

Studiowanie fizyki to przede wszystkim podglądanie przyrody. Najpierw obserwujemy różne ciała, patrzymy, jak się zmieniają i jak na siebie wzajemnie wpływają. Następnie próbujemy postawić hipotezę tłumaczącą to, co zaobserwowaliśmy i patrzymy, czy to się potwierdza. Bardzo często, gdy zaobserwujemy jakieś zjawisko, próbujemy je powtórzyć w warunkach eksperymentalnych. Udana doświadczenie, które pozwoli nam „skopiować” zachowanie Przyrody, jest najlepszym potwierdzeniem tego, że dobrze rozumiemy istotę danego zjawiska. Wtedy mamy bowiem pewność, że nie tylko dobrze potrafimy je opisać, ale też rozumiemy, jakie warunki fizyczne muszą zajść, aby miało ono miejsce. Gdybyśmy bowiem np. źle rozumieli, jaka jest przyczyna zamarzania wody w jeziorze (czyli osiągnięcie temperatury 0°C), to nie



Tomasz Sowiński jest asystentem w Centrum Fizyki Teoretycznej PAN. W 2005 roku skończył z wyróżnieniem studia na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w zakresie fizyki teoretycznej, a trzy lata później uzyskał tam stopień naukowy doktora. Od lat zajmuje się popularyzacją nauk przyrodniczych. W roku 2008 otrzymał tytuł Mistrza Popularyzacji Nauki „Złoty Umysł” w konkursie Prezesa Polskiej Akademii Nauk.

Ta niesamowita fizyka

Tomasz Sowiński

wowaniu i wnikliwemu analizowaniu zjawisk przyrodniczych odkryliśmy pewne prawa fizyki, a następnie dzięki ich teoretycznej analizie odkryliśmy, że w przyrodzie mogą również zachodzić zjawiska, których nigdzie nie obserwujemy. Odkrycie, że taka możliwość istnieje, to niewątpliwym sukces, ale jeszcze większy polega na tym, że potrafimy tę możliwość potwierdzić, budując urządzenia realizujące te niesamowite zjawiska. Jako przykład niech posłużą nam dwa zjawiska z dziedziny fizyki kwantowej.

wiedzielibyśmy, że do wytworzenia lodu w warunkach laboratoryjnych potrzebujemy zamrażarki. Gdybyśmy nie zaobserwowali, że wiatr unosi liście tym lepiej, im większa jest ich powierzchnia, to zapewne wynalezienie żagla w statku byłoby bardzo trudne. I tak dalej, i tak dalej... Tak właśnie rodziła się większość wynalazków. Najpierw jakieś zjawisko obserwowaliśmy, później je zrozumieliśmy, a następnie wykorzystaliśmy do własnych celów. Oczywiście często było tak, że potrafiliśmy w pewnym sensie poprawić przyrodę i skonstruowaliśmy urządzenie, które lepiej działało niż jego pierwowzór od Matki Natury. Jednak punktem wyjścia była obserwacja.

Istnieją jednak w historii nauki takie wynalazki, których odkrycie nie polegało jedynie na prostym skopiowaniu i udoskonaleniu jakiegoś zaobserwowanego zjawiska. Okazuje się bowiem, że przyroda nie wykorzystuje wszystkich możliwości, jakie dają jej prawa, które nią rządzą. Dzięki obser-



Żagiel zaprojektowany na wzór dużopowierzchniowego liścia kasztanowca

Przykład 1: Światło laserowe

Pierwszym przykładem, którym chciałem się posłużyć, jest światło laserowe. Trudno jest dziś znaleźć człowieka, który choćby jednym uchem nie słyszał o laserach, czyli urządzeniach wytwarzających światło laserowe. I choć mało kto tak naprawdę wie, czym różni się światło laserowe od zwykłego światła z żarówki, nie mówiąc już o zasadzie działania lasera, to właściwie każdy potrafi podać przynajmniej kilka rzeczy, które bez lasera działać by nie mogły. Podstawowy to oczywiście wszelkiego rodzaju czytniki płyt CD i DVD. To właśnie dzięki zastosowaniu lasera, na krążku niewiele większym niż podstawka filiżanki zapisać można bez żadnego trudu encyklopedię *Britannica* (44 miliony słów) ponad dwadzieścia razy. Można to zrobić w kilka minut bez utraty jakiegokolwiek informacji, a dzięki upowszechnieniu tej technologii koszt płyty DVD w supermarkecie to nie więcej niż 2 zł. Nie ma co ukrywać – bez lasera nie mielibyśmy tego.

Inne powszechne zastosowanie laserów, nie mówiąc już o takich banałach jak wskaźniki laserowe, to przede wszystkim zastosowania telekomunikacyjne i technologiczne. Bez światła laserowego i światłowodów nie byłoby szybkich łączy telekomunikacyjnych łączących kontynenty, a szerokopasmowe łączy internetowe moglibyśmy włożyć pomiędzy nigdy niespełnione życzenia.

Lasery to również urządzenia ratujące życie i zdrowie. Wystarczy przejść się do dowolnego szpitala i zapytać pierwszego napotkanego chirurga o rewolucję laserową w medycynie. To właśnie lasery dały w końcu możliwość przeprowadzania niesamowicie precyzyjnych operacji wnętrza oka czy choćby bezinwazyjnych operacji serca bez otwierania klatki piersiowej. To dzięki doskonałej precyzji lasera (tej samej, która pozwala upchnąć niesamowitą ilość danych na małej powierzchni płyty CD) zniszczenia tkanek podczas operacji są niezwykle małe i tym samym rany pooperacyjne goją się bardzo szybko. Chyba dziś nikt nie wątpi, że lasery zrewolucjonizowały nasz świat.

Zapewne niejeden człowiek uważa odkrycie światła laserowego za jedno z najważniejszych odkryć, jakich kiedykolwiek dokonała ludzkość. Zapewne było to odkrycie warte każdych pieniędzy. Choćby nawet miało kosztować i miliard dolarów, to warto byłoby je wydać, bo zyski (nie tylko te finansowe) są i tak znacznie większe. Warto jednak zdać sobie sprawę, że skonstruowanie lasera nie byłoby możliwe bez zainwestowania pieniędzy w pozornie zbędne badania naukowe, bez przeznaczenia ich dla ludzi, którzy chcieli TYLKO zrozumieć, jak działa Przyroda.



Mechanik kwantowy

SKĄD WZIAŁ SIĘ LASER?

Jak zatem doszło do odkrycia światła laserowego? W tym miejscu warto zadać sobie proste pytanie. Czy przyroda sama z siebie wytwarza gdzieś światło laserowe? Hm... być może. Ale tutaj na Ziemi nikt nigdy naturalnego (tzn. wytworzonego bez ingerencji człowieka) światła laserowego nie zaobserwował. Również z kosmosu światło laserowe do nas nie dociera. Śmiem twierdzić, choć nie mam oczywiście na to żadnych dowodów, że nigdzie we Wszechświecie nie ma miejsca, w którym światło laserowe istnieje ot tak sobie. Aby bowiem doszło do tzw. akcji laserowej, a tym samym do wytworzenia światła laserowego, muszą być spełnione bardzo specyficzne warunki, które w kosmosie raczej samoistnie zaistnieć nie mogą. Dlaczego zatem ludzie potrafili je wytworzyć? Dlatego, że przewidzieli, że w pewnych specyficznych warunkach takie fantastyczne coś powstanie. No dobrze, ale skąd to wiedzieli? Przecież jakoś musieli do tego dojść, prawda? Wiedzieli to, bo znali MECHANIKĘ KWANTOWĄ.

Jak zapewne pamiętasz, Drogi Czytelniku (patrz MT 01–12/2007), mechanika kwantowa powstała na początku XX wieku, bo było kilka eksperymentalnych faktów w mikroświecie, których nie dało się wytłumaczyć ówczesną znaną fizyką. Głównie były to zjawiska związane z promieniowaniem elektromagnetycznym i jego oddziaływaniem z materią. Niezbędne okazało się uznanie, że światło to nic innego jak strumień fotonów, który jednak czasami zachowuje się jak zwykła fala. Sama budowa atomu też była wielką zagadką do momentu, aż Bohr ją rozwiązał, wprowadzając zdumiewające i sprzeczne ze „zwykłą” fizyką postulaty. Zresztą cała mechanika kwantowa na pierwszy rzut oka wydaje się całkowicie nierozsądna i zupełnie sprzeczna ze zdrowym rozsądkiem, a próba jakiegokolwiek jej interpretacji w inny sposób, niż jest to przez nią dozwolone, prowadzi do absurdalnych wniosków. To jest zresztą jeden z głównych zarzutów, jaki naukowci ignoranci wytaczają przeciwko mechanice kwantowej. To, że wydaje im się zbyt głupia i sprzeczna sama ze sobą, aby mogła być prawdziwa.

W moim odczuciu jednak mechanika kwantowa to teoria wręcz fenomenalna. Jej główną siłą jest bowiem moc przewidywania i odporność na wszelką weryfikację doświadczalną. Moc przewidywania objawia się na kilku poziomach. Pierwszy jest najmniej zaskakujący – pozwala przewidzieć własności atomów, promieniowania przez nie emitowanego i pochłanianego. To jest mało zaskakujące, bo przecież po to została stworzona. Ale na kolejnym poziomie jej analizy okazuje się, że dzięki niej możemy wyjaśnić rzeczy, o których nie wiedzieliśmy, że może ona rozwiązać. Mechanika kwantowa pozwoliła wyjaśnić zjawisko nadprzewodnictwa – zdumiewającego zaniku oporu

elektrycznego niektórych materiałów w niskich temperaturach (wkrótce i o tym opowiemy). Jednak najbardziej przemawiające są przewidywania mechaniki kwantowej na kolejnym poziomie – przewidywania czegoś co nie istnieje samoistnie w przyrodzie. Właśnie do tych zjawisk zalicza się m.in. odkrycie światła laserowego. Zostało ono najpierw przewidziane i opracowane teoretycznie na podstawie praw mechaniki kwantowej. Następnie zostało zrealizowane doświadczalnie. I nie zrobiono tego, aby wykorzystać laser do praktycznych celów (zresztą na początku mało kto zdawał sobie sprawę z tego, jak laser może być użyteczny), ale ze zwykłej naukowej ciekawości, aby kolejny raz przetestować mechanikę kwantową.

Czyż może być piękniejszy dzień triumfu teorii naukowej niż sztuczne wytworzenie na podstawie analizy teoretycznej zjawiska nie występującego w sposób naturalny? Tym bardziej że nie znamy dzisiaj żadnego zjawiska w mikroświecie, które byłoby niezgodne z mechaniką kwantową. To a propos jej odporności na weryfikację.

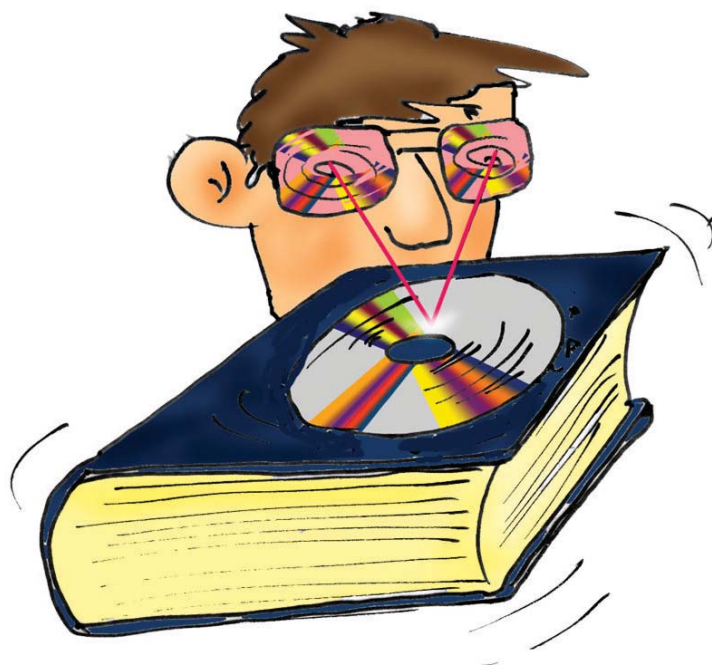
Mechanika kwantowa to teoria, której podstawowe postulaty, sformułowane ok. 90 lat temu, nie zostały do tej pory empirycznie podważone. Jak bardzo my fizycy chcielibyśmy coś takiego znaleźć, nie muszę chyba nikomu mówić. Przecież podważanie postulatów to koło zamachowe postępu w fizyce. A tych jakoś nie można sensownie podważyć, bo od razu trafia się na problemy doświadczalne. Na razie każda próba podważenia kończyła się fiaskiem, bo prowadziła to wniosków sprzecznych z doświadczeniem. Tylko w żaden sposób niezmodyfikowana mechanika kwantowa przechodzi każdy test weryfikacji empirycznej. Wielkie musi być zmartwienie wspomnianych niedowiarków, bo nie ma żadnych powodów, aby odrzucić mechanikę kwantową. Tym bardziej że mam też drugi przemawiający przykład.

Przykład 2: BEC – egzotyczny stan materii

W czasach, gdy podstawy nowoczesnej mechaniki kwantowej były już dobrze ugruntowane, fizycy zrozumieli, że wszystkie cząstki materii ze względu na ich kwantowe własności można podzielić na dwie



Mały zderzacz hadronów

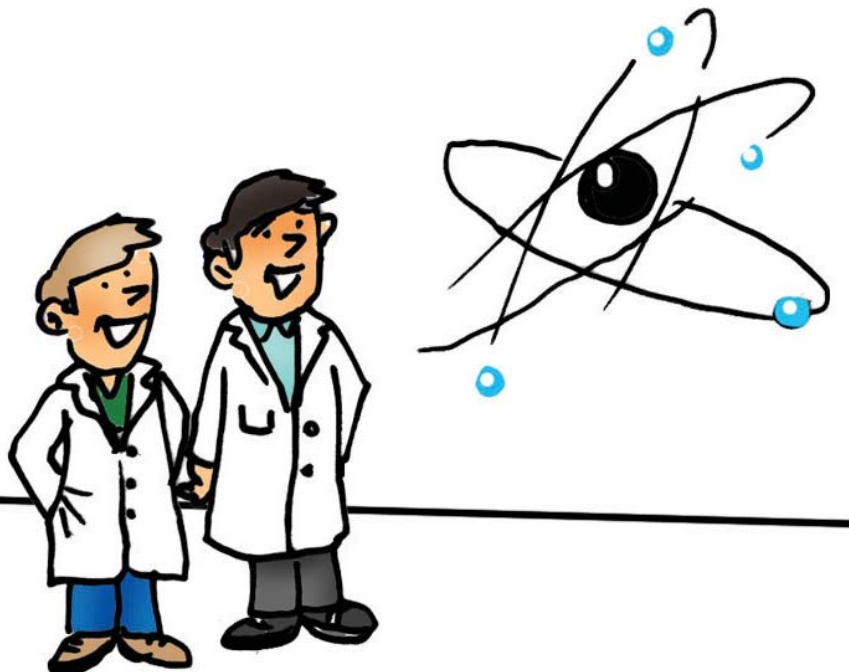


Laserowy czytnik DVD

rozłączne grupy zwane dziś (ze względów historycznych) **fermionami** i **bozonami**. Najlepszymi przykładami **fermionów** są dobrze nam znane elektrony, protony i neutrony. Najpowszechniej występujące **bozony** to fotony (cząstki światła). Nie chciałbym tutaj wnikać, co jest źródłem takiego podziału ani skąd on się bierze. W każdym razie chciałbym podkreślić dwie istotne sprawy:

1. **Fermiony** czasami mogą być jakby połówkami **bozonów**, tzn. ich połączenia w parzyste wielokrotności mają własności **bozonów**. Dlatego właśnie wśród atomów różnych pierwiastków, które składają się z protonów, neutronów i elektronów (czyli tylko z **fermionów**), można znaleźć zarówno **bozony**, jak i **fermiony**. Na przykład neutralny atom wodoru jest **bozonem**, bo składa się z jednego protonu i jednego elektronu, zatem z jednej pary **fermionów**. Z atomem litu może być natomiast różnie w zależności od tego, z którym izotopem mamy do czynienia. Atom ${}^6\text{Li}$ (zawiera trzy neutrony, trzy protony i trzy elektrony) jest **fermionem**, a ${}^7\text{Li}$ (zawiera cztery neutrony, trzy protony i trzy elektrony) jest **bozonem**.
2. Wyobraźmy sobie gaz takich samych atomów znajdujący się w bardzo niskiej temperaturze. Wtedy sprawa tego, czy składa się on z atomów będących **fermionami**, czy **bozonami** ma fundamentalne znaczenie i wpływa kolosalnie na jego własności.

Rozwińmy teraz troszkę tę drugą informację. Jeśli gaz znajduje się w bardzo wysokiej temperaturze, to czy składa się on z **bozonów** czy **fermionów** nie ma praktycznie żadnego znaczenia. Oba rodzaje gazów będą zachowywały się praktycznie tak samo i prawie tak jak klasyczny gaz doskonały. Będą poruszały się z różnymi prędkościami (patrz rozkład Maxwella MT 06/2008) i w różnych kierunkach. Jeśli jednak będziemy zmniejszać temperaturę gazu i atomy będą poruszały się coraz wolniej, to w pewnym momencie różnica stanie się kolosalna. Poniżej pewnej temperatury atomy gazu złożonego z **bozonów** (i tylko **bozonów**!) będą zaczynały się w pewnym sensie upodabniać do siebie, tzn. znaczna ich część będzie miała najmniejszą dozwoloną energię. Fizycy mówią (i jest to określenie dużo bardziej trafne), że będą



Wyjątkowo duży kondensat Bosego-Einsteina tu lata

obsadzały najniższy stan kwantowy. Takie zjawisko obsadzania najniższego stanu kwantowego fizycy nazywają **kondensacją Bosego-Einsteina** (skrót BEC od ang. Bose-Einstein Condensation), gdyż to właśnie hinduski fizyk Satyendra Bose wraz z Albertem Einsteinem teoretycznie je przewidzieli w 1924 roku. Trudno jest sobie taką kondensację wyobrazić, a tym bardziej opisać, gdyż w świecie nam znanym takie „coś” nie występuje. Można jednak dobrze (choć używając wyrafinowanych pojęć fizyki teoretycznej) zrozumieć pewne konkretne własności takich skondensowanych atomów. Przekładając te własności na prosty język, można powiedzieć, że atomy tworzące kondensat Bosego-Einsteina zachowują się tak, jakby były jednym wielkim atomem i są od siebie (nawet pod względem stanu kwantowego) nieodróżnialne.

Dlaczego o tym mówię? Otóż tak jak już wspominałem, istnienie BEC zostało teoretycznie przewidziane w 1924 roku. Wynika ono bezpośrednio z praw mechaniki kwantowej. Właśnie dlatego zostało odkryte (teoretycznie). Podobnie bowiem jak lasera, nikt nie zaobserwował naturalnego zjawiska takiej kondensacji w przyrodzie (choć tu mam podejrzenia, że może ono zachodzić naturalnie gdzieś w kosmosie). I gdybyśmy nie znali mechaniki kwantowej, to w ogóle nie wiedzielibyśmy, że taka kondensacja może mieć miejsce. A tak, dzięki teoretycznej analizie postulatów mechaniki kwantowej, mamy kolejne nietrywialne przewidywanie. No dobrze, ale czy taka kondensacja rzeczywiście zachodzi, czy może jest to dowód, że mechanika kwantowa nie może być prawdziwa? Dziś odpowiedź na to pytanie jest prosta. W 1995 roku dwaj amerykańscy fizycy Carl Wieman i Eric Cornell eksperymentalnie otrzymali kondensat Bosego-Einsteina dla atomów ^{87}Rb . Do dnia dzisiejszego kondensację udało się przeprowadzić w kilkunastu ośrodkach naukowych na świecie i to dla kilku rodzajów bozonowych atomów. Warto się też pochwalić, że Polacy wcale nie są tutaj gorsi. Po pierwsze, warto powiedzieć, że wśród polskich fizyków teoretyków jest wielu światowej sławy specjalistów studiu-

jących teoretyczne własności kondensatów (np. podczas ich zderzania, obracania, trząśnięcia, podrzucania, rozciągania, itp.). Po drugie, dokładnie dwa lata temu (2 marca 2007 r.) w Krajowym Laboratorium Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optycznej w Toruniu uzyskano pierwszy polski kondensat Bosego-Einsteina, dołączając tym samym do światowej czołówki eksperymentalnej.

Dziś nie wiemy dokładnie, jakie praktyczne zastosowanie może mieć kondensat Bosego-Einsteina. Ale fizycy wciąż go wytwarzają i robią z nim wszystko, co tylko możliwe. Od obracania i rozciągania po rozpylanie i zderzanie. Czy warto wydawać na to publiczne pieniądze? Przykład lasera (i wiele innych – tranzystor, dioda...) chyba jednoznacznie odpowiada na to pytanie. Z tego punktu widzenia nawet rozsądne jest inwestowanie w takie „zabawki” fizyków jak wielki zderzacz hadronów. Warto sobie przy tym wszystkim zawsze zdawać sprawę, że punkt widzenia społeczeństwa i podatnika jest zupełnie inny niż punkt widzenia naukowca. Społeczeństwo inwestuje w badania naukowe, bo chce mieć z tego zysk (nie tylko materialny). Naukowiec prowadzi badania, bo... jest ciekawy. Ale jedno nie wyklucza drugiego. ●



W Krajowym Laboratorium Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optycznej w Toruniu uzyskano pierwszy polski kondensat Bosego-Einsteina dołączając do światowej czołówki eksperymentalnej.