

3. Kulczycki E. (2012) Komunikacja naukowa, czyli co?, 9.12.2012. http://ekulczycki.pl/teoria_komunikacji/komunikacja-naukowa-czyli-co/
4. Westerfield Monte (2000) Zebrafish Book: A Guide for the Laboratory Use of Zebrafish (*Danio rerio*), University of Oregon Press, Eugene, OR, Wydanie 4, 2000. http://zfin.org/zf_info/zfbook/zfbk.html

■ Daria Goś. Międzynarodowy Instytut Biologii Molekularnej i Komórkowej w Warszawie. E-mail: dgos@iimcb.gov.pl

NADCIEKŁY HEL – SUBSTANCJA MAGICZNA

Ziemowit M. Malecha (Wrocław)

Streszczenie

Praca wprowadza zagadnienie kolejnego stanu skupienia materii – nadciekłości w oparciu o nadciekły hel (He II). Omówione są zaskakujące właściwości hydrodynamiczne oraz termodynamiczne He II w oparciu o badania przeprowadzone w Katedrze Inżynierii Kriogenicznej, Lotniczej i Procesowej, Politechniki Wrocławskiej oraz w CERN (Europejska Organizacja Badań Jądrowych, Genewa). Jako przykład spektakularnego wykorzystania właściwości nadciekłości przedstawione są magnesy nadprzewodzące, wykorzystywane w akceleratorze cząstek LHC w CERN. Praca zwraca uwagę na istnienie konceptualnego modelu płynu doskonałego, którego odkrycie w świecie rzeczywistym było dużym zaskoczeniem.

Abstract

Present work introduces a new state of matter – superfluidity, based on superfluid helium (He II). It describes spectacular hydrodynamical and thermodynamical qualities of He II, based on research done at Wrocław University of Science and Technology and at CERN (European Organization for Nuclear Research). Spectacular properties of superfluid helium are presented based on superconducting magnets used in particle accelerator LHC at CERN. The work draws attention to a priori existing conceptual model of a perfect fluid, whose discovery in the real world was a big surprise.

Ludzie od dawnych czasów obserwowali otaczający ich świat i próbowali go opisać używając dostępnych im metod. Widzieli różnorodne kształty i przelewali je na papier w formie wieloboków, okręgów, kształtów trójwymiarowych. Szukali zależności między tymi kształtami, tworząc geometrię. Ważne jest, aby sobie uświadomić, że figury geometryczne na papierze oraz zachodzące pomiędzy nimi zależności, są idealne. Można je zaobserwować w świecie rzeczywistym tylko z pewnym przybliżeniem.

Aby lepiej to zilustrować, przywołajmy okrąg. Idealny okrąg jest opisany liczbą Pi (greckie π), która jest równa stosunkowi długości obwodu koła do długości jego średnicy. Jak wiemy, rozwinięcie liczby π

jest nieskończone, co oznacza, że w rzeczywistym świecie nie jesteśmy w stanie stworzyć idealnego koła, tylko pewne jego przybliżenie.

Analogia tworzenia form idealnych, rodzących się w ludzkim umyśle, do opisu nie-idealnej rzeczywistości jest obecna w wielu innych miejscach matematyki, fizyki, czy chemii. Innym przykładem, będącym tematem przewodnim tego artykułu, jest płyn idealny. Płynem nazywamy tutaj zarówno ciecz, jak i gaz, czyli substancję która stanowi pewne continuum w przestrzeni.

Równania dynamiki płynu, zwane równaniami Naviera-Stokesa, zostały sformułowane w XIX wieku. Opisują one ruch płynu w oparciu o prawa Newtona:

$$F = m \cdot a$$

czyli zmiana przyspieszenia a elementu płynu może tylko nastąpić poprzez zmianę siły F . W przypadku płynów rzeczywistych siła F zawiera w sobie między innymi: siłę pochodzącą od ciśnienia oraz siłę pochodzącą od tarcia wewnętrznego płynu (siły lepkościowe). Lepkość jest cechą fizyczną charakteryzującą dany płyn. Obrazowo, małą lepkość ma woda, więc „łatwiej” ją mieszać oraz tworzyć różnego rodzaju wiry, dużą lepkość ma miód, więc trudno jest wytworzyć w nim wiry. Niemniej jednak w obu tych wypadkach lepkość jest niezerowa, więc z czasem dochodzi o dyssypacji (zaniku) wirów na skutek tarcia.

Jeszcze do niedawna uważano, że istnieją tylko płyny o niezerowej lepkości. Trudno było sobie wyobrazić płyn idealny, z lepkością równą zeru (brak tarcia wewnętrznego), w rzeczywistym świecie. Jednak nie było to przeszkodą, aby taki płyn stworzyć w sferze idei. Nic prostszego, jak tylko założyć, że w sile F , powodującej zmianę przyspieszenia płynu, jej składowa lepkościowa równa się zeru. Tak powstał model płynu idealnego.

Użycie tej idei w fizyce czy inżynierii było i nadal jest powszechne. W pewnych sytuacjach można założyć, że płyn rzeczywisty zachowuje się jak idealny. Czasem ułatwia to rozwiązywanie równań i pozwala wyciągać ciekawe i przydatne wnioski.

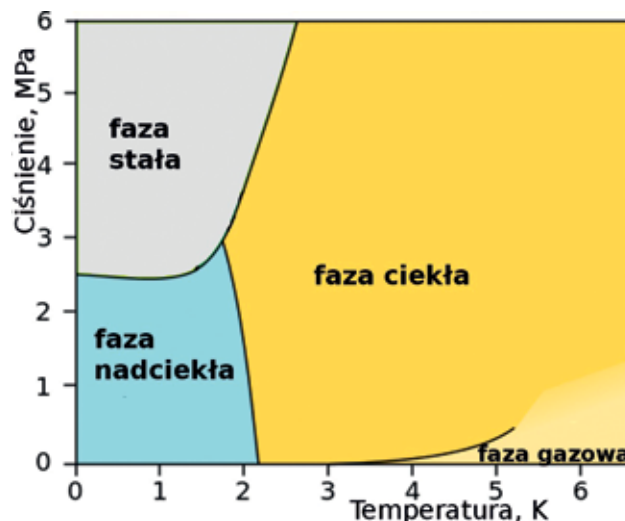
Nadciekłość – niezwykle stan skupienia materii

W tradycyjnym i uproszczonym podziale przyjmuje się, że materia może występować w trzech stanach skupienia: ciało stałe, ciecz i gaz. Postęp techniki otworzył nowe możliwości, dzięki którym można było wytworzyć warunki, które ujawniły szereg kolejnych możliwości stanu skupienia materii. Do bardziej znanych, nazywanym czwartym stanem skupienia, należy plazma.

Możliwość wytwarzania bardzo niskich temperatur oraz bardzo niskich lub bardzo wysokich ciśnień dało możliwość zestalania lub skraplania substancji, które nie występują w takiej formie na naszej planecie. Między innymi skroplono tlen, azot, argon oraz hel. Okazało się, że w przypadku helu doszło do spektakularnego odkrycia, pojawił się kolejny, zaskakujący stan skupienia: nadciekłość [5].

Rycina 1. przedstawia wykres przemiany fazowej dla helu. Na osi poziomej widoczna jest temperatura w stopniach Kelvina (0 K oznacza zero absolutne, najniższą teoretycznie możliwą temperaturę, czyli -273.15 stopnia Celsjusza), na osi pionowej naniesione jest ciśnienie, 0,1 MPa oznacza ciśnienie

atmosferyczne. Śledząc wykres możemy zaobserwować, w jakich warunkach (temperatura i ciśnienie) istnieje dany stan skupienia dla helu.



Ryc. 1. Wykres przemiany fazowej dla helu. Stan nadciekły występuje dla temperatury poniżej 2K.

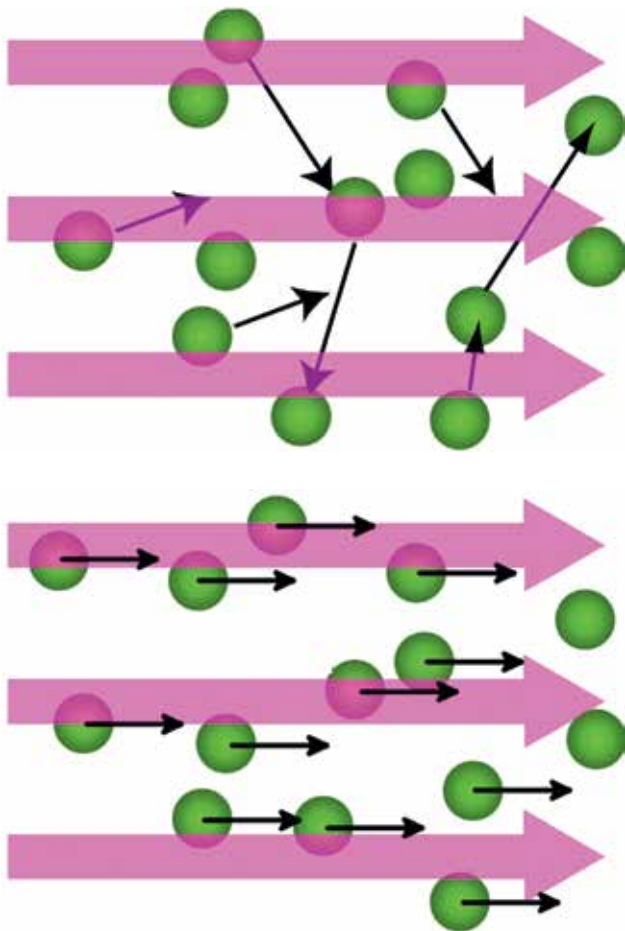
Faza nadciekła ma właściwości płynu idealnego, którego istnienia w świecie rzeczywistym nikt się nie spodziewał. Z rysunku widać, że w ciśnieniu atmosferycznym nadciekły hel ma poniżej 2,17K (-271°C).

Rycina 2. przedstawia różnicę między zachowaniem się molekuł w płynie rzeczywistym (lepkim) oraz nadciekłym (nielepkim). Makroskopowa (średnia) prędkość przepływu zaznaczona jest dużymi jasnymi strzałkami, natomiast czarne, mniejsze strzałki oznaczają wektory prędkości chwilowej poszczególnych molekuł (długość wektora obrazuje wartość prędkości). Chaotyczny ruch molekuł, wywołany wzajemnymi kolizjami, powoduje powstanie naprężeń ścinających (lepkościowych) i przekazanie informacji o ruchu makroskopowym do dalszych obszarów przepływu. Wartość lepkości zależy od średniej drogi swobodnej między molekułami oraz od średniej prędkości molekuł.

W przypadku przepływu nadciekłego obraz ten jest zasadniczo różny. Przekazywanie informacji o przepływie makroskopowym nie odbywa się na zasadzie tarcia wewnętrznego (lepkości), lecz jest związane ze zjawiskiem kondensacji kwantowej. Cząstki zachowują się w sposób kolektywny, tzn. mają taki sam pęd, przez co nie ulegają chaotycznym zderzeniom (dolny rysunek z ryciny 2).

Drugą niezmiernie ważną cechą nadciekłego helu jest jego ogromna przewodność cieplna, która tyście razy przewyższa przewodność cieplną miedzi. W praktyce oznacza to, że w nadciekłym helu ciepło przenosi się momentalnie. Ma to bardzo ważne

konsekwencje dla najbardziej zaawansowanych technologii, o czym powiemy w kolejnej części artykułu.



Ryc. 2. **Górny obraz:** Informacje o ruchu makroskopowym (duże, jasne strzałki) jest przekazywana do dalszych obszarów przepływu na zasadzie tarcia wewnętrznego (lepkości) wywołanego chaotycznym ruchem molekuł (czarne strzałki). **Dolny obraz:** W stanie nadciekłym informacja o przepływie makroskopowym jest przekazywana na zasadzie zjawiska kondensacji kwantowej. Molekuły poruszają się kolektywnie (posiadają taki sam pęd).

Konsekwencje bycia idealnym

Jak było to wspomnianie wcześniej, płyn idealny nie posiada lepkości, czyli nie doświadcza tarcia wewnętrznego. Konsekwencje tego są spektakularne, mimo iż wygląda jak ciecz, zachowuje się w sposób przeczący naszej codziennej logice, niemal jak substancja magiczna.

Rycina 3. przedstawia kriostat, w którym przechowywany jest nadciekły hel i wykonuje różnego rodzaju doświadczenia z jego udziałem. Kriostat jest supertermosem, który jest w stanie utrzymać w swoim środku bardzo niską temperaturę (poniżej 2K), mimo iż na zewnątrz temperatura otoczenia jest kilkaset stopni wyższa (zazwyczaj około 300K). Górny obraz z ryciny 3 przedstawia sam kriostat, który na co dzień używany jest w laboratorium kriogeniki TE

w CERN, natomiast dolny obraz przedstawia wnętrze kriostatu wraz z instrumentami służącymi do prezentacji właściwości nadciekłego helu.

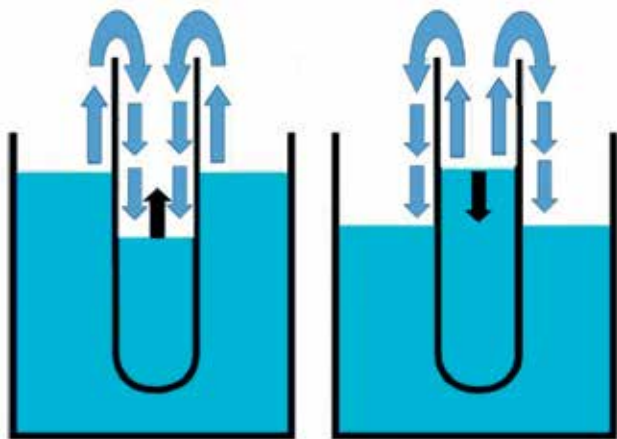


Ryc. 3. **Górny obraz:** kriostat, **dolny obraz:** wnętrze kriostatu wraz z instrumentami służącymi do demonstracji właściwości nadciekłego helu. Dzięki uprzejmości TE, CERN.

Kriostat ten jest szczególnie interesujący, gdyż część jego obudowy jest przezroczysta, dzięki czemu można obserwować nadciekły hel bezpośrednio. Jest

to substancja przezroczysta, z wyglądu bardzo podobna do wody, ale bliższa analiza wzrokowa pozwala zauważyć znaczące różnice w sposobie jej płynięcia. Jej obserwacja może wzbudzać nawet pewien niepokój, gdyż porusza się niezwykle dynamicznie, trochę jak woda na przyspieszonym filmie, a przy tym zdaje się dużo bardziej przezroczysta.

Jednym z eksperymentów obrazujących nadciekłość jest prezentacja zasady naczyń połączonych, która w przypadku substancji nadciekłej ma bardzo zaskakujące konsekwencje. W przypadku cieczy rzeczywistej wiadome jest, że gdy naczynia wypełnione cieczą są połączone, w każdym z tych naczyń wysokość cieczy jest taka sama. W przypadku helu nadciekłego sytuacja jest podobna, z tym, że naczynia nie muszą być połączone... Schematycznie jest to pokazane na rycinie 4. Substancja w stanie nadciekłym znajduje się w naczyniu, które częściowo znajduje się w większym naczyniu, także wypełnionym substancją nadciekłą. Mimo iż naczynia te nie są połączone, znajdujący się w tym systemie hel nadciekły „wie”, że poziomy cieczy w poszczególnych naczyniach nie są równe i wspinając się po ściankach, dąży do wyrównania tych poziomów. To niecodzienne zachowanie związane jest z kwantową naturą nadciekłości, która przeczy naszej codziennej intuicji.



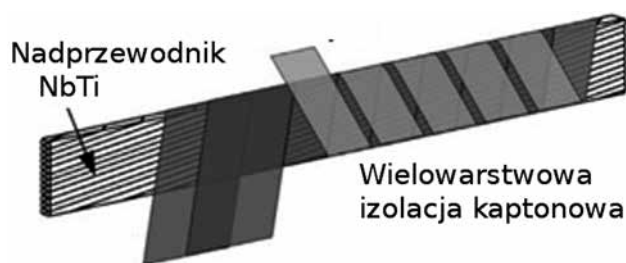
Ryc. 4. Schemat zjawiska wyrównywania poziomu helu nadciekłego, mimo iż naczynia nie są połączone. Hel wspina się po ściankach dążąc do wyrównania poziomów w obu naczyniach.

Spektakularne zastosowania helu nadciekłego

Olbrzymia przewodność cieplna nadciekłego helu została wykorzystana między innymi do otrzymywania ogromnych pól magnetycznych w supermagnesach. Było to możliwe dzięki wykorzystaniu zjawiska nadprzewodności, które zazwyczaj jest osiąganym w bardzo niskich temperaturach. Dla stabilnej i bezpiecznej pracy takich magnesów konieczne jest niezakłócone i bardzo efektywne odbieranie wytwarzanego

w nich ciepła. Idealnym kandydatem okazał się nadciekły hel, który będąc substancją nielepką, może z łatwością penetrować nawet mikroskopijne szczeliny oraz z niemal nieskończoną szybkością przekazywać ciepło od źródła jego powstawania do miejsca jego neutralizacji.

Spektakularnym osiągnięciem, które korzysta z tej technologii, jest największy na świecie akcelerator cząstek LHC (Wielki Zderzacz Hadronów), znajdujący się w CERN. Jest to największe urządzenie eksperymentalne na świecie, mierzące blisko 27 kilometrów. Rycina 5 przedstawia kabel nadprzewodzący, używany w zwojach cewek magnesów w CERN, wraz z nawiniętą izolacją elektryczną. Izolacja jest konieczna, aby zapobiec zwarceniu, ale jej działanie jest niekorzystne ze względu na ograniczoną możliwość odbioru ciepła z kabli. Okazuje się jednak, mimo iż izolacja jest szczelnie nawinięta, nadciekły hel może bez większych przeszkód penetrować mikroszczeliny pomiędzy poszczególnymi warstwami izolacji i chłodzić kable. Rzecz zupełnie niemożliwa w przypadku cieczy rzeczywistych, posiadających nawet bardzo małą lepkość. Niemniej jednak pomysłowe wykorzystanie właściwości nadciekłego helu jest bardzo wyzywającym zadaniem i pewne sytuacje są wciąż trudne do przewidzenia, doprowadzając do niebezpiecznych sytuacji [2, 3, 4].

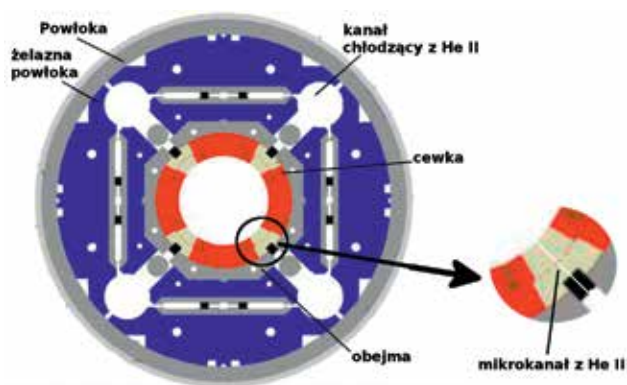


Ryc. 5. Schemat nawijania izolacji elektrycznej na kabel nadprzewodzący stosowany w magnesach w CERN. Nadciekły hel może penetrować mikroszczeliny znajdujące się między poszczególnymi warstwami izolacji [6].

Nadzwyczajne właściwości cieplno-przepływowe związane z nadciekłością będą także podstawą budowy magnesów nowej generacji, gdzie rozważa się rezygnację z bezpośredniej penetracji nadciekłego helu przez uzwojenia magnesu na rzecz systemu mikrokanalów znajdujących się w rdzeniu magnesu (Ryc. 6.)

Superprzewodność nadciekłego helu gwarantuje niezakłócony odbiór ciepła, przez co hel znajdujący się w mikrokanalach nie musi płynąć, ale może być nieruchomy i nie musi być bezpośrednio połączony z zewnętrznym źródłem nadciekłego helu.

W powyższym artykule zostały przedstawione tylko niektóre właściwości nadciekłości i wiążących się z tym konsekwencji. Autor zachęca do pogłębienia



Ryc. 6. Schemat magnesu nowej generacji. Ciepło jest odbierane przez nieruchomy hel nadciekły znajdujący się w mikrokanalach [1].

tego tematu we własnym zakresie, gdyż kryje się za nim cała gama niezwykłych cech naszego świata, które są niewidoczne „gołym” okiem. Często przeczą naszej codziennej logice, dając możliwość na znaczące poszerzenie swoich horyzontów myślowych.

Bibliografia

1. Bozza G, Malecha ZM, Van Weelderden R (2016), Development and application of a generic CFD toolkit covering the heat flows in combined solid–liquid systems with emphasis on the thermal design of HiLumi superconducting magnets, *Cryogenics* 80: 253–264.
2. Chorowski M, Fydrych J, Modlinski Z, Polinski J, Tavian L, Wach J (2011), Risk analysis update of the LHC cryogenic system following the 19th September 2008 incident, *Proceedings of the ICEC 23-ICMC 2010*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 879–884.
3. Malecha ZM, Chorowski M, Polinski J (2013), Numerical study of emergency cold helium relief into tunnel using a simplified 3D model, *Cryogenics* 57: 181–188.
4. Malecha ZM, Jedrusyna A, Grabowski M, Chorowski M, van Weelderden R (2016), Experimental and numerical investigation of the emergency helium release into the LHC tunnel, *Cryogenics* 80: 17–32.
5. Sciver SWV (2012), *Helium Cryogenics*, 2nd Edition, Springer Florida State University.
6. Strychalski M, Chorowski M, Polinski J (2014), Heat transfer through the at surface of rutherford superconducting cable samples with novel pattern of electrical insulation immersed in Hell, *Cryogenics* 61: 79–85.

Dr inż Ziemowit Miłosz Malecha. Katedra Inżynierii Kriogenicznej, Lotniczej i Procesowej, Politechnika Wroclawska. E-mail: ziemowit.malecha@pwr.edu.pl

POSTĘP W POMIARACH BIAŁEK NIEUSTRUKTURYZOWANYCH

Bartosz Różycki (Warszawa)

Streszczenie

Komórki biologiczne zbudowane są z rozmaitych makrocząsteczek – białek, lipidów, kwasów nukleinowych, polisacharydów, etc. Wyznaczenie struktury przestrzennej danej makrocząsteczki prowadzi zwykle do wyjaśnienia tego, w jaki sposób wykonuje ona swoje funkcje biologiczne. Zajmuje się tym biologia strukturalna. Wśród makrocząsteczek stanowiących obecnie największe wyzwania dla biologii strukturalnej są białka pozbawione struktury trzeciorzędowej, a w szczególności te z nich, które zbudowane są z kilku odrębnych domen połączonych długimi, nieustrukturyzowanymi odcinkami łańcucha polipeptydowego. Białka tego rodzaju są powszechne i pełnią ważne funkcje biologiczne. Okazują się one jednak wyjątkowo trudne do zbadania za pomocą standardowych metod współczesnej biologii strukturalnej – tzn. rentgenografii strukturalnej i spektroskopii NMR. Natomiast rozpraszanie promieniowania rentgenowskiego pod małymi kątami uzupełnia te metody i daje możliwość charakterystyki strukturalnej tego rodzaju białek.

Słowa Kluczowe: biofizyka molekularna, biologia strukturalna, białka pozbawione struktury trzeciorzędowej, rozpraszanie promieniowania rentgenowskiego pod małymi kątami (SAXS)