

O kryształach helu w temperaturze pokojowej, czyli o wielkich możliwościach wysokich ciśnień

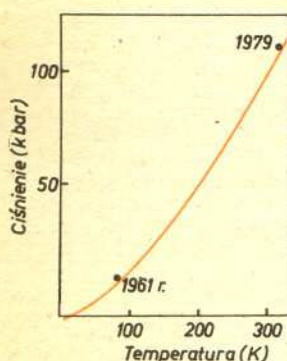
Dr Andrzej HENNEL

Wyobraźmy sobie, iż nawiązany został kontakt radiowy z odległą o wiele lat świetlnych cywilizacją kosmiczną. Po uwzględnieniu całkowicie jednoznacznego sposobu przekazywania informacji (symbole, jednostki itd.) zaczynamy sobie nawzajem przesyłać podstawowe informacje o naszych światach. W jednej z pierwszych otrzymanych i rozszyfrowanych depesz pojawia się następujący fragment — ... H₂O, kryształ o gęstości 1,5 g/cm³, temperatura topnienia 192°C ... Budzi to oczywiście wielkie zdumienie, czyżby „u nich” obowiązywały inne prawa fizyki? Wkrótce jednak sprawa wyjaśnia się, otóż na planecie naszych kosmicznych pobratymców panuje ciśnienie około 40000 atmosfer. W rezultacie mają oni do czynienia z zupełnie inną niż my strukturą krystaliczną lodu (jest to tzw. lód VII albo lód gorący) znacznie gęściej upakowaną, co przejawia się we wzroście gęstości. Na Ziemi, oczywiście, można otrzymać w laboratoriach wszystkie kolejne rodzaje lodu od I do VII stosując odpowiednie ciśnienia i temperatury.

Możliwość zmieniania fazy stałej czy, jak kto woli, struktury krystalicznej danego pierwiastka czy związku chemicznego pod wysokim ciśnieniem nie jest oczywiście niczym nowym. Produkuje się przemysłowo z węgla syntetyczne diamenty, które na dodatek mają tę miłą własność, iż są metatrwałe, tzn. pozostają diamentami po obniżeniu ciśnienia. Znane są różne postacie krystaliczne siarki czy fosforu ...

Nowością ostatnich lat w laboratoriach fizyków jest natomiast możliwość uzyskiwania kontrolowanych ciśnień hydrostatycznych rzędu miliona atmosfer za pomocą tzw. kowadełek diamentowych. Jednym z najbardziej efektywnych eksperymentów była krystalizacja helu w temperaturze pokojowej pod ciśnieniem 115 kilobarów przeprowadzona w 1979 roku przez J. M. Bessona i J. P. Pinceaux na Uniwersytecie imienia Piotra i Marii Curie w Paryżu.

Jak wiadomo (patrz np. artykuł Ł. Turskiego, *Delta* 12/1983), pod ciśnieniem normalnym hel pozostaje cieczą nawet w temperaturze absolutnego zera, dopiero pod ciśnieniem 25 barów następuje jego krystalizacja. Nic więc dziwnego w fakcie, iż krystalizacja helu w wyższych temperaturach wymaga wysokich ciśnień i jest stosunkowo trudna do przeprowadzenia. W 1961 roku udało się zestalić hel w temperaturze wrzenia azotu (77 K) pod ciśnieniem 14 kbar, a dalszy postęp umożliwiły dopiero kowadła diamentowe, które teraz omówimy dokładniej.

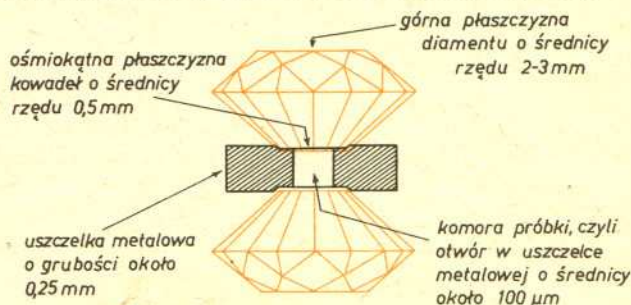


Krzywa krystalizacji helu. Krzywa ta opisana jest tzw. równaniem Simona[®]

$$P = 16,235[(T/0,992)^{1,5554} - 1],$$

gdzie P jest ciśnieniem w barach, a T temperaturą w kelwinach. Równanie to obowiązuje również w obszarze niskich temperatur i małych ciśnień rzędu 1 kbar. Fakt ten oznacza, że struktura krystaliczna helu, która pod niewielkim ciśnieniem jest strukturą kubiczną płasko centrowaną, pozostaje nie zmieniona aż do 115 kbar.

Ciśnienie na dnie Rowu Marianańskiego (11 km) — 1 kbar, rekordowe ciśnienie w kowadłach diamentowych — 1,7 Mbar, ciśnienie w środku Ziemi — 3,6 Mbar.



Schemat kowadełek diamentowych

Jest to zestaw dwóch odpowiednio zeszlifowanych diamentów, pomiędzy którymi umieszczona jest folia metalowa z małym otworkiem (rysunek). Diamenty ściskane są z zewnątrz prasą o regulowanej sile nacisku. Konstrukcja kowadełek oraz ogromna twardość diamentów pozwalają na osiągnięcie w małej objętości pomiędzy diamentami i uszczelką metalową kolosalnych ciśnień rzędu megabarów. Dotychczasowy rekord uzyskany w 1982 roku wynosi 1,7 Mbar. Badany obiekt, tzn. gaz, ciecz czy też okruch kryształu umieszcza się więc w tej mikroskopijnej komorze ciśnieniowej i następnie obserwuje się cały eksperyment pod mikroskopem korzystając z przezroczystości samych diamentów. W przypadku badania kryształów w komorze próbki umieszcza się kroplę mieszaniny metanolu z etanolem, która zapewnia hydrostatyczny rozkład ciśnień do około 200 kbar. Ponadto w komorze próbki umieszcza się okruchy rubinu, co pozwala na pomiar wartości otrzymanego ciśnienia. Rubin mianowicie pod wpływem oświetlenia wysyła bardzo silne promieniowanie czerwone o długości fali 693 nm pod ciśnieniem atmosferycznym. Pod wpływem ciśnienia wytworzonego w kowadłach następuje liniowa zmiana długości fali wysyłanego przez rubin promieniowania (około 30 nm na 1 Mbar), co pozwala na bardzo precyzyjne wyskalowanie otrzymanych ciśnień.

W eksperymencie Bessona i Pinceaux dodatkowym problemem było wypełnienie komory próbki helem. Dokonano tego umieszczając kowadła w wypełnionej helem stalowej komorze ciśnieniowej, pod ciśnieniem 2000 barów. W ten sposób w komorze próbki znalazło się około 0,5 μg helu.



Rozwiązanie zadania M 357. Oznaczając przez $[y]$ część całkowitą y , tzn. takie największe całkowite m , że $m \leq y$, rozpatrzmy liczby

$a_0, a_1, \dots, a_{1000}$, gdzie $a_k = k \cdot x - [kx]$.

Niech L_k będzie odcinkiem $\left[\frac{k}{1000}, \frac{k+1}{1000} \right]$

dla $k = 0, 1, \dots, 999$. Ponieważ $0 \leq a_k < 1$,

pewne dwie spośród 1001 liczb a_k muszą znaleźć się w tym samym przedziale L_k , a więc dla pewnych p, q , $p > q$ jest

$$|a_p - a_q| < \frac{1}{1000}$$

Oznaczając $P \triangleq [px]$, $Q \triangleq [qx]$

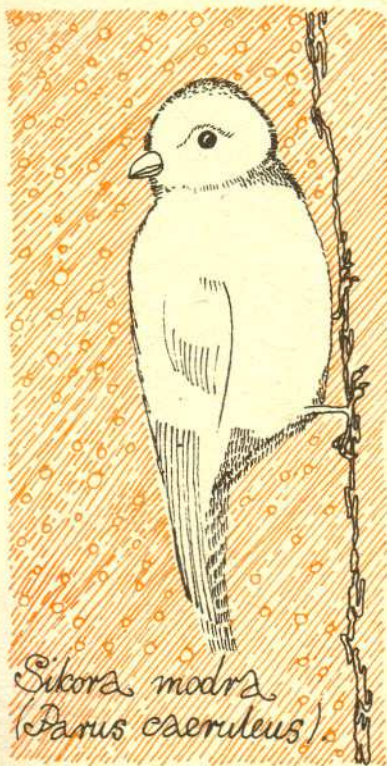
mamy $|(p-q)x - (P-Q)| = |a_p - a_q| < \frac{1}{1000}$,

$$\text{skąd } \left| \frac{p-Q}{p-q} - x \right| < \frac{1}{1000(p-q)} \leq \frac{p-Q}{p-q}$$

jest szukany ułamek.

Następnie stopniowo zwiększano ciśnienie obserwując uważnie komorę próbki. Przy ciśnieniu 115 kbar, w temperaturze 24°C zaobserwowano krystalizację helu. Ponieważ różnica współczynników załamania światła dla kryształów helu i ciekłego helu jest bardzo niewielka, dosyć trudno jest zaobserwować granicę faz. Na fotografii widać powiększoną około 500 razy komorę próbki. Górną i środkową część komory wypełnia eliptyczny w kształcie kryształ helu. Na dole w cieczy znajdują się okruchy rubinu służące do określania ciśnienia. Gęstość widocznego na zdjęciu kryształu wynosi około 1 g/cm³.

Na zakończenie warto wspomnieć, iż niezwykle interesujące mogą być badania kryształów wodoru w kowadłach diamentowych. Wodór pod ciśnieniem 57 kbar tworzy w temperaturze pokojowej kryształy molekularne, jednakże po przekroczeniu 2 lub 3 Mbar powinien przejść do fazy metalicznej (patrz artykuł A. Holasa, *Delta* 10/1981). Nie ma w tym nic dziwnego, każde ciało stałe pod ciśnieniem w końcu musi stać się metalem, tzn. zbliżenie atomów doprowadza do „uwspólnienia” zewnętrznych elektronów. Na przykład kryształy jodu przechodzą w fazę metaliczną pod ciśnieniem 300 kbar. Jednakże metaliczny wodór powinien mieć, według przewidywań teorii, dwie niezwykle ważne cechy. Po pierwsze ma on być metatrawny, tzn. pozostawać metalem po obniżeniu ciśnienia; po wtóre ma być nadprzewodnikiem do stosunkowo wysokich temperatur rzędu -100°C — 0°C. Łatwo wyobrazić sobie, jak kapitalne znaczenie dla elektrotechniki i energetyki miałaby możliwość użycia bardzo lekkiego drutu, którego opór jest równy zeru. Próby utrzymania metalicznego wodoru są prowadzone w wielu laboratoriach na świecie i jeżeli nadejdą nowe informacje, na pewno poinformujemy o nich Czytelników *Delty*.



Sikora modra
(*Parus caeruleus*)

Trzeci paradoks ekonomiczny

Długi dowód

Przez $pg(K, R, T)$ będziemy oznaczać częściową geometrię (partial geometry) o parametrach K, R, T . Bardziej dokładną definicję podajemy niżej, choć dla meritum sprawy nie ma ona znaczenia. Poszukiwanie rozmaitych częściowych geometrii jest trudną sztuką, choć w ostatnich latach zrobiono tu duże postępy. Z referatu J.H. van Linta wygłoszonego na Kongresie ICM 82 (Warszawa, 16—24 VIII 83) dowiedzieliśmy się, że autor odkrył m.in. metodę rozstrzygnięcia czy istnieje $pg(l, 2l-3, l-2)$. Na przykład istnieje $pg(5, 7, 3)$, ale nie istnieje $pg(6, 9, 4)$. Ten ostatni fakt van Lint odkrył wiosną 1983 r. za pomocą komputera VAX 11/780. Obliczenia zajęły (uwaga) 183 dni!

M. SZ.

Częściowa geometria $pg(K, R, T)$ to zbiór \mathcal{P} obiektów zwanych punktami, zbiór obiektów \mathcal{B} zwanych prostymi, przy czym

- 1) każda prosta ma K punktów,
- 2) każdy punkt leży na R prostych,
- 3) gdy punkt x nie leży na prostej L , to istnieje dokładnie T punktów $y \in L$ takich, że x i y leżą na jednej prostej.

Gdyby każdy obywatel Polski otrzymywał co pierwszego średnio 12 tys. złotych (łącznie z niemowlętami i starcami), byłoby to więcej niż obecnie. A przecież tak łatwo to osiągnąć! Obliczajcie razem z nami:

Rocznie jest to 144 tys. (średnio na głowę).

Wobec kursu dolara (średnio w październiku w bramie), 650 zł, daje to ok. 221,53846 (średnio na głowę w ciągu roku) dolarów.

Dla całej Polski wyniesie to rocznie mniej więcej 7975,3845 mln dolarów, no — nie oszczędzajmy — 8 mld dolarów.

Gdyby więc minister finansów wyskrobał 61,5 mld dolarów i złożył to w jakimś banku (choćby w NBP) na 13% rocznie, mielibyśmy zapewniony względny dostatek przy zerodniowym tygodniu pracy. Prawda?

A przecież za to, co mamy, dano by nam więcej. Może więc się opłaci?

Dowcipy używane

Po wielogodzinnym locie w chmurach balon wynurzył się nad bezkresną równiną, na której przez czas dłuższy nie można było znaleźć żadnego punktu orientacyjnego, mogącego poinformować astronautów gdzie się znajdują. Nagle dostrzegli w dole idącego człowieka. Gdy zbliżyli się na odległość głosu, zakrzyknęli:

— Panie, gdzie my jesteśmy?
Zapytany, po namyśle, odkrzyknął:
— W balonie!

I wiatr uniósł balon dalej.
— Wiele się nie dowiedzieliśmy.
— Bo co za pech, żeby trafić akurat na matematyka!
— A to był matematyk? Skąd wiesz?
— Przecież udzielił odpowiedzi przemyślanej, prawdziwej i bezużytecznej.

To co wyżej, ma być propozycją dla Czytelników nadsyłania nam złośliwych, w miarę możliwości również śmiesznych, dowcipów o matematykach, fizykach i astronomach. Nie będziemy ich drukować, jeśli nas nie rozśmieszą, ale w przeciwnym razie — na pewno.

O balonie opowiadał nam L. W. Szczerba (Warszawa)