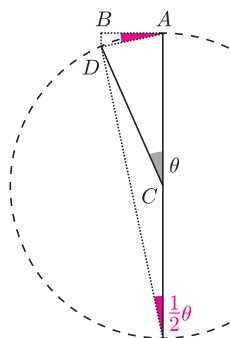


Ślady powstawania idei unifikacji prowadzą do Kopernika, który w swym najsłynniejszym dziele sugerował, że, mówiąc dzisiejszym językiem, kulisty kształt różnych ciał niebieskich ma jedną przyczynę: w znanym podówczas Wszechświecie w każdym jego miejscu miałyby obowiązywać ta sama fizyka. Od czasów Kopernika poglądy na temat Wszechświata zmieniły się zasadniczo, jednak rozwój tej wiedzy wciąż opiera się na postulacie jedności praw fizyki, znanym dzisiaj jako zasada kopernikańska, a przy tym doskonale – w ramach możliwości obserwacyjnych – sprawdzonym.



Ruch obiegowy Księżyca wokół znajdującej się w punkcie C Ziemi. Kąt θ odpowiada przemieszczeniu Księżyca na orbicie w ciągu minuty ruchu i jest tu dla czytelności rysunku znacznie wyolbrzymiony.



Uważa się, że jedną z najważniejszych trudności teoretycznych, jakie Newton musiał przezwyciężyć na drodze do prawa powszechnego ciężenia, było określenie siły grawitacji w pobliżu masywnych, rozciągłych obiektów. Nie wnikamy tu w te subtelności.

Literatura:
S. Chandrasekhar, *Newton's 'Principia' for the Common Reader*, Oxford University Press, Oxford, 1995,
A.K. Wróblewski, *Historia fizyki*, PWN Warszawa 2011.

Naukowcy uwielbiają unifikacje, czyli sytuacje, w których dwa na pozór różne zjawiska lub własności okazują się przejawami tego samego prawa lub przyczyny. Jedno z najbardziej znanych praw fizyki – prawo powszechnego ciężenia Newtona – jest w istocie pierwszym sukcesem programu unifikacji nowożytniej fizyki. Także i dzisiaj postulat unifikacji oddziaływań jest jedną z najważniejszych motywacji badań teoretycznych w fizyce cząstek elementarnych. Warto zatem przyjrzeć się bliżej, jak ta historia się zaczęła oraz jak się – przynajmniej na razie – kończy.

Można się spierać, czy pierwszeństwa sformułowania prawa powszechnego ciężenia nie należałoby przyznać Robertowi Hooke'owi, który już w 1670 roku podczas swych wykładów spekulował, że ta sama siła powoduje spadanie ciał przy powierzchni Ziemi i ruch Księżyca wokół Ziemi. Jednak to Newton w swym wydrukowanym w 1687 roku dziele *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* nadał tej idei precyzyjną matematyczną formę oraz przeprowadził szereg pomysłowych testów słuszności tego prawa. Szczególnie elegancki jest test przedstawiony w dowodzie tezy IV z Księgi III wspomnianego dzieła. Tezę tę można przedstawić w następujący sposób:

Księżyc jest przyciągany grawitacyjnie przez Ziemię; dzięki tej sile grawitacji jest bezustannie odchylany od ruchu prostoliniowego i utrzymywany na orbicie.

Argumentację Newtona uzasadniającą tę tezę można by dziś przedstawić w następujący sposób. Rozważmy przedstawiony na rysunku ruch obiegowy Księżyca wokół Ziemi, znajdującej się w punkcie C . Z pomiarów astronomicznych wykonywanych od czasów starożytnych znamy odległość Księżyca od Ziemi (Newton uśrednia wyniki wielu badaczy, w tym Ptolemeusza i Kopernika). Księżyc, początkowo znajdujący się w punkcie A , po minucie ruchu znajdzie się w punkcie D , przesuwał się na swej orbicie o kąt θ . Ruch ten, zgodnie z postulatem Hooke'a, będzie złożeniem ruchu jednostajnego prostoliniowego z początkową prędkością (przesunięcie od A do B) oraz spadku na Ziemię spowodowanego działaniem przyciągającej siły grawitacji. Ponieważ kąt θ jest bardzo mały, więc możemy stosować przybliżenie $\sin \theta \approx \text{tg } \theta \approx \theta$. Zatem:

$$|BD| \approx \frac{1}{2} \theta \cdot |AD| \approx \frac{1}{2} \theta^2 \cdot |AC|,$$

co doprowadziło Newtona do wyniku $|BD| = 4,875$ m. Promień Ziemi jest 60 razy mniejszy niż odległość Ziemia-Księżyc. Od Huygensa wiemy też, że równoważąca siłę odśrodkową (wynalazek Kartezjusza) siła grawitacji musi być odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między oddziaływającymi ciałami (w przypadku Ziemi odległość tę liczymy od środka planety). Na powierzchni Ziemi siła ziemskiej grawitacji jest więc $60^2 = 3600$ razy silniejsza niż przy Księżycu. Wiedząc zaś od Galileusza, że w spadku swobodnym przebyta droga h jest proporcjonalna do kwadratu czasu spadania t (tj. $h = \frac{1}{2}gt^2$), wnioskujemy, że na powierzchni Ziemi odległość $|BD|$ powinna zostać przebyta w czasie $t = 1$ s. Na podstawie ruchu Księżyca możemy zatem wyznaczyć przyspieszenie grawitacyjne na powierzchni Ziemi:

$$g = \frac{2|BD|}{t^2} = 9,75 \frac{\text{m}}{\text{s}^2},$$

które doskonale zgadza się ze znanymi w czasach Newtona pomiarami. Własności siły grawitacji pozwalają więc na jednoczesne wyjaśnienie spadania przedmiotów na powierzchni Ziemi oraz ruchu obiegowego Księżyca wokół Ziemi. Udało się zunifikować dwie na pozór odległe idee!

Historia ostatniej spektakularnej unifikacji kończy się w lipcu 2012 roku, kiedy to zespoły badawcze działających przy LHC detektorów ATLAS i CMS ogłosiły odkrycie bozonu Higgsa. Istnienie tej cząstki było wnioskiem z zaproponowanego w 1964 roku (przez Petera Higgsa, tandem: François Englert i Robert Brout oraz zespół w składzie: Carl Hagen, Gerald Guralnik i Tom Kibble) mechanizmu, który pozwolił w 1969 roku Abdusowi Salamowi i Stevenowi Weinbergowi ująć w precyzyjną matematyczną formę pomysł Sheldona Glashowa z 1961 roku, że oddziaływania elektromagnetyczne oraz powodujące niektóre reakcje jądrowe oddziaływania słabe są w istocie różnymi przejawami tego samego oddziaływania – elektroslabego.

Nie jest obecnie jasne, czy należy się spodziewać kolejnej unifikacji i jaki miałyby mieć ona charakter. Widać więc, że w fizyce oddziaływań fundamentalnych jest jeszcze trochę problemów do rozwiązania.