

Niejednokrotnie mieliśmy okazję się przekonać, że ważne odkrycia naukowe przychodzą niekiedy w najmniej oczekiwanych okolicznościach. Sztandarowym przykładem takiej właśnie historii jest odkrycie „trzęsących się drobin” dzisiaj znanych jako ruchy Browna. Choć początkowo nic tego nie zapowiadało, stały się one jednym z fundamentalnych odkryć nowożytniej fizyki molekularnej i doprowadziły do powstania jednego z fundamentów współczesnej fizyki teoretycznej – tzw. **teorii kinetycznej**.

ODKRYCIE PEWNEGO BOTANIKA

Historia ruchów Browna rozpoczęła się dość niewinnie w pierwszej połowie XIX wieku. Były to czasy rozkwitu ówczesnej myśli technicznej. To właśnie wtedy na dobre już trwała rewolucja przemysłowa i społeczeństwa europejskie dobrze rozumiały, że odkrycia naukowe mają bezpośrednie przełożenie na wygodę codziennego życia. Przełomowym momentem było zapewne skonstruowanie maszyny parowej, która zrewolucjonizowała chyba wszystkie dziedziny ówczesnego życia – od przędzalnictwa, przez hutnictwo i górnictwo, aż po rybołówstwo i kolej. Podkreślmy, że były to również czasy wielkich odkryć i przełomowych idei w biologii i medycynie. Wystarczy tutaj przytoczyć choćby osobę Ludwika Pasteura – pioniera nowoczesnej bakteriologii i twórcy pierwszych szczepionek, czy Karola Darwina – jednego z najwybitniejszych biologów, twórcy teorii ewolucji, bez której nie sposób dziś zrozumieć pochodzenia gatunków organizmów żywych.



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. Z zamiłowaniem 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.

nej na szkiełku mikroskopowym wody wrzucą się pobrane z kwiatów pyłki. Dzięki takiemu zabiegowi niepożądany ruch pyłków jest bardzo utrudniony i można je łatwo obserwować pod mikroskopem. Gdyby natomiast nie były one zanurzone w wodzie, a jedynie położone na szkiełku, to nawet delikatny podmuch powietrza (np. pochodzący z oddechu badacza) bez trudu mógłby je porwać i unieść w powietrze. Pyłki mają przecież to do siebie, że przebywają ogromne odległości między kwiatami właśnie dzięki ruchom powietrza. To w końcu podstawowe zadanie, jakie powierzyła im Natura!

Tajemnica trzęsącego się pyłku kwiatowego

Tomasz Sowiński

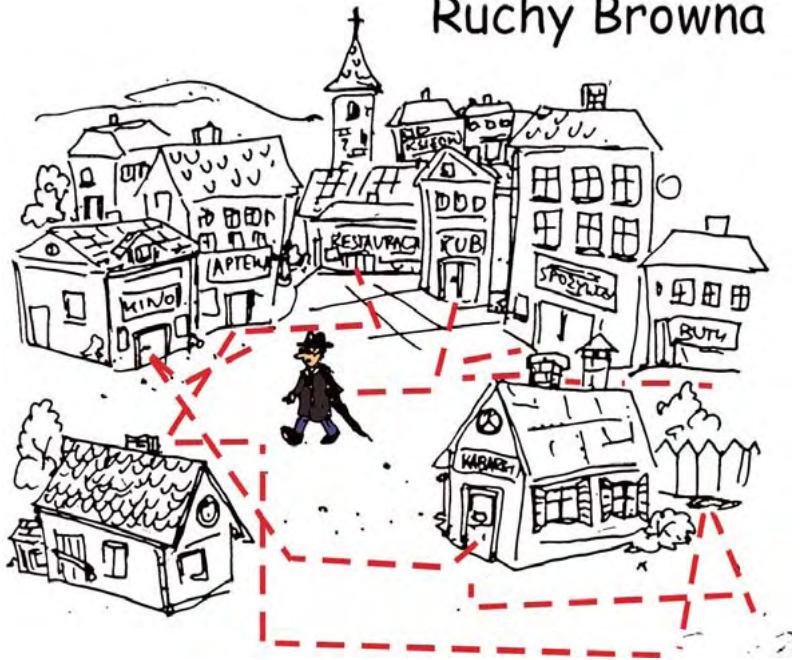
W takich oto warunkach – dużego społecznego uznania dla pracy naukowej – swoje badania prowadził szkocki botanik Robert Brown. Jego praca była głównie skupiona wokół problemu zapyłania kwiatów różnych roślin. W tamtych czasach nie był bowiem do końca jasny sposób w jaki dochodzi do przenoszenia ziaren pyłku pomiędzy kwiatami. I choć na tym polu Brown mógłby się poszczycić wieloma ciekawymi obserwacjami, których dokonał, to jednak zasłynął w świecie z zupełnie innej przyczyny. Aby lepiej zrozumieć, jak doszło do fenomenalnego odkrycia, którego dokonał Brown, musimy troszkę opowiedzieć o samej metodologii badań, jaką stosował.

Badanie pyłków kwiatowych Brown prowadził, obserwując ich mikroskopowe struktury. Ze względu na fakt, że pyłki kwiatowe z samej swej natury są bardzo małe i delikatne, jednym z najlepszych sposobów ich obserwowania jest stworzenie ich zawiesiny wodnej. Do bardzo czystej, odpowiednio rozsmarowa-



Ruchy Browna

Dzięki umieszczeniu pyłków kwiatowych w wodzie Brown mógł bardzo dokładnie obserwować ich zachowanie i strukturę. Odkrycie, którego dokonał w 1827 roku, było wręcz niespotykane. Pyłki kwiatowe umieszczone w wodzie **ciągle się ruszają**. Sam Brown mówił, że wygląda to tak, jakby się „trzęsły z zimna” albo zachowywały jak „niezorganizowany rój komarów”. Zaciękał w tym odkryciem badacz dokładnie przyjrzał się tym trzęsącym pyłkom i dostrzegł, że zjawisko to polega na, wydawałoby się, całkowicie chaotycznym ruchu pyłku. Wygląda to tak, jakby pyłek w jednej chwili przemieścił się na małą odległość w jakimś kierunku, aby za chwilę przesunąć się w zupełnie inną stronę. Ruch ten wydaje się całkowicie nieskoordynowany i jest na tyle szybki, że bardzo trudno jest „nadażyć” za drobiną. Kierunek, w którym w danej chwili pyłek się przesuwają, jest całkowicie losowy i nie zależy od rozłożenia innych pyłków w wodzie. Brown nie dostrzegł też żadnego związku pomiędzy kolejnymi przesunięciami, tzn. kierunek, w którym przesuwają się pyłki, zupełnie nie zależy od tego, jak przesuwali się on wcześniej. Można powiedzieć, że pyłek zupełnie „nie pamięta”, jak się przesunął dotychczas i za każdym razem „podjmuje decyzję” o kolejnym kroku zupełnie losowo.



ką postawił, by wytłumaczyć dziwny ruch drobin, było przypisanie im **pierwiastka żywego**. Było to oczywiście najprostsze i najłatwiejsze wytłumaczenie. Skoro pyłki kwiatowe pochodzą z organizmu żywego (rośliny), to może same są również organizmem żywym. Wtedy ich ruch byłby całkowicie wytłumaczalny, bo przemieszczanie się to jedna z podstawowych funkcji, jaką mają organizmy żywe. To tłumaczyłoby również, dlaczego ruch jest tak bardzo nieskoordynowany i nie daje się jakoś przewidywać. Tak samo jak nie potrafimy przewidzieć, w którą stronę pójdzie mrówka, tak nie potrafimy przewidzieć, jak będzie poruszał się żywy pyłek kwiatowy. Organizmy żywe poruszają się przecież tak, jak same chcą!

PIERWSZA HIPOTEZA BROWNA

Robert Brown był zupełnie zaskoczony swoim odkryciem i nie potrafił znaleźć przyczyny, dla której pyłki kwiatowe poruszają się w tak dziwny sposób. Musiał chyba jakoś przez skórę czuć, że jest w tym jakaś ciekawa zagadka przyrodnicza, bo postanowił poświęcić dalszą swoją pracę na badania nad tym właśnie zjawiskiem.

Warto w tym miejscu dodać, że Brown wcale nie był pierwszym, który zaobserwował to dziwne zachowanie drobin. Już w połowie XVIII wieku zjawisko to było dostrzeżone przez innych badaczy (np. Johna Needhama), ale nie mieli oni na tyle silnej intuicji naukowej, aby temu problemowi przyrzeć się bliżej. To właśnie Brownowi zawdzięczamy nie tylko dostrzeżenie tego spektakularnego zjawiska, ale również podjęcie nad nim badań naukowych. To on jako pierwszy kupił swoją przyrodniczą dociekliwość na tym odkryciu i dlatego nie ulega żadnej wątpliwości, że nazwa „ruchów Browna” jest całkowicie usprawiedliwiona. Zapamiętaj zatem, drogi Czytelniku, że gdy dokonasz jakiegos odkrycia, nie staraj się udowodnić, że byłeś pierwszy, który je dostrzegł, ale staraj się być pierwszym, który się nad nim głęboko zastanowił i próbował naukowo wytłumaczyć.

Brown był z wykształcenia biologiem. Nie powinno zatem nikogo dziwić, że pierwszą hipotezą, ja-

OBALENIE HIPOTEZY

Obalenia swojej hipotezy o źródle nieskoordynowanych ruchów cząstki dokonał już sam Brown. Tu właśnie przejawia się jedna z podstawowych cech dobrego naukowca, którą Brown posiadał – krytyczny stosunek do swoich hipotez. Brown nie osiadł bowiem na laurach i nie ogłosił swojej hipotezy, tylko postanowił ją dogłębnie doświadczalnie sprawdzić. Zaczął, po pierwsze, badać pyłki najróżniejszych kwiatów, które jak się okazało, pod mikroskopem mają przedziwne kształty. Ponieważ z Brown wiedział, na co ma zwracać uwagę, dostrzeżenie chaotycznego ruchu pyłków nie było już takie zaskakujące. Z obserwacji badacza wynikało jasno i bez żadnych wątpliwości, że wszystkie pyłki kwiatowe, choć różnych kształtów i rozmiarów, w wodzie zachowują się bardzo podobnie – „trzęsą się z zimna” i przemieszczają. Jest to zatem na pewno cecha ogólna wszystkich pyłków kwiatowych.

Kolejnym krokiem, który miał potwierdzić egzystencjalne pochodzenie dziwnych ruchów, było pokazanie, że drobinę materii nieożywionej takiego ruchu nie wykazują. W tym celu Brown zbadał, jak zach-

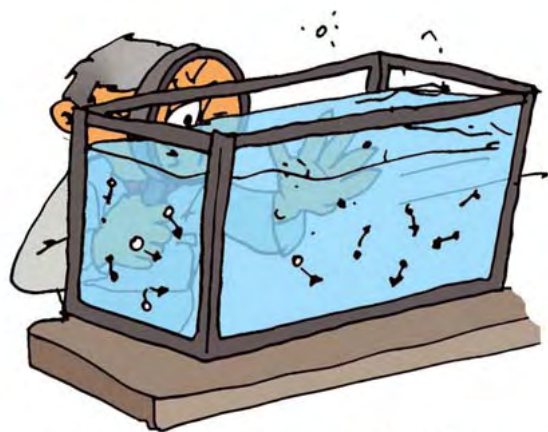
wują się inne drobin, nie pochodzące od żywych organizmów, w wodnej zawieszynie. Początkowo były to drobin kurzu, później zmielonej kredy. Jakim zaskoczeniem dla Browna było spostrzeżenie, że drobin nieorganiczne wykonują dokładnie taki sam chaotyczny ruch jak pyłki kwiatowe, możemy sobie jedynie wyobrazić. Nie ulegało jednak wątpliwości, że to co dziś nazywamy ruchami Browna, nie jest cechą jedynie pyłków kwiatowych, ale wszystkich drobin zanurzonych w cieczy. Również tych, które nie pochodzą od materii żywej.

Robert Brown opisał wyniki swoich badań nad dziwnym ruchem drobin materii w małej broszurce zatytułowanej „Krótki raport na temat obserwacji mikroskopowych wykonanych w miesiącach lipcu, sierpniu i wrześniu 1827 roku nad cząstkami zawartymi w roślinach pyłkowych; oraz o powszechnym występowaniu aktywnych molekuł w ciałach organicznych i nieorganicznych”. Początkowo praca ta nie była nigdzie opublikowana, ale bardzo szybko została dostrzeżona i jej przedruki znalazły się w wielu ceniowych wówczas czasopismach naukowych. Tytuł ten podają nie bez przyczyny. Odsłania on bowiem osobisty stosunek Browna do swojego odkrycia. Tak jakby czuł, że odkrył coś ważnego (powszechność jakiegoś zjawiska), ale nie umie tego dobrze nazwać.

Z treści tej pracy wynika bowiem, że dobrze wiedział, że chodzi o ruch drobin w zawieszinach, ale w tytule nazwał je aktywnymi molekułami (org. ang. *active molecules*). Był tak bardzo ostrożny w jakimkolwiek ferowaniu wniosków, że w pierwszym zdaniu swojej pracy pisze: „Obserwacja, którą chciałbym podsumować na kolejnych stronach tej pracy, została dokonana prostym mikroskopem składającym się z pojedynczej soczewki, której ogniskowa wynosiła 1/32 cala”. Tak jakby nie wierzył w to, że odkryte przez niego zjawisko rzeczywiście istnieje, że być może jest wynikiem niedoskonałości jego eksperymentu. Jednak wraz z każdym kolejnym zdaniem coraz bardziej przekonuje, że to, co odkrył, rzeczywiście istnieje. Pytanie, jakie stawia, jest oczywiste: **skąd bierze się chaotyczny ruch drobin zanurzonych w wodzie?** Pytanie to, choć bardzo proste, musiało czekać aż 80 lat na poprawną odpowiedź. Przez ten czas różne hipotezy nie doczekały się kompletnego potwierdzenia.

BURZA MÓZGÓW

Informacja o odkryciu zagadkowego ruchu drobin materii dość szybko rozniosła się po ówczesnym świecie naukowym. Bardzo szybko zaczęto używać terminu „ruchy Browna”, który zresztą bardzo się przyjął i pozostał do dnia dzisiejszego. Wy tłumaczenie ruchów Browna w sposób jednoznaczny i poprawny było dużym wyzwaniem i wszystkie próby wcześniej czy później wydawały się nie do końca poprawne. A takich prób wyjaśnienia ruchów Browna przez najróżniejsze zjawiska naprawdę było bardzo wiele. Wszystkie wychodziły oczywiście z założenia, że ruchy te nie mogą być spowodowane jakimiś wewnętrznymi własnościami drobin i pochodzą z zewnątrz. Jak pamiętamy, już sam Brown bowiem wykazał empirycznie, że ruch ten istnieje dla bardzo wielu rodzajów drobin, o najróżniejszych kształtach i wielkościach, pochodzących zarówno z organizmów żywych,



W świetle widać ruchy Browna!

jak i z materii całkowicie nieożywionej. Przyjęcie, że to wewnętrzne własności drobin są odpowiedzialne za owe ruchy, jest zatem bardzo mało prawdopodobne i prowadzi do jeszcze większej zagadki – co to za przedziwna rzecz siedzi w tych drobinach, że drgają one chaotycznie jak szalone. Skoro zatem to czynniki zewnętrzne są odpowiedzialne za trzęsące się drobin, to pole do działania jest bardzo wielkie. Zjawisk fizycznych, które za to mogą być odpowiedzialne, jest przecież bardzo dużo. Rozpoczęła się wielka dyskusja naukowa o źródle ruchów Browna. Prawdziwa burza mózgów.

Jedną z pierwszych nieudanych hipotez było założenie, że za ruch drobin odpowiadają mikroskopowe prądy ciepłe w wodzie. Hipoteza brała oczywiście swoje źródło w obserwacji, że z podobnymi prądami cieplnymi mamy do czynienia w makroskali. Znane oceaniczne ruchy mas wody (prądy morskie) potrafią przemieszczać zanurzone w nich ciała. Zjawisko to wykorzystywane jest przecież przez żeglarzy, aby zaoszczędzić paliwo. Ma też dramatyczny wpływ na wiele zwierząt żyjących w oceanach. Sztandarowym przykładem jest tutaj węgorz, którego życie jest całkowicie podporządkowane prądom morskim w oceanach. Może właśnie takie prądy, tylko w bardzo małej skali, są odpowiedzialne za ruchy Browna? Koncepcja całkiem ciekawa, ale niestety błędna. Ruchy Browna polegają przecież na bardzo chaotycznym ruchu w różnych kierunkach w bardzo małej skali czasowej. Prądy wody musiałyby zatem zmieniać się bardzo



A po ciemku?



Wszystkie drobiny drgają

szybko i nawet gdyby tak było, to autorzy tej hipotezy nie potrafili uzasadnić, skąd miałyby się brać. Zamienili zatem jeden problem na inny i tym samym nie uzyskał on akceptacji wśród innych naukowców.

Inną ciekawą, choć również błędną hipotezą, było przyjęcie, że ruch drobin jest wywołany światłem, które jest przez nie pochłaniane. Ten pomysł pochodzi prawdopodobnie od francuskiego fizyka Henriego Regnaulta (oznaczenie uniwersalnej stałej gazowej przez R pochodzi właśnie od niego). Nie ulega wątpliwości, że jest to bardzo chytry sposób wyjaśnienia zjawiska ruchów Browna, bo obserwacje pod mikroskopem wykonuje się, oświetlając badany obiekt dość mocnym światłem. Inaczej bardzo trudno jest cokolwiek zauważyć. Zgodnie z tą hipotezą, po zgaszeniu światła zanika chaotyczna aktywność drobin, ale nie można tego stwierdzić, bo wtedy nic nie widać. I tak hipoteza sama się broni, bo jest ją dość trudno obalić! To tak, jakby powiedzieć, że grawitacja jest wynikiem tego, że obserwujemy spadające ciała. Gdy zamkniemy oczy, to grawitacja nie działa, bo nie widzimy wtedy spadających ciał.

Hipoteza Renaulta nie była wcale taka egzotyczna na tle innych, które próbowały wyjaśnić ruchy Browna. Pojawiały się bowiem pomysły tłumaczenia tego ciekawego ruchu na wiele różnych sposobów, np. przez siły elektrostatyczne, które w niezrozumiały sposób pojawiają się w cieczy po wrzuceniu drobin, albo przez istnienie specyficznych sił odpychających pomiędzy wodą a wrzuconymi drobinami. Wreszcie były nawet pomysły nieudolnie przekonujące, że to wina zanieczyszczenia wody, w której znajdują się drobiny.

Najbardziej przekonującymi pracami w tej dziedzinie z tamtych czasów były chyba badania francuskiego fizyka Louisa Gouy, który prowadził dość intensywne badania nad wieloma własnościami cieczy. Wykluczył on m.in. że za ruchy Browna może być odpowiedzialne natężenie zewnętrznego światła (hipoteza Regnaulta), potrząsania cieczą czy choćby zjawiska parowania.

ZAGADKA TRUDNIEJSZA NIŻ PRZYPUSZCZALI

Zagadka, jaką Robert Brown postawił naukowemu światu, wydawała się dużo trudniejsza, niż początkowo sądzono. Taki sobie mały i niby nic nieznaający ruch drobin w cieczy, a jego wyjaśnienie nieosiągalne. Irytację ówczesnych fizyków musiał dodatkowo potęgować fakt, że fizyka, jaką znali, chyba pierwszy raz w historii świata zaczęła przynosić naprawdę spektakularne wyniki. Była przecież jednym z podstawowych elementów, na której zbudowano

wielką rewolucję przemysłową. Ludzkość już doskonale opanowała takie wynalazki jak telegraf (S. Morse 1837), lampa naftowa (I. Łukasiewicz 1853), dynamit (A. Nobel 1866), telefon (A. Bell 1876), żarówka (T. Edison 1879), kinematograf (bracia Lumiere 1895), radio (G. Marconi 1896); skonstruowano takie wspaniałe rzeczy jak samochód na gaz (E. Lenoir 1860), tramwaj (W. Siemens 1971) czy samochód benzynowy (C. Benz 1885). W 1903 roku bracia Wright unieśli się nawet w powietrze swoim samolotem, a ten drobny fakt obserwacyjny – mikroskopowe ruchy pyłków kwiatowych – od 1827 roku nadal nie doczekał się poprawnego wyjaśnienia. To zapewne musiało być bardzo irytujące. Ale jednocześnie sugerowało, że wy tłumaczenie ruchów Browna w końcu rzuci jakieś nowe światło, przyniesie nowy impuls w rozwoju fizyki.

1905 - ZŁOTY ROK FIZYKI

Wyjaśnienie tajemnicy ruchów Browna przyszło do fizyki wraz z innymi wspaniałymi teoriami naukowymi. Oto w roku 1905 na łamach czasopism naukowych pojawiły się cztery prace, wtedy mało znanego, niemieckiego fizyka Alberta Einsteina. To właśnie od tych prac zaczęła się wielka rewolucja w fizyce. Dwie z tych prac stały się fundamentem, na którym wyrosła teoria względności (MT 05/2006). Kolejna, tłumacząca efekt fotoelektryczny poprzez istnienie fotonów (MT 01/2007), była jednym z przełomowych zdarzeń raczkującej dopiero mechaniki kwantowej, czyli teorii fizycznej opisującej zjawiska zachodzące w mikroświecie. Czwarta praca dotyczyła właśnie teorii ruchów Browna. To właśnie w tej pracy Albert Einstein, opierając się na pracach jednego z najwybitniejszych polskich fizyków Mariana Smoluchowskiego, jako pierwszy sformułował poprawnie teorię opisującą trzęsące się drobiny. Praca ta stała się później podstawą nadania Einsteiniowi stopnia naukowego doktora fizyki na uniwersytecie w Zurychu. Nie bez powodu wspominam w tym miejscu Mariana Smoluchowskiego, gdyż teorię ruchów Browna sformułował on całkowicie niezależnie od Einsteina kilka miesięcy później. Jakże zatem jest wytłumaczenie tajemnicy ruchów Browna? O tym już następnym razem. Zapraszam! •

Jakie jest wytłumaczenie ruchów Browna

