_w R}$$

$$b(V_B - V_C) = \frac{9{,}8}{2{,}6 \cdot 10^{13}} = 3{,}8 \cdot 10^{-14}$$



Rys. 5.6.6.

Do cząstki D znajdującą się między okładkami kondensatora grawiton g_1, wyemitowany w punkcie A i zaabsorbowany w punkcie D, przekazuje pęd

$$p_1 = \frac{hc}{|AD|}[1 + b(V_D - V_C)] ,$$

inny niż wówczas gdy między okładkami nie ma pola elektrycznego.

Na cząstkę D ze strony okładki naładowanej ujemnie działa siła

$$F_{D-} = F_0\left[1 + \frac{Rb}{R - d_w}(V_D - V_C)\right]$$

gdzie F_0 jest siłą działającą na cząstkę D tylko z jednej strony, bez obecności pola elektrycznego.

Grawiton g_2 wyemitowany przez cząstkę K i zaabsorbowany przez cząstkę D przekazuje do cząstki D pęd

$$p_2 = \frac{hc}{|KD|}[1 + b(V_D - V_B)]$$

Na cząstkę D ze strony okładki naładowanej dodatnio działa siła

$$F_{D+} = F_0\left[1 + \frac{Rb}{R - d_w}(V_D - V_B)\right]$$

Na cząstkę znajdującą się w punkcie D w wyniku oddziaływania z grawitonami działa siła

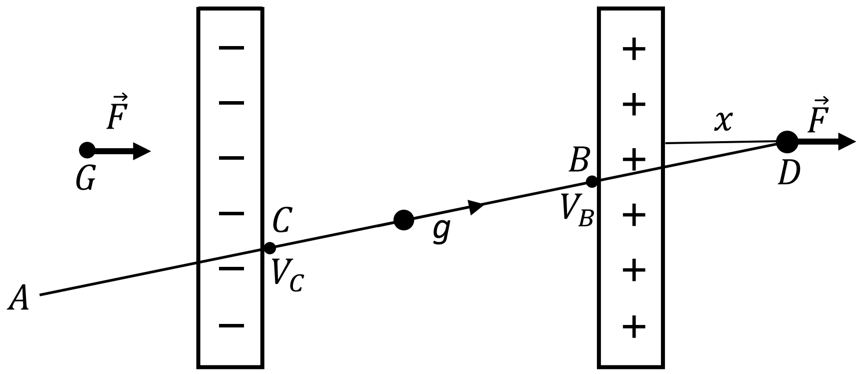
$$F = F_{D-} - F_{D+} ,$$

$$F = bF_0\frac{R}{R-d_w}(V_B - V_C) ,$$

prostopadła do okładek, zwrócona w stronę okładki naładowanej dodatnio (analogicznie jak na cząstki okładek).

Niech między okładkami naładowanego kondensatora znajduje się izolator. Na układ kondensator i izolator działa wypadkowa siła $\vec{F}$, wszystkich sił działających na cząsteczki okładek i izolatora o zwrocie od ujemnie naładowanej okładki do dodatnio naładowanej. Jeżeli dwa kondensatory mają takie same rozmiary i między ich okładkami jest takie samo napięcie, to na kondensator z dielektrykiem działa większa siła niż na kondensator wypełniony próżnią.

Weźmy cząstką D znajdującą się na zewnątrz kondensatora po stronie okładki naładowanej dodatnio.



Rys. 5.6.7.

Grawiton g wyemitowany przez cząstkę A i zaabsorbowany przez cząstkę D przekazuje do niej pęd

$$p = \frac{hc}{|AD|}[1 + b(V_B - V_C)] .$$

Na cząstkę D od strony kondensatora działa siła

$$F_k = F_0\left[1 + \frac{Rb}{R - d_w}(V_B - V_C)\left(1 - \frac{x}{d}\right)\right]$$

dla $x < d$. Z drugiej strony na cząstkę D działa siła F_0.

Na cząstkę D znajdującą się na zewnątrz kondensatora blisko okładki naładowanej dodatnio działa wypadkowa siła

$$F = bF_0\frac{R}{R-d_w}(V_B - V_C)\left(1 - \frac{x}{d}\right)$$

zależna od jej położenia w stosunku do kondensatora, malejąca w miarę wzrostu odległości x tej cząstki od okładki kondensatora, gdzie d oznacza odległość dla której przestaje działać siła F. Siła F ma zwrot od okładki naładowanej ujemnie do okładki naładowanej dodatnio. Podczas zmiany odległości x, cząstki D, od kondensatora zmienia się kąt bryłowy pod jakim widać kondensator z tej cząstki. Dlatego w miarę oddalania cząstki D od kondensatora, maleje siła F.

Również na cząstkę G znajdującą się po drugiej stronie kondensatora działa odpowiednia siła F mająca taki sam zwrot jak siła działająca na cząstkę D.

Uwagi końcowe

Dla wyjaśnieni zjawiska grawitacji i bezwładności przyjąłem pewne założenia początkowe. Starałem się, aby te założenia były możliwie proste i bezwzględnie konieczne. Założenia są tak dobrane, aby wnioski z nich wynikające były zgodne ze znanymi faktami, potwierdzonymi doświadczalnie i zgodne z obserwacjami astronomicznymi.

Na początku przyjąłem założenie, że oddziaływanie grawitacyjne między ciałami jest możliwe za pośrednictwem grawitonów. To założenie zostało zachowane do chwili obecnej. Jednak w miarę upływu czasu moje pojęcie grawitonu jak również sposób oddziaływania przy pomocy grawitonów uległy gruntownej zmianie.

Należało wyjaśnić „przyciąganie” ciał, ich bezwładność, brak hamowania w wyniku oddziaływania z grawitonami i wiele innych kwestii.

Kilka modeli, które miały pokazać jak funkcjonuje „przyciąganie” było błędnymi lub niezadawalającymi. Model przedstawiony w tej pracy jest prosty i myślę, że dobrze prezentuje „przyciąganie” ciał.

Oddziaływanie grawitacyjne zachodzi między elementarnymi cząstkami materii (takimi jak elektron czy kwark) oraz elementarnymi cząstkami przestrzeni, za pośrednictwem grawitonów. Elementarne cząstki materii lub przestrzeni mogą absorbować oraz emitować grawitony. Absorpcja grawitonów przez elementarną cząstkę może być niesymetryczna. O grawitonach zakładam, że są wirtualne i przenoszą między cząstkami pęd oraz energię. Oddziaływanie grawitacyjne dwóch elementarnych cząstek powoduje ich odpychanie a nie przyciąganie. Bliskie ciała nie oddziałują ze sobą grawitacyjnie a ich „przyciąganie” jest skutkiem ich oddziaływania z odległymi cząstkami Wszechświata, za pośrednictwem grawitonów.

Istotną rzeczą jest zachowanie równowagi między ilością grawitonów absorbowanych i emitowanych przez cząstkę, w ustalonych warunkach.

Ważnym elementem jest wprowadzenie nowej definicji masy i zwrócenie uwagi na zależność między masą i czasem. Ta zależność pozwoliła określić współczynnik α określający zmiany tempa upływu czasu i zmiany odległości w różnych punktach pola grawitacyjnego. Z wprowadzonej definicji masy łatwo zrozumieć związek między masą i energią. Dla cząstek elementarnych określono ich masę w zależności od pola ich powierzchni.

Do niedawna podzielałem powszechne przekonanie, że masa grawitacyjna jest równa masie bezwładnej. Pokazałem jednak, że to przekonanie jest błędne; masa grawitacyjna nie jest równa masie bezwładnej. Odrzucenie tego błędnego przekonania pozwoliło na dalszy postęp w budowie modelu oddziaływania grawitacyjnego.

W Ogólnej Teorii Względności zakłada się równość masy bezwładnej i grawitacyjnej. Ta równość nie jest dokładna, więc OTW jest również pewnym przybliżeniem rzeczywistości.

Z istnienia grawitacji, takiej jak opisana powyżej, wynika, że nasz świat nie może być deterministyczny. Na poziomie cząstek elementarnych przypadkowość jest nieusuwalną częścią naszego świata, w pewnej części wynikającą z oddziaływania grawitacyjnego.

Oddziaływanie grawitacyjne w sposób nieprzewidywalny zmienia pęd, energię i położenie cząsteczek. W związku z tym nie można odwrócić kierunku upływu czasu. Gdybyśmy zarejestrowali ruch elektronu a następnie odtworzyli go od końca, to ten obraz nie byłby zgodny z rzeczywistym ruchem elektronu po odwróceniu wektorów prędkości i przyspieszeń wszystkich cząstek. Już po chwili nastąpiłyby przypadkowe emisje i absorpcje grawitonów, które zmieniłyby ruch elektronu w porównaniu z obrazem tego ruchu odtwarzanego od końca. W związku z tym przyjmuję, że istnieje tylko jedna rzeczywistość w danej chwili czasu. Ta rzeczywistość nieustannie się zmienia i nie ma powrotu do tego, co było wcześniej. Na poziomie cząstek elementarnych czas biegnie tylko w jedną stronę. Ze względu na rozszerzanie się Wszechświata nigdy nie zostanie odtworzona sytuacja, jaka zaistniała w przeszłości.

Bardzo ważne było również zrozumienie, że zasada względności jest prawdziwa tylko w przybliżeniu i we Wszechświecie istnieje pewien wyróżniony układ odniesienia.

Przez wiele lat nie mogłem wyjaśnić braku hamowania poruszającego się ciała, w układzie inercjalnym, w wyniku oddziaływania z grawitonami. Ostatecznie aby rozwiązać ten problem przyjąłem, że cząstki elementarne poruszają się w sposób skokowy a nie ciągły. To rozwiązanie równocześnie dobrze się zgadza z tym, że masa grawitacyjna ciała, według mnie, nie zależy od jego prędkości. Może wolałbym, aby cząstki poruszały się w sposób ciągły, ale nie widzę innej możliwości. W końcu jesteśmy przywiązani do pojęć, które znamy od dziecka, które wydają się oczywiste. Jednak oczywiste niekoniecznie znaczy prawdziwe.

W mechanice kwantowej przyjmuje się, że ruch cząstki elementarnej jest ciągły, ale to jest tylko założenie. Chciałem zobaczyć jakie są konsekwencje przyjęcia skokowego ruchu cząstki elementarnej, dlatego podrozdział 1.2. jest trochę rozbudowany.

Oddziaływanie grawitacyjne i bezwładność ciał są wynikiem działania tego samego mechanizmu oddziaływania elementarnych cząstek materii oraz przestrzeni całego Wszechświata, za pośrednictwem grawitonów. Wyjaśnienie mechanizmu bezwładności stało się bardzo proste, gdy zrozumiałem, że podczas dowolnego ruchu ciała w układzie inercjalnym suma pędów przekazanych do tego ciała, przez grawitony z nim oddziałujące, jest wektorem zerowym i połączyłem to z założeniem, że cząstki elementarne mogą zmieniać swój pęd i energię tylko przez emisję lub absorpcję grawitonów.

Wydaje się, że grawitacja warunkuje istnienie cząstek elementarnych poprzez wywieranie na nie ogromnego ciśnienia, dzięki czemu nie ulegają rozpadowi. Często czytam, że grawitacja to bardzo słaba siła. Nie mogę się z tym zgodzić. Nie odczuwamy działania grawitacji tak, jak ryby głębinowe nie odczuwają ogromnego ciśnienia wody w ich środowisku.

Z przyjętych założeń wynika, że siła grawitacji działająca na cząstki elementarne ma zawsze skończoną i ograniczoną z góry wartość. Z tego względu jest wątpliwe istnienie czarnych dziur. Ich istnienie nie jest potwierdzone obserwacjami astronomicznymi. Obiekty o bardzo dużej masie i ogromnej gęstości materii mogą wywoływać takie efekty grawitacyjne w swoim otoczeniu, jak gdyby obserwowany obiekt był czarną dziurą.

Przyjąłem, że Wszechświat ma kształt kuli o bardzo dużych, ale skończonych rozmiarach. Początkowo martwiło mnie, że w tej teorii Wszechświat może się tylko rozszerzać i to ze wzrastającą prędkością, a nie kurczyć jak powszechnie przyjmowano. Jednak później okazało się, że Wszechświat jednak rozszerza się coraz szybciej. Dla zrozumienia zjawiska rozszerzania się Wszechświata nie są potrzebne założenia, powołujące do istnienia nowe rodzaje energii czy nowe pola. To zjawisko wynika w naturalny sposób z określenia oddziaływania grawitacyjnego między cząstkami, przy pomocy grawitonów.

Chciałem zrozumieć jak działa grawitacja, z czystej ciekawości. Dzięki pisaniu mogłem stopniowo osiągać postępy w rozumieniu grawitacji i konsekwencji jej działania. Bez pisania niewiele można osiągnąć podczas wyjaśniania skomplikowanego problemu.

Mam nadzieję, że przedstawiony mechanizm oddziaływania grawitacyjnego nie zawiera sprzeczności i jest zgodny z danymi doświadczalnymi i obserwacjami astronomicznymi.

Stałe fizyczne

$h = 6{,}62607554 \cdot 10^{-34}\ \frac{kg\,m^2}{s}$	*stała Plancka*
$G = 6{,}6725985 \cdot 10^{-11}\ \frac{m^3}{kg\,s^2}$	*stała grawitacji*
$c = 2{,}99792458 \cdot 10^{8}\ \frac{m}{s}$	*prędkość światła w próżni*
$m_e = 9{,}109389754 \cdot 10^{-31}\ kg$	*masa elektronu*
$m_p = 1{,}67262311 \cdot 10^{-27}\ kg$	*masa protonu*

Stałe przyjęte w tej teorii

$d_w = 10^{24}\ m$	*maksymalna odległość dla „przyciągania" grawitacyjnego (1.3.)*
$\eta = 10^{98}\ \frac{1}{kg\,s}$	*ilość grawitonów oddziałujących z 1 kg masy w czasie 1 s (1.6.), (4.3.)*
$k_w = \frac{G}{c^2\eta} = 7{,}4 \cdot 10^{-126}\ ms$	*(1.7.), (1.9.)*
$a_w = \frac{G}{h\eta^2} = 1{,}0 \cdot 10^{-173}\ ms$	*(1.7.), (1.9.)*
$\varrho_w = 10^{-28}\ \frac{kg}{m^3}$	*średnia szacunkowa gęstość materii i przestrzeni (4.1.)*
$R = \sqrt{\frac{h\eta}{2\pi G\varrho_w}} = 1{,}26 \cdot 10^{51}\ m$	*promień kuli odziaływania grawitacyjnego (4.2.)*
$k_w\eta = \frac{G}{c^2} = 7{,}4242671 \cdot 10^{-28}\ \frac{m}{kg}$	

Dane astronomiczne

$1\ l.y. = 9{,}4605 \cdot 10^{15}\ m$	*rok świetlny*
$1\ AU = 1{,}4958787 \cdot 10^{11}\ m$	*jednostka astronomiczna*
$M_S = 1{,}989 \cdot 10^{30}\ kg$	*masa Słońca*
$r_S = 6{,}9626 \cdot 10^{8}\ m$	*promień Słońca*
$M_Z = 5{,}975 \cdot 10^{24}\ kg$	*masa Ziemi*
$r_Z = 6{,}371 \cdot 10^{6}\ m$	*promień Ziemi*
$\varrho_m = 5 \cdot 10^{-29}\ \frac{kg}{m^3}$	*średnia szacunkowa gęstość materii*
$\frac{GM_S}{c^2} = 1476{,}69\ m$	

Indeks