

1 Zasada Macha

Dziecko wirujące na karuzeli jest przyciągane przez odległe gwiazdy. Dzieje się tak w myśl zasady Macha, która mówi, że masa „tam” wpływa na bezwładność „tu”. W wyniku grawitacji obiekty będące daleko wpływają na to, jak rzeczy w pobliżu nas poruszają się i wirują. Ale dlaczego tak się dzieje i w jaki sposób można odróżnić, czy coś się porusza, czy nie?

Jeśli kiedykolwiek siedziałeś w pociągu na stacji i wyglądając przez okno, widziałeś jak wagon na sąsiednim torze oddala się od ciebie, wiesz, że czasem trudno ocenić, czy to twój pociąg opuszcza stację, czy drugi na nią wjeżdża. Czy jest jakiś sposób, żeby określić na pewno, który z nich jest w ruchu?

Ernst Mach, austriacki filozof i fizyk żyjący w XIX wieku zmagał się z podobnymi pytaniami. Nie zgadzał się z teorią ogłoszoną przez wielkiego Isaca Newtona, że przestrzeń to tło – siatka, na wzór papieru milimetrowego z naszkicowanym układem współrzędnych, zaś ruch to poruszanie się względem tej siatki. Mach dowiódł, że ruch ma znaczenie tylko, jeśli jest mierzony względem innego przedmiotu, a nie siatki. Co znaczy poruszanie się, jeśli nie jest to ruch względem innego obiektu? W tym sensie Mach będąc pod wpływem wcześniejszej idei konkurenta Newtona – Gottfrieda Leibniza, był prekursorem teorii stworzonej przez Alberta Einsteina w przedkładaniu myślenia, że tylko mówienie o ruchu względnym ma sens. Mach dowodził, że piłka toczy się tak samo we Francji i w Australii

LINIA CZASU (rok)

około 335 p.n.e.

Arystoteles stwierdza, że obiekty poruszają się w wyniku działania sił

1640

Galileusz formułuje zasadę bezwładności

**6 Natura absolutnej przestrzeni,
bez odniesienia do czegokolwiek zewnętrznego,
zawsze jest jednorodna i nieruchoma. 9**

Isaac Newton, 1687 rok

i siatka nie ma wpływu na jej ruch. O tym, jak porusza się piłka decyduje jedynie grawitacja. Na Księżycu piłka toczy się inaczej, ponieważ siła grawitacji oddziałująca na piłkę jest tam słabsza. Wszystkie obiekty we Wszechświecie oddziałują grawitacyjnie – odczuwają obecność innych jako wzajemne przyciąganie. Ruch zależy zatem od rozkładu materii lub mas, a nie od własności samej przestrzeni.

Masa Czym dokładnie jest masa? Jest miarą ilości materii budującej obiekt. Masa kawałka metalu jest równa sumie mas wszystkich atomów, z których jest zbudowany. Należy pamiętać, że masa to nie to samo, co ciężar. Ciężar jest miarą siły grawitacji „ściągnącej masę w dół” – astronauta waży mniej na Księżycu niż na Ziemi, ponieważ siła grawitacji wytwarzana przez mniejszy Księżyc jest mniejsza od siły grawitacji, której źródłem jest większa Ziemia. Natomiast masa astronauty jest taka sama na Księżycu i na Ziemi – liczba atomów, z jakich jest zbudowany nie zmienia się. Według Alberta Einsteina, który pokazał, że masa i energia są równoważne, masa może być zamieniona w czystą energię.

Bezwładność Bezwładność (z łac. *inertia* – lenistwo, bezczynność) jest pojęciem bardzo podobnym do masy i mówi, jak trudno jest poruszyć coś, przykładając do tego siłę. Obiekt o większej bezwładności bardziej opiera się ruchowi. Potrzeba dużej siły, aby poruszyć masywne obiekty w przestrzeni kosmicznej. Gigantyczny, skalny asteroid przecinający

1687

Isaac Newton przedstawia swoje doświadczenie z wiadrem

1893

Ernst Mach publikuje *The Science of Mechanics*

1905

Albert Einstein publikuje swoją szczególną teorię względności

orbitę Ziemi można odchylić od jego toru ruchu w wyniku „mocnego pchnięcia” spowodowanego eksplozją jądrową lub działaniem słabej siły przykładanej przez dłuższy czas. Statek kosmiczny o mniejszej bezwładności niż asteroid może być łatwo sterowany przy użyciu małych silników odrzutowych.

Włoski astronom Galileo Galilei sformułował w XVII wieku zasadę bezwładności: jeśli obiekt pozostawiony jest samemu sobie i nie jest do niego przyłożona żadna siła, wtedy jego ruch pozostaje niezmieniony; jeśli się porusza, kontynuuje ruch z tą samą prędkością i w tym samym kierunku; jeśli się nie porusza, nadal pozostaje w spoczynku. Newton zmodyfikował te prawa, formułując pierwszą zasadę dynamiki.

Wiadro Newtona Newton opisał również grawitację. Zauważył, że masy się przyciągają. Jabłko spada z drzewa na Ziemię, ponieważ jest przyciągane przez jej masę. Ziemia jest przyciągana przez jabłko z taką samą siłą, lecz trudno jest zmierzyć mikroskopowe przesunięcie Ziemi ku jabłku.

Newton udowodnił, że siła grawitacji maleje szybko ze wzrostem odległości, więc gdy znajdujemy się wysoko nad Ziemią, siła przyciągania ziemskiego jest dużo słabsza niż na jej powierzchni (przyciąganie Ziemi mimo że zmniejszone, cały czas odczuwamy). Im dalej od Ziemi się znajdziemy, tym słabsze będzie to oddziaływanie, ciągle jednak będzie wpływać na nasz ruch. W rzeczywistości wszystkie obiekty we Wszechświecie wytwarzają niewielkie przyciąganie grawitacyjne, które w niewielkim stopniu wpływa na nasz ruch.

Newton myśląc o wirującym wiadrze wody, próbował zrozumieć związek pomiędzy obiektem a jego ruchem. Początkowo, kiedy wiadro zaczyna się obracać, woda pozostaje nieruchoma, mimo że wiadro się porusza. Następnie woda zaczyna wirować. Jej powierzchnia zakrzywia się i woda próbuje „uciec z naczynia”, unosząc się na brzegach wiadra, jest jednak „trzymana” przez siłę oddziaływania z wiadrem. Newton dowodził, że rotacja wody może być rozpatrywana tylko z punktu widzenia absolutnej

ERNST MACH 1838–1916

Austriacki fizyk Ernst Mach znany jest nie tylko jako twórca zasady nazwanej na jego cześć zasadą Macha, ale również ze swoich prac z optyki i akustyki, fizjologii postrzegania zmysłami, filozofii nauki, a przede wszystkim ze swoich badań nad prędkością ponaddźwiękową. Opublikował w 1877 roku ważną pracę, w której opisał, jak pocisk poruszający się z prędkością większą niż prędkość dźwięku wytwarza falę uderzeniową podobną do śladu statku na wodzie. To właśnie ta fala w powietrzu powoduje huk naddźwiękowego samolotu. Stosunek prędkości pocisku lub samolotu odrzutowego do prędkości dźwięku jest dziś nazywany liczbą Macha ($2 \text{ machy} = 2 \text{ Ma}$ – to podwojona prędkość dźwięku).

przestrzeni związanej z tłem – siatką (podobną do papieru milimetrowego z naszkicowanym układem współrzędnych). Istotą rozumowania Newtona było to, że zakrzywienie powierzchni wody świadczy o istnieniu przestrzeni absolutnej – przestrzeń absolutna istnieje, bo choć trudna do wykrycia, wywołuje obserwowalne skutki, na przykład przyspieszenia w wirującym wiadrze.

Po latach Mach skrytykował ten pogląd. Zastanawiał się, co by się działo, gdyby wypełnione wodą wiadro było jedynym przedmiotem we Wszechświecie? Skąd wiedzielibyśmy, że wiadro się obraca? Czy wówczas nie można by powiedzieć, że to woda wiruje względem wiadra? Mach doszedł do wniosku, że należy wprowadzić jakiś obiekt do Wszechświata, w którym znajduje się wiadro (powiedzmy ścianę pokoju lub odległą gwiazdę), aby zobaczyć, że wiadro porusza się względem niego. Bez odniesienia do nieruchomego pokoju albo stałej gwiazdy nie można jednoznacznie stwierdzić, czy wiruje woda, czy wiadro. Podobnie jest, kiedy oglądamy, jak Słońce i gwiazdy przemieszczają się po łuku na niebie. Czy to gwiazdy wirują, czy Ziemia? Skąd możemy to wiedzieć?

Według Macha i Leibniza, aby można było mówić o ruchu, musi istnieć zewnętrzny punkt odniesienia, więc pojęcie bezwładności nie miałyby sensu, gdyby Wszechświat zawierał tylko jeden obiekt. Jeśli zatem Wszechświat byłby pozbawiony gwiazd, nigdy byśmy się nie dowiedzieli, że to Ziemia się obraca. Obecność gwiazd informuje nas, że obracamy się względem nich.

Wyrażona w zasadzie Macha idea ruchu względnego, jako przeciwieństwo ruchu absolutnego, inspirowała wielu fizyków, między innymi wybitnego Alberta Einsteina (on to wprowadził nazwę zasada Macha). Einstein wykorzystał założenie Macha, że każdy ruch jest względny, tworząc ogólną i szczególną teorię względności. Rozwiązał również jeden z niewyjaśnionych problemów dotyczących idei Macha – gdzie są siły wynikające z istnienia rotacji i przyspieszenia. Einstein pokazał, że jeśli wszystko we Wszechświecie rotowałoby względem Ziemi, powinniśmy rzeczywiście doświadczać małej siły, która mogłaby powodować „kiwanie się planety” w określony sposób.

Natura przestrzeni zastanawiała uczonych przez tysiąclecia. Współcześni fizycy cząstek elementarnych uważają, że jest ona „kipiącym kotłem cząstek subatomowych”, bezustannie stwarzanych i niszczonych. Wreszcie masa, bezwładność, siły i ruch mogą wszystkie być przejawem „bulgocącej zupy kwantowej”.

TEORIA W PIGUŁCE:

Masa ma znaczenie dla ruchu