

Suma kątów trójkąta narysowanego na powierzchni kuli jest większa od dwóch kątów prostych, czyli (w mierze łukowej)  $\pi$ , a jego pole jest równe kwadratowi promienia kuli pomnożonemu przez to, o ile suma ta przekracza  $\pi$ .

Żadnych takich własności nie ma zwykła płaszczyzna, zwana euklidesową. Zatem geometria powierzchni kuli, czyli sfery, jest geometrią nieeuklidesową. Nietrudno się domyślić, że geometrii nieeuklidesowych jest bardzo wiele. Można też sobie wyobrazić, jak wyglądają geometrie nieeuklidesowe trójwymiarowe. I jak można określić geometrie wyższych jeszcze wymiarów.

Rysując trójkąt na powierzchni kuli rysujemy, jako jego boki, linie możliwie najprostsze, najmniej krzywe (są to w tym przypadku okręgi wielkie) – linie o tej własności nazywają się w dowolnej sytuacji liniami geodezyjnymi. To one pełnią w geometriach nieeuklidesowych rolę prostych. Odległość dwóch punktów, mierzona po powierzchni kuli, to długość najkrótszego łuku łączących te punkty geodezyjnych (na powierzchni kuli na ogół są dwa takie łuki, choć bywa i więcej) – w geometrii nieeuklidesowej tak właśnie definiuje się odległość w każdej sytuacji.

Określona w ten sposób geometria ma na ogół dużo własności innych niż geometria, której uczy się w szkole. Charakterystycznymi dla szkolnej geometrii, dla geometrii euklidesowej, są twierdzenie Pitagorasa, twierdzenie Talesa i istnienie jednokładności o stosunku różnym od 1 i  $-1$ . Najbardziej znaną geometrią nieeuklidesową jest geometria Bolyai–Lobaczewskiego, w której suma kątów w trójkącie jest mniejsza od  $180^\circ$ .

Uznanie geometrii nieeuklidesowych za naukowo poprawne dokonało się niewiele ponad 100 lat temu. Działo się tak, ponieważ utożsamiano geometrię z badaniem fizycznej przestrzeni, a ta nie może być opisana za pomocą wykluczających się teorii. Dopiero Helmholtz 130 lat temu przekonał fizyków i matematyków, że do różnych geometrii fizyk powinien podchodzić jak do skrzynki z narzędziami i wybierać sobie dla opisu konkretnego zjawiska tę geometrię, która najlepiej pasuje, albo którą sam najlepiej umie.

Dziś rozważa się geometrie tak dalece odbiegające od naszej zwykłej geometrii, że nawet o odległości punktów nie da się tam mówić; taką jest np. używana do opisu Kosmosu czasoprzestrzeń wprowadzona przez Einsteina.

Gdybyśmy chcieli znaleźć najbardziej ogólne prawo fizyki, to najlepszym kandydatem byłaby zasada względności: *wszystkie prawa fizyki są takie same względem każdego układu inercyjnego*.

Najbardziej niezwykłym wnioskiem z tej zasady jest fakt, że prędkość światła jest we wszystkich układach inercyjnych taka sama. A więc także w poruszających się względem siebie z bardzo znaczną – byle stałą – prędkością. Fakt ten wskazuje na to, że prędkości nie dają się składać tak jak wektory w geometrii euklidesowej. Tego rodzaju obserwacje zostały ujęte przez Einsteina w rewolucyjnie nową teorię, która zmieniła nasze poglądy na naturę czasu i przestrzeni. Okazały się one sprzężone ze sobą w jedną strukturę zwaną czasoprzestrzenią.

Każda gwiazda zmienia się przez całe swoje życie. Nie każdą jednak nazywamy gwiazdą zmienną. Z dobrym przybliżeniem można powiedzieć, że gwiazdy zmienne to takie, których zmiany możemy bezpośrednio zaobserwować, czyli takie, które zmieniają się szybko. Oczywiście wszystko, co możemy obserwować, to promieniowanie.

Nie oznacza to jednak, że wszystkie gwiazdy zmienne zmieniają w opisanym tempie ilość czy kierunek wysyłanego promieniowania. Najdawniej zostały odkryte *gwiazdy zmienne zaćmieniowe*. Są to gwiazdy zawsze z układów wielokrotnych (np. podwójnych), a zmiany obserwowanego z Ziemi ich blasku biorą się stąd, że składniki układu rytmicznie zasłaniają się wzajemnie. Aby tak było, cały układ musi krążyć w płaszczyźnie przechodzącej przez Ziemię. To, że znamy wiele gwiazd zmiennych zaćmieniowych (np. Algol), świadczy, iż układów wielokrotnych jest na niebie nieprzebrane mrowie – w płaszczyznach przechodzących przez Ziemię obraca się przecież tylko znikoma ich liczba.

Te gwiazdy, które naprawdę, a nie tylko dla ziemskiego obserwatora, zmieniają swój blask, nazywają się *zmiennymi fizycznie*. Jest ich wiele rodzajów.

Najbardziej typowymi są *cefeidy* – gwiazdy pulsujące w rytmie ściśle związanym z ich jasnością absolutną. Jest ich wiele, bo każda prawie gwiazda przynajmniej raz w ciągu swego życia staje się cefeidą.

Zupełnie inne gwiazdy zmienne to *pulsary*. Tu najprościej opisać przyczynę zmian blasku można przez porównanie do latarni morskiej – obracająca się z nieprawdopodobnym (i w dodatku niesłychanie stałym) okresem – rzędu sekund czy milisekund – gwiazda neutronowa omiata Wszechświat stożkiem świetlnym emitowanym przez świecące cząstki spadające na nią.

Jeszcze inny rodzaj gwiazd zmiennych fizycznie to *gwiazdy nowe*. Ich jasność wzrasta gwałtownie (nawet do kilkudziesięciu tysięcy razy) w ciągu kilku godzin czy dni. Zjawisko to wiąże się z ewolucją układów podwójnych, w których jednym ze składników jest biały karzeł. Rozbłyski nowych zdarzają się wielokrotnie, w dużych odstępach czasu.

Mimo podobieństwa nazwy *gwiazdy supernowe* to gwiazdy wybuchem kończące swoje życie – jest to więc zmienność jednorazowa, za to najgwałtowniejsza z obserwowanych we Wszechświecie.

## Względność

W szczególności zmiana jednego inercyjnego układu odniesienia na inny jest transformacją nie tylko przestrzeni, lecz także czasu.

Najbardziej doniosłą konsekwencją tego faktu jest względność równoczesności: dwa zjawiska równoczesne dla jednego obserwatora nie muszą być równoczesne dla innego, tak jak dwa punkty o tej samej pierwszej współrzędnej w jednym układzie nie muszą mieć pierwszych współrzędnych równych w innym.

Wielkość tych efektów zależy od  $v/c$  – stosunku prędkości względnej poruszających się układów do prędkości światła. Wynika stąd zarówno nieprzekraczalność prędkości światła, jak i wzór na równowagę masy i energii

$$E = m \cdot c^2.$$