

poła nie odniosła sukcesu i nie będziemy ich omawiać na tych wykładach. Większość z nich to matematyczne gry wymyślone przez matematycznie myślących ludzi, którzy mieli bardzo małą wiedzę o fizyce, i większość z tych gier jest niezrozumiała. Sam Einstein pracował nad tym, a jego pisma na ten temat mają przynajmniej jakiś sens. Mimo to nie ma udanej zunifikowanej teorii pola, która łączyłaby grawitację i elektrodynamikę.

Taki sukces byłby jednak krótkotrwały, ponieważ obecnie mamy w fizyce o wiele więcej niż tylko elektrodynamikę i grawitację i musielibyśmy się martwić o unifikację mezonów, kaonów, neutrin i wszystkich pozostałych około trzydziestu znanych cząstek. Tak więc unifikacja elektrodynamiki i grawitacji nie byłaby wielkim osiągnięciem, ponieważ na świecie jest o wiele więcej niż elektryczność i grawitacja.

Nasze pedagogiczne podejście jest bardziej odpowiednie dla teoretyków mezonu, którzy przyzwyczaili się do pomysłu pól, tak że nie jest im trudno zrozumieć, że Wszechświat składa się z dwudziestu dziewięciu lub trzydziestu jeden innych pól, a wszystko to jest zawarte w jednym wielkim równaniu. Zjawiska grawitacji dodają do puli jeszcze jedno takie pole. Jest to nowe pole, które zostało pominięte we wcześniejszych rozważaniach i jest to tylko jedno z około trzydziestu pól. Wyjaśnienie grawitacji sprowadza się więc do wyjaśnienia trzech procent całkowitej liczby znanych pól.

Możemy nawet opisać nasze podejście w kategoriach fikcji. Wyobrażamy sobie, że w jakimś małym regionie Wszechświata, powiedzmy na planecie takiej jak Wenus, mamy uczonych, którzy wiedzą wszystko o pozostałych trzydziestu polach Wszechświata, wiedzą to samo co my o nukleonach, mezonach itd. I nagle zostaje przeprowadzony nowy, niesamowity eksperyment, który pokazuje, że dwie duże masy neutralne przyciągają się z bardzo, bardzo małą siłą. Co teraz zrobiliby Wenusjanie, mając tak niesamowity dodatkowy fakt doświadczalny do wyjaśnienia? Prawdopodobnie próbowaliby go zinterpretować w kategoriach znanych im teorii pola.

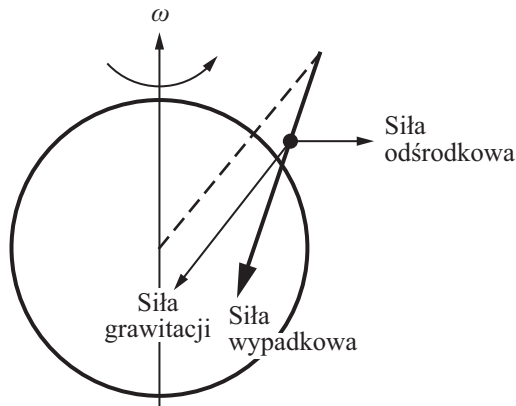
## 1.2. Cechy zjawisk grawitacyjnych

Zanim przejdziemy dalej, dokonajmy przeglądu niektórych faktów doświadczalnych, którymi musiałby się bawić teoretyk z Wenus, tworząc teorię nowego, zadziwiającego zjawiska.

Przed wszystkim jest fakt, że przyciąganie następuje zgodnie z prawem odwrotności kwadratu. Dla nas jest to znane bardzo, bardzo dokładnie z badań orbit planetarnych. Następnie jest fakt, że siła jest proporcjonalna do mas obiektów. Wiedział o tym Galileusz, który odkrył, że wszystkie obiekty spadają z takim samym przyspieszeniem. Na ile dobrze znamy to zjawisko? Cóż, w zasadzie to, co należy zrobić, jest dość jasne. Najpierw definiujemy masę jako bezwładność obiektu, którą mierzymy, przykładając znane siły i mierząc przyspieszenie. Następnie mierzymy przyciąga-

nie wynikające z grawitacji, na przykład przez ważenie, i porównujemy wyniki. Te eksperymenty mierzące siły i przyspieszenia byłyby niezwykle trudne do wykonania z wystarczającą dokładnością, ale istnieją inne sposoby sprawdzenia tego z dokładnością 1 do  $10^8$ , co jako pierwszy zrobił Eötvös. Można to zrobić, porównując siłę grawitacyjną Ziemi z siłą odśrodkową spowodowaną obrotem Ziemi, która jest efektem czysto inercyjnym. W zasadzie pion, który znajduje się na pewnej szerokości geograficznej, nie  $0^\circ$  ani  $90^\circ$ , nie wskazuje środka Ziemi. W rzeczywistości nie wskazuje on środka również z powodu wybrzuszeń Ziemi, ale wszystko to można wziąć pod uwagę przy dokonywaniu porównania. W każdym razie pod jakimś pośrednim kątem, takim jak na rysunku 1.1, pion wskazuje kierunek, który jest wypadkową siły grawitacyjnej i siły odśrodkowej. Jeśli teraz zrobimy pion z jakiegoś innego materiału, który ma inny stosunek masy bezwładnej do grawitacyjnej, to zawisnie on pod nieco innym kątem. Możemy więc porównywać różne substancje. Na przykład, gdybyśmy mogli wykonać pierwszy pion z miedzi, a drugi z wodoru – swoją drogą trudno byłoby go zrobić z czystego wodoru (może wystarczyłby polietylen) – możemy sprawdzić stałość stosunku masy bezwładnościowej do masy grawitacyjnej.

Właściwy eksperyment nie polega na mierzeniu różnic tak małych kątów, ale na mierzeniu momentu obrotowego. Bardzo małe momenty obrotowe są wygodniejsze do mierzenia ze względu na osobliwe właściwości włókien kwarcowych, które mogą być bardzo cienkie, a mimo to mogą utrzymać duże ciężary. Zawiesza się dwa równe ciężary z dwóch materiałów na końcach pręta, a pręt zawiesza się w kierunku wschód–zachód w jego środku. Jeśli składowe sił prostopadłych do sił grawitacyjnych nie są równe, na pręcie występuje wypadkowy moment obrotowy, który można zmierzyć. Z opublikowanych rezultatów z niedawnego doświadczenia Dicke’a, które widziałem, wynika, że nic się nie dzieje – nie ma żadnego efektu, a wniosek jest taki, że stosunek mas bezwładnych do mas grawitacyjnych jest stały z dokładnością 1 do  $10^8$ , dla wielu substancji, od tlenu do ołowiu.



Rysunek 1.1.