

# Jak prąd i magnes podważyły teorię Newtona

Sformułowane w XVII wieku przez Newtona zasady dynamiki oraz prawo powszechnego ciążenia (o czym pisaliśmy w numerze 3/2006) okazały się wielkim triumfem ludzkiego rozumu. Zmieniły nie tylko rozumienie przyrody, ale również dały impuls do rozwoju ludzkości na kolejne trzy wieki. Wraz z nowymi doświadczeniami przyszedł jednak czas na zrewidowanie newtonowskich postulatów.

**MT: Czyżby naukowcy od razu pomyśleli: Newton nie miał racji! Zmieńmy coś!**

**TS:** Wręcz przeciwnie. Mechanika Newtona okazała się dużo bardziej doskonała, niż wydawało się to na pierwszy rzut oka. Od czasów Newtona, w końcu, okazał się możliwy nie tylko opis jakościowy codziennych zjawisk, ale również opis Wszechświata jako ca-



Z zamiłowania zajmuje się popularyzacją nauki. W roku 2005 był nominowany do nagrody w konkursie Popularyzator Nauki organizowanym przez Ministerstwo Nauki i Informatyzacji oraz Polską Agencję Prasową.

Wyjaśnień udziela **Tomasz Sowiński**.

W 2005 roku skończył z wyróżnieniem studia na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w zakresie fizyki teoretycznej. Obecnie jest asystentem w Centrum Fizyki Teoretycznej PAN.

końca XVIII wieku znano tylko planety, które odkryli już starożytni. W roku 1781 Wilhelm Herschel (astronom amator) swoim teleskopem odkrył siódmą planetę Układu Słonecznego – Uran. Szybko jednak okazało się, że porusza się ona po swojej orbicie niezgodnie z prawami Keplera, a co za tym idzie, niezgodnie z mechaniką Newtona!

**MT: Uran nie chce się dostosować do mechaniki newtonowskiej?**

łości. Wiemy już, że mechanika newtonowska jest nierozdzielnie związana z prawami Keplera. Daje jednak coś więcej – możliwość ilościowego przewidywania.

**MT: Co takiego przewidziano, czego się nie da zrobić bez znajomości zasad Newtona?**

**TS:** Może będzie to zaskoczeniem dla czytelników, ale dzięki zastosowaniu praw Newtona odkryto nową planetę! Do

**TS:** To było jedno z możliwych, rozpatrywanych rozwiązań. Jego potwierdzenie byłoby ostateczną klęską praw dynamiki. Francuski fizyk Leverrier uznał, że jest mało prawdopodobne, iż prawa Newtona są błędne i znalazł inne rozwiązanie. Postawił sobie następujące pytanie: Czy dziwny ruch Urana można wytłumaczyć istnieniem innej planety, która na skutek prawa powszechnego ciążenia zaburza jego ruch?

**MT: Jaka była odpowiedź?**

**TS:** Zakładając tę hipotezę oraz prawdziwość praw Newtona i obserwując trajektorię zakreślaną przez Urana, można wyliczyć, gdzie jest tajemnicza planeta i jaką ma masę. Tak też Leverrier zrobił. Następnie napisał do swojego przyjaciela, gdzie w jego mniemaniu jest domniemana planeta. Ten zaobserwował ją jeszcze tego samego dnia. Tak odkryto Neptuna.

**MT: To musiało być wielkie święto mechaniki Newtona.**

**TS:** To prawda – od tej pory nikt nie wątpił już w mechanikę newtonowską i teorie starożytnych na zawsze odeszły do lamusa. Tym bardziej, że tym samym sposobem znaleziono również Plutona. Mechanika Newtona opisywała cały ówczesnie znany świat i zjawiska.

**MT: Jak zatem doszło do podkopania teorii Newtona?**



Wilhelm Herschel

**TS:** Odpowiem tak, jak wielokrotnie już mówiłem – zadziałała zasada naukowego myślenia. Pod koniec XIX wieku pojawiły się doświadczenia sprzeczne z fundamentem mechaniki klasycznej – z zasadą dodawania prędkości Galileusza. Stało się to na gruncie najmniej oczekiwanym – w elektromagnetyzmie. To cała klasa zjawisk, dzieląca się pierwotnie na dwie rozłączne części – magnetyzm i elektryczność.

**MT:** Czyż zatem był magnetyzm?

**TS:** Już starożytni wiedzieli, że istnieją takie materiały, które przyciągają metale bardzo silnie. Same między sobą mogą się natomiast przyciągać lub odpychać w zależności od tego, którą stroną się je zbliża. Dodatkowo zauważono, że jeśli taki materiał położy się np. w małej drewnianej łódce na wodzie, to łódzeczka ta obróci się zawsze w tę samą stronę i będzie płynęła zawsze w tym samym kierunku. W ten sposób odkryto, że Ziemia jest po prostu wielkim magnesem. To oddziaływanie było powszechnie znane już dawno i oczywiście stało jakby obok prawa powszechnego ciężenia Newtona, opisującego oddziaływanie ciał obdarzonych masą.

**MT:** A elektryczność? Wówczas nie było elektrowni i gniazdek.

**TS:** Na początku elektryczność miała związek z włosami. Każdy chyba zauważył przynajmniej raz w życiu, że przy energicznym czesaniu włosów słychać cichutkie trzaski. A później włosy stoją dęba. Mówimy, że się naelektryzowały. Otóż pewne ciała mają taką własność, że gdy się je pociera, to się elektryzują. Przedmioty naelektryzowane przyciągają się lub odpychają. Przy czym jeśli ciało A przyciąga ciało B, a ciało B przyciąga ciało C, to ciało A odpycha się z ciałem C i vice versa. Ciała możemy, zatem podzielić umownie na dwie grupy: z ładunkiem + i ładunkiem -. Ładunki takie same odpychają się, a przeciwnie przyciągają. A siła ich wzajemnych działań zależy od odległości.

**MT:** Co to za siła?

**TS:** Pierwszym, który to zbadał, był Charles Coulomb (1736–1806). Po wykonaniu swoich (przynajmniej, że mało dokładnych) eksperymentów, postawił hipotezę, że prawo oddziaływania ładunków jest podobne do prawa powszechnego ciężenia. Z tym że masy występujące we wzorze Newtona trzeba zamienić na ładunki elektryczne i zapewnić, aby (inaczej niż w przypadku prawa ciężenia) „dwa plusy się odpychały, a minus z plusem przyciągały”.

**Prawo Newtona:**

$$F = G \frac{mM}{R^2}$$

*m, M – masy ciał, R – odległość między nimi, F – siła oddziaływania, G – stała grawitacji*

**Prawo Coulomba:**

$$F = -k \frac{qQ}{R^2}$$

*q, Q – ładunki elektryczne, R – odległość między nimi, F – siła oddziaływania, k – stała Coulomba oddziaływań elektrostatycznych.*



Magnetyzm

**MT:** No, ale jak to się ma do prądu elektrycznego?

**TS:** Otóż dzięki pracom Luigiego Galvaniego (1737–1798) i Alessandro Voltiego (1745–1827) wiemy, że prąd elektryczny to nic innego jak przepływ opisanych przez Coulomba ładunków. Przełom XVIII i XIX wieku otworzył nową gałąź nauki – naukę o prądzie elektrycznym.

**MT:** Doświadczenia nad prądowym prądem prowadziło pewnie wielu naukowców. Czy któreś było szczególnie istotne?

**TS:** Tak, przełomowe doświadczenia przeprowadzili Hans Oersted (1777–1851) i Michael Faraday (1791–1867). Ten pierwszy zauważył, że jeśli w pobliżu przepływającego prądu umieści się igłę magnetyczną, to ustawi się ona prostopadle do kierunku

przepływu prądu. Gdy prąd przestanie płynąć, obróci się, wskazując kierunek północ-południe. To było dziwne, zastanawiające, bo co ma wspólnego prąd z magneselem?

**MT:** Tak pewnie powstał elektromagnetyzm!

**TS:** Właśnie! Dzięki temu doświadczeniu ludzie zrozumieli, że przepływ prądu wpływa na zachowanie się magnesów. Krótko mówiąc – płynący prąd wytwarza pole magnetyczne.

**MT:** A co zatem zrobił Faraday?

**TS:** Faraday przeprowadził doświadczenie odwrotne. Pomyślał, że skoro świat jest taki piękny i taki poukładany, to naturalne wydaje się, iż jeśli prąd wpływa na magnesy, to magnesy powinny wpływać na prąd. Prawda? Faraday właśnie ten wpływ odkrył. Jest z tym związana pewna anegdota, choć nie wiem, czy prawdziwa. Ale pokazuje, jak czasami przyroda sprawia nam niespodzianki.

**MT:** Posłuchajmy jej.

**TS:** Wierząc,

że prąd wytwarza pole magnetyczne, Faraday nawinął drut na dwie drewniane cewki i przepuszczając prąd przez jedną, sprawdził, czy prąd płynie w drugiej. Aby zapewnić optymalne i niebudzące żadnych wątpliwości warunki pracy, odizolował swoje urządzenie.



Replika baterii Voltiego używanej przez Faradaya



Replika elektromagnetycznego induktora Faradaya



Pierwszy generator elektryczny Faradaya



Replika aparatu magnetycznego Faradaya

dzienia od zewnętrznych wpływów. Dodatkowo umieścić obie zwojnice w jednym pomieszczeniu, a połączone z jedną z nich galwanometr w drugim. Aby sprawdzić dokładnie, jak działa pole magnetyczne, ustawiał zwojnice w pewnej konfiguracji i włączał prąd. Następnie szedł do drugiego pomieszczenia, aby sprawdzić efekt. Galwanometr był nieruchomy. Wrócił do pierwszego pomieszczenia i zmienił konfigurację zwojnic. I znowu szedł do drugiego pokoju sprawdzić, co tym razem się zdarzyło. Nic się nie działo. Swoje doświadczenie powtarzał wielokrotnie, z identycznym efektem. Galwanometr ani drgnął. Był przekonany, że ma rację i nie rozumiał, dlaczego doświadczenie nie wychodzi.

**MT: Co zatem się stało, że się udało?**

**TS:** Pewnego dnia przyjechał do niego przyjaciel. Spotkanie to okazało się milowym krokiem na drodze nauki. Rozmowa mogła wyglądać mniej więcej tak:

- Choć pokażę ci, co robię – mówił Faraday, pokazując dwie zwojnice. – Mam przecucie, że to wpływa na siebie nawzajem. Niestety galwanometr nic nie wykazuje. Ustawiałem wszystkie urządzenia wielokrotnie w różnych konfiguracjach i nic! Ciągłe nic!
- Mimo wszystko popatrzmy – stwierdził przyjaciel – może jeszcze coś trzeba poprawić.

Weszli do pomieszczenia, w którym był galwanometr. Oglądali i sprawdzali. Wszystko wydawało się w porządku. Przeszli do pokoju, w którym leżały zwojnice. Tu również wszystko wydawało się podłączone prawidłowo.

- A może z notatek coś wywnioskujemy? – zapytał przyjaciel.
- Popatrzmy i na nie – zgodził się Faraday – ale zostawiłem je w pomieszczeniu obok. Zaraz przyniosę, poczekaj tutaj. – Notatki leżały obok galwanometru. Zbierając je, Faraday zauważył, że galwanometr się wychylił!
- O prąd? Ale skąd? Dlaczego?

- Chodź, zobacz! Coś się dzieje! – wołał przyjaciela. Lecz gdy ten przybiegł, galwanometr znowu niczego nie wskazywał.

Głowili się obaj, jak to się stało?

- Galwanometr się wychylał, ale teraz ani drgnie – mówił Faraday. – Czy ty czegoś nie ruszałeś, gdy wyszedłem? – zapytał swego gościa.
- Nie. Ja tylko oglądałem magnesy, których używasz, ale szybko odkładałem je dokładnie na wyznaczone miejsce – odpowiedział przyjaciel.
- To idź tam i zrób to jeszcze raz – poprosił badacz. No i oczywiście galwanometr drgnął. I tak Faraday stwierdził, że aby popłynął prąd, musi zadziałać magnes w ruchu, czyli zmienne pole magnetyczne.

**MT: Ciekawe, czy ta anegdota jest prawdziwa?**

**ST:** W każdej jest zawsze odrobina prawdy. Podczas prowadzenia badań pionierskich często tak się dzieje, że prawidłowe rozwiązanie przychodzi z najmniej oczekiwanej strony.

**MT: Zatem tak połączono teorię magnesów i prądów.**

**TS:** Tak. Właśnie tak powstał elektromagnetyzm. Ostatecznym krokiem było sformułowanie teorii elektromagnetyzmu, tzn. podanie postulatów. Dokonał tego James Maxwell (1831–1879). Zauważył on, że wszystkie zjawiska elektromagnetyczne można zrozumieć i opisać, opierając się jedynie na czterech postulatach, dziś zwanych prawami Maxwella. Słowami można opisać je tak:

**Pierwsze:** Istnieją ładunki elektryczne i one wytwarzają wokół siebie pole elektryczne, tak żeby oddziaływały zgodnie z prawem Coulomba

**Drugie:** Nie ma ładunków magnetycznych.

**Trzecie:** Poruszające się ładunki (a zatem płynący prąd) wytwarzają pole magnetyczne, przy czym zmienne pole elektryczne wytwarza zmienne pole magnetyczne.

**Czwarte:** Zmienne pole magnetyczne wytwarza zmienne pole elektryczne.

Z tych postulatów wynikają pewne ciekawe wnioski.

Pierwszy jest taki, że pola elektryczne i magnetyczne są pewnymi bytami fizycznymi, które mogą istnieć niezależnie od materii. Oczywiście ładunki elektryczne wytwarzają te pola, ale dzieje się też odwrotnie: te pola wpływają na ruch ładunków.

Drugi wniosek jest jednak dużo ważniejszy. Z praw Maxwella wynika istnienie fal elektromagnetycznych – rozchodzących się w przestrzeni zaburzeń pola elektrycznego i magnetycznego, wytwarzających się nawzajem.

To było przewidywanie oparte na teorii Maxwella, bo takiego zjawiska wówczas nie znano. Na dodatek z praw Maxwella można wyliczyć teoretycznie, jaka jest prędkość rozchodzenia się tych fal. Gdy wykonana się obliczenia (jako pierwszy wykonał je sam Maxwell) okazuje się, że całkiem przypadkowo, jest ona równa znanej już od czasów Galileusza prędkości rozchodzenia się światła.

**MT: Mam podejrzenia, że to nie może być przypadek.**

**TS:** Oczywiście! Światło jest falą elektromagnetyczną. Inne fale elektromagnetyczne, odkryte pier-

wszy raz przez Heinricha Hertza (1857-1894), były falami radiowymi wytworzonymi bezpośrednio przez poruszające się przewodniki z prądem i magnesy. Udało mu się za pomocą tych fal przesłać sygnał na odległość kilku metrów. Tak powstała pierwsza stacja radiowa. Kilkanaście lat później udało się przesłać Marconiemu sygnał przez Atlantyk. Był to ewidentny dowód na to, że Maxwell miał rację!

**MT: Czy fale elektromagnetyczne są podobne do innych fal?**

**TS:** Jest dużo podobieństw, ale i są różnice. Podstawowa różnica dała podwaliny pod przewrót naukowy na początku XX wieku! Chodzi o ośrodek, w którym rozchodzą się fale. Otóż naturalnie wydaje się założenie, że fale te rozchodzą się w jakimś ośrodku – historycznie zwanym eterem. Zgodnie z prawami Maxwella prędkość fal w eterze powinna być równa prędkości światła. Eter musiałby mieć niesamowite własności, aby to była prawda. Doskonała przezroczystość (nie widać go nawet pod mikroskopem), doskonale lekki (lżejszy od powietrza, bo światło rozchodzi się w kosmosie) i supersprężysty (prędkość światła jest bardzo duża). Ale najważniejszy problem leżał gdzie indziej. Skoro światło rozchodzi się w eterze z prędkością światła, to jeśli tylko poruszamy się względem eteru, powinniśmy zmierzyć inną prędkość światła zgodnie z zasadą dodawania prędkości Galileusza.

**MT: Czy próbowano dokonać takich pomiarów, skoro prędkość światła jest tak duża?**

**TS:** Rzeczywiście, wydaje się to bardzo trudne, ale wykonano taki pomiar w roku 1887. Było to słynne doświadczenie Michelsona i Morleya. Opiera się ono na następującym spostrzeżeniu: Słońce porusza się względem eteru z pewną prędkością (a być może spoczywa). Ziemia porusza się wokół Słońca po orbicie, zatem na pewno względem eteru. W związku z tym prędkość światła na Ziemi musi zależeć od kierunku, w którym się ją mierzy. Michelson i Morley potrafili wykonać takie doświadczenie z ogromną dokładnością.



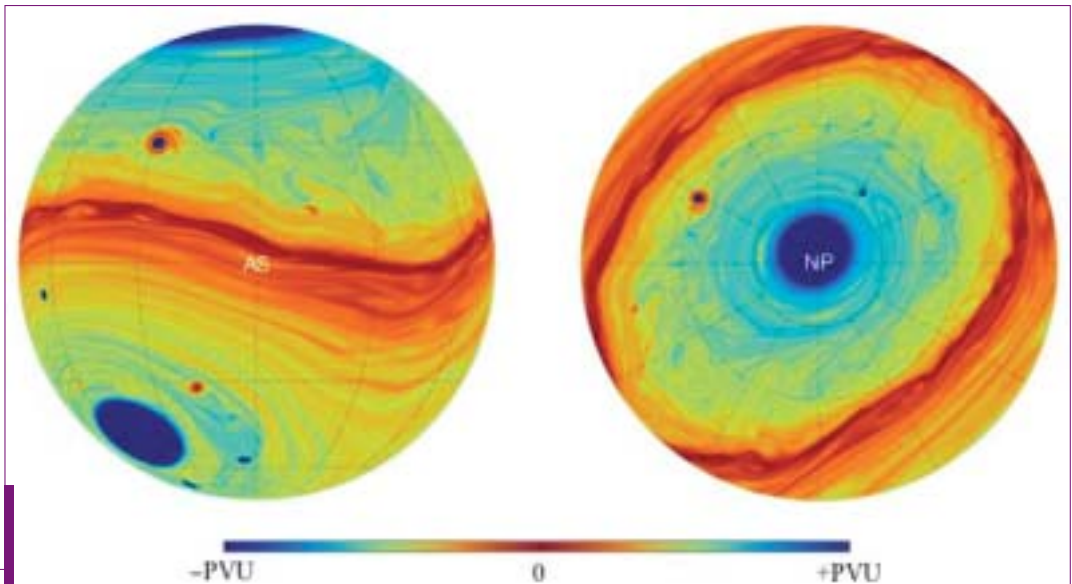
**MT: Czy wyliczyli jakąś różnicę?**

**TS:** Tu jest właśnie istota sprawy. Doświadczenie, które było wielokrotnie powtarzane przez wielu ludzi, wykazało ponad wszelką wątpliwość, że tej różnicy w ogóle nie ma. Tzn. niezależnie od kierunku mierzenia prędkości światła ma ona zawsze tę samą wartość – tę, która wynika z równań Maxwella. Niezależnie od tego, czy źródło światła się porusza, czy spoczywa, czy obserwator się porusza, czy spoczywa, prędkość światła ma zawsze tę samą wartość.

**MT: Jest to przecież niezgodne z zasadą dodawania prędkości Galileusza, czyli mechaniką Newtona. I w ogóle wydaje się absurdalne.**

**TS:** Ale taki jest fakt obserwacyjny! Właśnie tak został przygotowany grunt pod wielki przełom w fizyce. Przyszedł wiek XX i czas na rozwiązanie tego wydawałoby się całkowicie niemożliwego do rozwiązania problemu. Do tego potrzebny był geniusz na miarę Isaca Newtona, Galileusza, Kopernika... Potrzebny był geniusz Alberta Einsteina, ale o tym porozmawiamy następnym razem. ●

*Rozmawiała Wiesława Karolewska*



Natężenie ziemskiego pola magnetycznego