

wykorzystać w roli dwuwymiarowych drutów, mocniejszych od stali. Praktyczne zastosowania pozostają jednak na razie w sferze projektów i marzeń. Nawet produkcja wysokiej jakości próbek doświadczalnych ciągle jest kosztowna i czasochłonna. Panuje jednak pogląd, że

technologiczne wykorzystanie fullerenów to tylko kwestia czasu. Już dzisiaj w oczywisty sposób zmieniły one teoretyczne podstawy chemii i wpłynęły na rozwój nauki o nowych materiałach.

* Diament, grafit i fullereny są niewątpliwie najlepiej znanymi, lecz nie jedynymi postaciami węgla.

Szczególnie ważny jest tzw. karbyn – forma alotropowa złożona z długich, liniowych łańcuchów, odkryta na długo przed fullerenami (przyp. tłum.).

Ze Świata Nauki

FULLERENY. Robert F. Curl i Richard E. Smalley, *Świat Nauki*, grudzień 1991.

OJCIEC FULLERENÓW (SYLWETKA: RICHARD E. SMALLEY). Philip Yam, *Świat Nauki*, listopad 1993.

FIZYKA NOWA NADCIĘKŁA SUBSTANCJA

DAVID M. LEE

Cornell University

DOUGLAS D. OSHEROFF

Stanford University

ROBERT C. RICHARDSON

Cornell University

Nadciekłość jest zjawiskiem niezwykłym, specyficznym dla helu. Najczęściej występujący izotop tego pierwiastka hel 4, schłodzony do temperatury 4.2 K, ulega skropleniu. Schłodzony jeszcze bardziej, do temperatury 2.17 K, nie zamarza tak jak wszystkie inne substancje, staje się natomiast nadciekły; pozbawiony lepkości może wypływać przez najdrobniejsze pory, a obracany wytwarza mikroskopijne wiry podlegające regułom kwantowym.

Pierwszym naukowcem, który zaobserwował zjawisko nadciekłości helu 4, był (w 1938 roku) rosyjski fizyk Piotr Kapica. W 1996 roku za wykrycie nadciekłości bardzo rzadkiego izotopu helu o masie 3 (co niegdyś uważano za rzecz niemożliwą) Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki otrzymali David M. Lee, Douglas D. Osheroff i Robert C. Richardson.

Hel 4 może przechodzić w stan nadciekły, ponieważ jego atomy składają się z parzystej liczby cząstek elementarnych (dwa protony, dwa neutrony i dwa elektrony) i są bozonami. Bozony to cząstki spełniające pewne reguły nazywane statystyką Bosego–Einsteina, które zezwalają, by wszystkie atomy helu w danej próbce znalazły się w jednym wspólnym stanie o najmniejszej energii. Tracą wtedy indywidualność i zachowują się jak jedna całość – mówimy, że wszystkie atomy mają tę samą funkcję falową opisującą ich stan kwantowy.

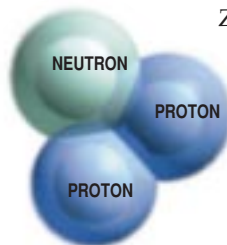
Makroskopowo osobliwa – identyczność ta objawia się jako nadciekłość. Przez wiele lat po odkryciu nadciekłości helu 4 fizycy uważali, że zjawisko to nie może wystąpić w przypadku helu 3. Nieparzysta liczba cząstek elementarnych (dwa protony, jeden neutron i dwa elektrony) składających się na atomy

helu 3, sprawia, że są one fermionami – podlegają statystyce Fermiego–Diraca, która nie zezwala, aby dwa fermiony znajdowały się w tym samym stanie energetycznym.

Jednak w 1957 roku John Bardeen, Leon Cooper i J. Robert Schrieffer opisali sposób, w jaki fermiony mogą tworzyć JĄDRA HELU 3 składają się z dwóch protonów i neutronu. cząstki zachowujące się jak bozony. Badali oni nadprzewodnictwo, zjawisko bezoporowego przepływu elektronów. Wykazali, że dwa elektrony (które pojedynczo są fermionami) mogą pod wpływem otaczających je atomów utworzyć parę zachowującą się jak bozon. Podobnie dwa atomy helu 3 mogą w wyniku bardziej skomplikowanych procesów (w tym oddziaływania magnetyczne) utworzyć parę będącą bozonem.

Gdy fizycy zdali sobie sprawę, że hel 3 może uzyskać cechy bozonowe, rozpoczęli badania tego izotopu w coraz niższych temperaturach, mając nadzieję na wykrycie nadciekłości. Wykorzystując opracowaną w latach sześćdziesiątych nową metodę schładzania (zaproponowaną przez I. J. Pomeranczuka – przyp. tłum.), Lee, Osheroff i Richardson zbudowali w Cornell University własną aparaturę. W metodzie tej zrobili użytek z niezwyklej właściwości helu 3 polegającej na tym, że zestalenie helu 3 wymaga dostarczenia ciepła, ponieważ jego faza stała jest mniej uporządkowana od fazy ciekłej (odwrotnie niż u pozostałych substancji). Gdy zwiększa się ciśnienie, można powodować zestalenie helu 3.

NADCIĘKŁĄ FAZĘ A1 tworzą pary atomów helu 3, których spiny (czerwone strzałki) ustawione są równoległe do zewnętrznego pola magnetycznego (niebieska strzałka), dając wypadkowe niezerowe namagnesowanie. Atomy krążą wokół siebie w płaszczyźnie równoległej do zewnętrznego pola magnetycznego.

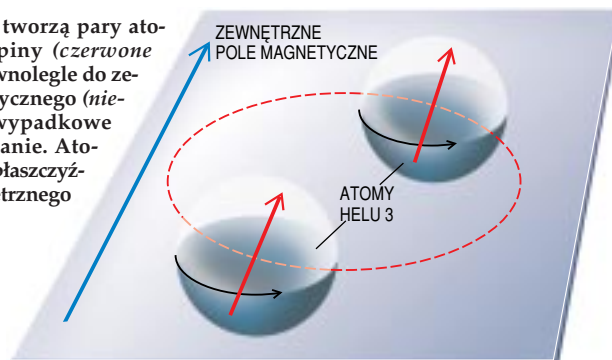


Zamarzający hel pobiera ciepło z otaczającej go cieczy, powodując jej schładzanie; w ten sposób można uzyskać temperaturę niższą od dwóch milikelwinów (0.002 K).

Naukowcy z Cornell University dokonali swojego odkrycia, badając własności magnetyczne helu 3. Osheroff, w owym czasie jeszcze doktorant, zauważył w próbce helu 3 pewną nieregularność zależności ciśnienia od czasu, co było związane z przejściem helu 3 do stanu nadciekłości.

Dalsze pomiary wykazały, że hel 3 w odróżnieniu od helu 4 ma trzy fazy nadciekłe. Różnią się one ustawieniem spinów atomów tworzących parę. W fazie A, w którą hel 3 przechodzi w temperaturze 2.7 mK, atomy tworzące parę mają spiny równoległe. W temperaturze 1.8 mK hel 3 przechodzi w fazę B, w której atomy mogą mieć spiny ustawione zarówno równoległe, jak i antyrównoległe. Trzecia nadciekła faza A1 powstaje, gdy fazę A umieści się w zewnętrznym polu magnetycznym; wówczas spiny wszystkich par wskazują ten sam kierunek.

Kolejne badania wykazały, jak bardzo nadciekły hel 3 różni się od nadciekłego helu 4. W obu tych cieczach w przypadku ich obracania powstają mikroskopowe wiry, których wirowość przyjmuje skwantowane wartości, ale w helu 3 występuje większa różnorodność wirów o bardziej złożonej strukturze.



LAURIE GRACE

LAURIE GRACE

Zastosowania nadciekłego helu 3 ograniczają się jak na razie tylko do badań podstawowych; wykorzystywany jest on na przykład do modelowania teorii kosmogonicznych. Wiry występujące w nadciekłym helu 3 służą z kolei do symulacji strun kosmicznych, hipotetycz-

nych tworów, które być może powstały w stygającym Wszechświecie, krótko po Wielkim Wybuchu, i które mogły stanowić załączki galaktyk.

Badania helu 3 mogą się również przyczynić do zrozumienia zjawiska nadprzewodnictwa wysokotemperatu-

rowego, którego natura nie została jeszcze wyjaśniona.

Z *Scientific American*

SUPERFLUID HELIUM 3, N. David Mermin i David M. Lee, *Scientific American*, grudzień 1976. THE ^3He SUPERFLUIDS, Olli V. Lounasmaa i George Pickett, *Scientific American*, czerwiec 1990.

FIZJOLOGIA/MEDYCYNA

ODKRYCIE OBRONY PRZECIW WIRUSOM

PETER C. DOHERTY

St. Jude Children's Research Hospital, Memphis (Tennessee)

ROLF M. ZINKERNAGEL

Uniwersytet w Zurychu

Niewiele z ostatnich odkryć na polu immunologii ma – wydaje się – tak podstawowe znaczenie jak restrykcja MHC, konieczna do zrozumienia sposobu walki organizmu z infekcją. Godne uwagi, że Peter C. Doherty i Rolf M. Zinkernagel wpadli na ten pomysł, próbując rozwiązać stosunkowo wąski problem weterynaryjny; niespodziewany wynik przyniósł im teraz Nagrodę Nobla za rok 1996 w dziedzinie medycyny.

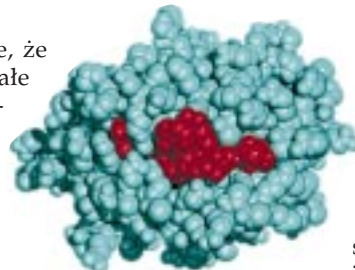
Przez większą część mijającego wieku immunolodzy powszechnie zakładali, że bakterie i wirusy same z siebie wystarczają do uruchomienia mechanizmów obronnych układu odpornościowego. Przeciwciała rozpoznają i atakują napastników bezpośrednio, dlatego wydawa-

ło się prawdopodobne, że limfocyty T i inne białe krwinki działają podobnie. Jednakże po przyjęciu takiego założenia wiele problemów wciąż pozostawało nie rozwiązanych.

Jednym z nich był sposób, w jaki układ odpornościowy odróżnia zdrowe komórki od zainfekowanych, wewnątrz których – jak się wydawało – wirusy były bezpiecznie ukryte przed rozpoznaniem przez układ odpornościowy. Druga tajemnica dotyczyła różnorodności odpowiedzi immunologicznych. W roku 1960 na przykład Hugh O. McDevitt z Harvard University pokazał, że siła odpowiedzi zwierzęcia jest skorelowana z występowaniem u niego genów dla pewnych białek, tzw. białek głównego układu zgodności tkankowej (MHC – major histocompatibility complex). Znana była rola tych białek w transplantacji narządów – jeżeli dawca i biorca przeszczepu nie mają zgodnego profilu MHC, przeszczep jest odrzucany – ale ich naturalna funkcja pozostawała nie wyjaśniona. Poznanie sposobu, w jaki białka MHC i inne czynniki biorą udział w ataku układu odpornościowego, było bezspornie zagadnieniem o istotnym znaczeniu.

We wczesnych latach siedemdziesiątych Doherty i Zinkernagel, znalazłszy się przypadkiem razem w John Curtin School of Medical Research w Australian National University, zajęli się daleko mniej istotnym problemem. Mieli nadzieję dowiedzieć się, dlaczego myszy laboratoryjne giną po zakażeniu wirusem limfocytarnego zapalenia opon mózgowych, skoro nie zabija on komórek, do których wnika. Uчени przypuszczali, że to limfocyty T, atakując zakażone tkanki mózgu i rdzenia kręgowego, wywołują stan zapalny kończący się śmiercią.

Doherty i Zinkernagel sprawdzili tę hipotezę, izolując limfocyty T z płynu mózgowo-rdzeniowego myszy chorych na zapalenie opon i dodając je do hodowli komórek pobranych od zdrowych



BIAŁKO MHC (seledynowy) prezentuje peptyd antygenowy (czerwony).

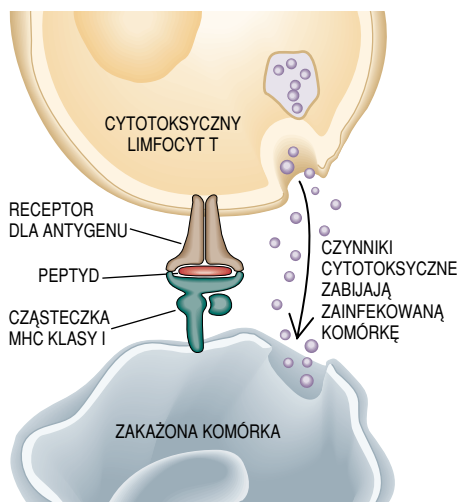
myszy, a zakażonych później wirusem. Zgodnie z przypuszczeniami limfocyty T zabiły zainfekowane komórki.

Znając jednak wcześniejsze odkrycia McDevitta i inne badania, Doherty i Zinkernagel zdecydowali się powtórzyć eksperyment, używając myszy różnych szczepów. Zaob-

serwowali niespodziewaną zależność: limfocyty T jednego szczepu myszy nie zabijały zakażonych komórek innego szczepu, jeśli nie miały co najmniej jednego identycznego białka MHC. Badacze wysunęli hipotezę o podwójnym sygnale, w myśl której limfocyty T nie mogą zainicjować odpowiedzi immunologicznej, jeżeli nie są wystawione na peptydy antygenowe (fragmenty białka) pochodzącego z wirusa czy bakterii oraz jednocześnie na odpowiednie białka zgodności tkankowej.

Odkrycie to stało się fundamentem zrozumienia wielu szczegółów immunologicznego systemu regulacyjnego. Późniejsze prace pokazały, że występujące na powierzchni komórki cząsteczki MHC utrzymują i prezentują peptydy antygenowe; peptydy takie wpasowują się w szczelinę na szczycie cząsteczki MHC, podobnie jak parówka w hot-dogu. Cząsteczki MHC klasy I prezentują peptydy pochodzące z własnych białek komórki, dzięki temu „oznakowują” komórki chore czy w inny sposób nieprawidłowe. Cząsteczki MHC klasy II, obecne tylko na pewnych typach komórek, prezentują peptydy pochodzące ze strawionych resztek innych komórek. Są one szczególnie ważne, gdy limfocyty T szukają śladów pasożytów zewnątrzkomórkowych.

Limfocyty T mają receptory pasujące do kompleksu MHC-peptyd. Komórka T pozostaje nieaktywna do momentu, kiedy jej receptor dopasuje się do specyficznej kombinacji MHC-peptyd. Stanowi to wyjaśnienie efektu podwójnego sygnału obserwowanego przez Doherty'ego i Zinkernagla.



KOMPLEKS białka głównego układu zgodności tkankowej (MHC) i peptydu wirusowego na powierzchni komórki pozwala limfocytowi T rozpoznać, czy komórka jest zakażona. Receptor dla antygeny obecny na limfocycie T musi pasować do obu struktur, białka MHC i peptydu.

DIMITRY SCHIDLOVSKY

PAUL TRAVERS/Brickbeck College