

Nadprzewodniki – gdzie ich szukać?

Krzysztof BYCZUK*

* Instytut Fizyki Teoretycznej, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski

Jednym z gorących wspomnień naukowych ubiegłego lata jest informacja o odkryciu nadprzewodnictwa w związku LK-99 zachodzącego w temperaturach pokojowych i w normalnym ciśnieniu atmosferycznym.

Dokładnie 22 lipca 2023 roku południowokoreańscy naukowcy, pod kierunkiem Sukbae Lee i Ji-Hoon Kima, umieścili w bazie prac arXiv dwie publikacje o numerach arXiv:2307.12008 i arXiv:2307.12037. Jak wynika z ich lektury, związek o wzorze chemicznym $\text{Pb}_9\text{Cu}(\text{PO}_4)_6\text{O}$, nazwany LK-99 od pierwszych liter w nazwiskach tych badaczy oraz roku, w którym go zsyntetyzowali, wykazuje spadek oporności elektrycznej praktycznie do zera w temperaturach mniejszych od około 400 K ($\sim 127^\circ\text{C}$). Gdyby to była prawda, byłby to pierwszy na świecie materiał przewodzący prąd elektryczny w temperaturach pokojowych, lub wyższych, bez żadnych strat.

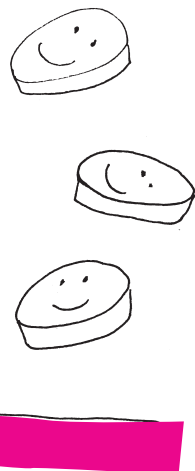
Gdyby to była prawda... Naukowczynie i naukowcy z całego świata natychmiast ruszyli do swoich laboratoriów i komputerów, aby sprawdzić, czy rzeczywiście LK-99 ma tak unikatową własność. Do dziś, 1 listopada 2023 r., w bazie arXiv jest już 50 prac zawierających nazwę LK-99 w streszczeniu. Ale po kolei. 1 sierpnia 2023 roku pojawiło się w mediach społecznościowych nagranie z Uniwersytetu Naukowo-Technologicznego Huazhong w Chinach pokazujące lewitującą w polu magnetycznym pastylkę w temperaturze pokojowej, ponoć wykonaną z materiału LK-99. Nadprzewodniki mają właściwości diamagnetyczne, oznacza to, że wewnątrz nadprzewodnika indukcja magnetyczna jest zerowa, dlatego unosi się on nad magnesem (jest to tak zwany efekt Meissnera–Oschenfelda). Jeżeli materiał nie ma tej cechy, jest jedynie doskonałym przewodnikiem. Dalej grupy teoretyczne z USA, Chin, Austrii oraz Szwajcarii przedstawiły wyniki swoich obliczeń teoretycznych wskazujące, że związek LK-99 może faktycznie być nadprzewodnikiem w temperaturach pokojowych. Odkryto tzw. płaskie pasma w strukturze elektronowej tego materiału, co implikuje, że oddziaływania elektron-elektron mogą odgrywać istotną rolę.

W fizyce ostatnie słowo należy jednak do doświadczalników. Jeszcze w sierpniu kilka grup badawczych z USA, Niemiec i Chin zsyntetyzowało LK-99 w swoich laboratoriach. Po przeprowadzeniu szeregu eksperymentów sprawdzili, że materiał ten nie jest nadprzewodnikiem. Wręcz przeciwnie, jest bardzo dobrym izolatorem.

Nie potwierdzono w tych laboratoriach obserwacji Koreańczyków. Temat w zasadzie został zamknięty, przypominając jedynie inne gorące doniesienia prasowe w tak zwanym sezonie ogórkowym. A skoro o ogórkach mowa, to istnieje takie utarte powiedzenie wśród fizyków, że jeśli odpowiednio długo popracować, to i ogórek mógłby stać się nadprzewodnikiem. Żarty żartami, ale pytanie, jakie przychodzi nam natychmiast do głowy, jest poważne: Gdzie szukać nowych nadprzewodników?

Jako fizyk teoretyk, który zainteresował się nadprzewodnictwem ponad 30 lat temu przy okazji swojej pracy magisterskiej, muszę z przykrością przyznać, że obliczenia teoretyczne są mało skuteczne w tej materii. Trudno jest wskazać przewidywania teoretyczne oparte na złożonych obliczeniach numerycznych w ramach teorii funkcjonału gęstości, które odkryłyby nową klasę materiałów nadprzewodzących. Post factum obliczenia teoretyczne są oczywiście nieocenione w dogłębnym zrozumieniu już odkrytego nadprzewodnika przez doświadczalników.

Pozostaje metoda prób i błędów. A wszystko zaczęło się w kwietniu 1911 roku w Lejdzie w Holandii, w laboratorium Heike Kamerlingha Onnesa. Wtedy było to światowe centrum niskich temperatur. Podobno asystent profesora Onnesa umieścił rtęć (Hg) w ciekłym helu, która w niskich temperaturach jest metalem w fazie stałej, i badał zachowanie oporu elektrycznego. Zaobserwował, że opór elektryczny rtęci znika całkowicie w temperaturach poniżej 4,2 K. Jak głosi legenda, profesor był oburzony, gdy poznał ten wynik pomiaru oporności



Jak na razie nie udało się zaobserwować nadprzewodnictwa w ogórkach, ale prąd przepuszczony przez ogórek może pobudzić go do świecenia, o czym pisał Marcin Braun w Δ_{22}^5 .

W laboratorium Onnesa w Leidzie w 1908 roku udało się po raz pierwszy skroplić hel (He) w temperaturze 4,2 K ($\sim -269^\circ\text{C}$). Wcześniej światowe centrum niskich temperatur znajdowało się w Krakowie, gdzie w 1883 roku Karol Stanisław Olszewski i Zygmunt Florenty Wróblewski skroplili tlen (O_2) i azot (N_2), odpowiednio w 90 K ($\sim -183^\circ\text{C}$) i 77 K ($\sim -196^\circ\text{C}$).

i ponoć nawet zwolnił swojego współpracownika. Kilka dni później sam przeprowadził eksperyment, obserwując rtęć z zerowym oporem elektrycznym.

O ile nie mamy pewności co do takiego przebiegu owych wydarzeń, to pamiętajmy, że w tamtym czasie zachowanie oporu elektrycznego metali w funkcji temperatury było zupełnie nieznaną. Spekulowano, że w temperaturze zera bezwzględnej elektrony powinny przestać się poruszać i wraz ze spadkiem temperatury opór powinien rosnąć do nieskończoności. Spekulowano też, że być może w zerowej temperaturze opór będzie skończony, ale czy będzie malejącą, czy rosnącą funkcją temperatury, było trudne do przewidzenia. Całkowity zanik oporu poniżej pewnej skończonej temperatury był jednak nie do wyobrażenia.

Odkrycie Onnesa było fundamentalnym przełomem w fizyce. Wkrótce dowiedziano eksperymentalnie, że wiele innych pierwiastków staje się nadprzewodnikami w niskich temperaturach. Wśród nich najwyższą temperaturę przejścia wykazuje niob (Nb) 9,25 K ($\sim -266^\circ\text{C}$). Najniższą ma rod (Rh) 0,000325 K ($\sim -273^\circ\text{C}$). Są pierwiastki, które nadprzewodzą, gdy poddamy je działaniu dużego ciśnienia. Rekordzistą jest lit (Li) z temperaturą przejścia 20 K ($\sim -253^\circ\text{C}$), gdy podniesiemy ciśnienie do 50 GPa ($50 \cdot 10^9$ Pa). Dla porównania, ciśnienie normalne, w przybliżeniu równe ciśnieniu atmosferycznemu, to 101 325 Pa $\sim 10^5$ Pa (czyli 10^4 razy mniej). Spośród stu kilkunastu pierwiastków aż 55 jest nadprzewodnikami w odpowiednich warunkach fizycznych. Zaskakujące jest to, że miedź (Cu), tak powszechnie używana w przewodach elektrycznych, nie jest nadprzewodnikiem w żadnych warunkach fizycznych, w jakich była dotychczas badana.

Węgiel też nie jest nadprzewodzący w występujących kilku trójwymiarowych odmianach alotropowych: grafit, diament i sadza. Ale w 2001 roku zaobserwowano po raz pierwszy ślad nadprzewodnictwa w nanorurkach węglowych o średnicach około 4 Å (Angstrom to 10^{-10} m). Atomy węgla układają się na płaszczyźnie, tworząc sieć sześciokątną, wyglądającą tak jak przekrój przez plaster miodu. Gdy taka płaszczyzna, zwana grafenem, zroluje się i połączy na brzegu, to powstają długie i cienkie nanorurki węglowe. Te najcieńsze niestety nie są mechanicznie stabilne w próżni. Jednak gdy powstają w długich porach zeolitu, minerału o długich i bardzo cienkich kanalikach, nanorurki węglowe mogą mieć bardzo małe średnice. Właśnie w takich warunkach zauważono oznaki nadprzewodnictwa, czyli spadku oporu elektrycznego nanorurek w temperaturach około 15 K ($\sim -258^\circ\text{C}$). Te układy są praktycznie jednowymiarowymi drucikami wykonanymi z węgla w mineralnej osłonie dielektrycznej.

Pojedyncza warstwa grafenu na dielektrycznym podłożu jest stabilna, ale nie jest nadprzewodząca. Gdy położono dwie takie warstwy, jedna na drugiej, i skręcono względem siebie o pewien „magiczny” kąt, $1,1^\circ$, pojawiło się nadprzewodnictwo. Efekt ten zaobserwowano w 2018 roku w temperaturze 1,7 K ($\sim -271^\circ\text{C}$).

Według teorii Waltera Kohna i Joaquina Mazdaka Luttingera oddziałujące pomiędzy sobą elektrony zawsze powinny tworzyć stan nadprzewodzący, co wynika z zasady Pauliego (dwa fermiony nie mogą być w tym samym stanie kwantowym) oraz kwantowej teorii ekranowania pola Coulombowskiego. Temperatura przejścia do takiego stanu jest jednak ekstremalnie niska. Dlatego mechanizm prowadzący do nadprzewodnictwa w znanych nam materiałach musi być inny.

Przypomnijmy, nadprzewodnik to jednocześnie doskonały przewodnik i doskonały diamagnetyk. Te dwie logicznie rozłączne cechy są zawsze (lub powinny być) sprawdzane, nim jakiś materiał uznamy za nadprzewodnik.

Przewidywania teoretyczne pokazują także, że metaliczny wodór powinien nadprzewodzić w temperaturach pokojowych. Jedyny kłopot polega na tym, że układ musi być pod ogromnym ciśnieniem 400 GPa, porównywalnym z panującym w jądrze planety Jowisz.

Z praktycznego punktu widzenia chcielibyśmy mieć nadprzewodzące druty, najlepiej w temperaturach pokojowych i normalnym ciśnieniu, aby pozbyć się strat energii i problemu z ogrzewaniem się urządzeń elektrycznych. Różne szacunki podają, że aż od 1/4 do 1/3 energii elektrycznej jest tracona w postaci ciepła pomiędzy elektrownią a odbiorcą. Jak już wiemy, taki nadprzewodzący drut nie może być zbudowany z żadnego czystego pierwiastka.

Spójrzmy na układy dwuskładnikowe. Mamy tutaj całą plejadę stopów i związków międzymetalicznych o strukturach krystalograficznych oznaczonych symbolami B1 lub A15. Okazuje się, że niob (Nb) gra tutaj pierwsze skrzypce. I tak rekord temperatury przejścia należy do Nb_3Ge i wynosi 23 K ($\sim -250^\circ\text{C}$). Stop NbTi ma temperaturę tylko 9,2 K ($\sim -264^\circ\text{C}$), ale to właśnie z tego materiału wykonano elektromagnesy w Wielkim Zderzaczu Hadronowym (LHC) w CERN. Do schłodzenia tej ogromnej maszyny używa się 96 ton ciekłego helu w temperaturze 1,9 K ($\sim -271^\circ\text{C}$).

Gdy przez około 80 lat fizycy przyzwyczaili się do eksperymentalnego faktu, że najwyższa temperatura układów dwuskładnikowych wynosi 23 K, a nawet sformułowano coś w rodzaju teoretycznego twierdzenia na ten temat, w 2001 roku pojawiło się odkrycie nadprzewodnictwa w dwuborku magnezu (MgB_2) z temperaturą przejścia 39 K ($\sim -234^\circ\text{C}$). MgB_2 można kupić w aptece lub znaleźć w każdej porządnie wyposażonej pracowni chemicznej w szkole. Świat fizyków był wtedy naprawdę poruszony figlem, jaki sprawiła nam natura i nauka.

Okazuje się też, że wodorki pod wysokim ciśnieniem stają się wysokotemperaturowymi nadprzewodnikami. Choć były badane od lat 70. zeszłego stulecia, w ostatnim okresie odkryto, że H_3S pod ciśnieniem 155 GPa nadprzewodzi w temperaturze 253 K ($\sim -20^\circ\text{C}$), a LaH_{10} pod ciśnieniem 190 GPa ma temperaturę przejścia 260 K ($\sim -13^\circ\text{C}$).



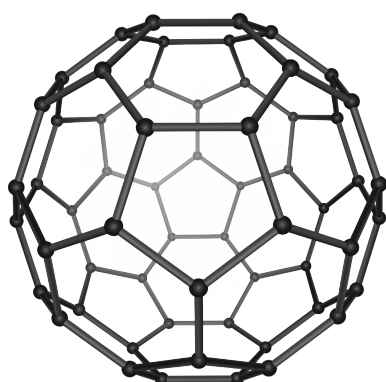
Rozwiązanie zadania M 1774.

Ponieważ każda liczba w ciągu $a_1, a_2, a_3, \dots, a_{2n}, a_{2n+1}$ przyjmuje jedną z trzech wartości, a dowolne dwie sąsiednie liczby są różne, wobec tego dowolny składnik rozważanego w zadaniu wyrażenia

$a_1 a_2 - a_2 a_3 + \dots + a_{2n-1} a_{2n} - a_{2n} a_{2n+1}$ przyjmuje również (co do modułu) jedną z trzech wartości.

Wystarczy zatem pokazać, że każda wartość w danym wyrażeniu pojawia się tyle samo razy ze znakiem $+$, co ze znakiem $-$. Zauważmy jednak, że każda z wartości 2, 5, 9, odpowiednio, występuje w zbiorach par

$\{(a_1, a_2), (a_3, a_4), \dots, (a_{2n-1}, a_{2n})\}$ oraz $\{(a_2, a_3), (a_4, a_5), \dots, (a_{2n}, a_{2n+1})\}$ tyle samo razy, oznaczmy te liczby wystąpień odpowiednio przez k , l i m . Wtedy oczywiście $k + l + m = 2n$. Wobec tego w każdym zbiorze par liczba par 5, 9 jest równa dokładnie $\frac{-k+l+m}{2}$, liczba par 2, 9 jest równa $\frac{k-l+m}{2}$, a liczba par 2, 5 jest równa $\frac{k+l-m}{2}$.



Fuleren C_{60} . Źródło: Wikipedia

Omówione związki dwuskładnikowe należą do tak zwanych nadprzewodników drugiego rodzaju. Oznacza to, że w odpowiednio silnym polu magnetycznym, powyżej tak zwanego pierwszego pola krytycznego, powstają w nadprzewodzącym układzie elektronowym obszary normalne, przez które pole magnetyczne może przechodzić. Są to tak zwane wiry, a wartość strumienia pola magnetycznego jest tam dyskretna (wielokrotnością $h/2e$, gdzie h jest stałą Plancka, a e jest wartością ładunku elektronu). Najprostsze nadprzewodniki jednoskładnikowe są pierwszego rodzaju, gdzie pole magnetyczne nie wnika do próbki, o ile nie przekracza ono pewnej wartości krytycznej, powyżej której nadprzewodnictwo całkowicie znika. W nadprzewodnikach drugiego rodzaju stan, w którym pole magnetyczne wnika w postaci wirów, nazywamy stanem mieszanym. Dopiero powyżej tak zwanego drugiego pola krytycznego nadprzewodnictwo znika.

Skoro zwiększenie liczby pierwiastków w układzie wiąże się na ogół ze wzrostem temperatury przejścia, wydaje się naturalnym zbadanie układów trójskładnikowych. Do nadprzewodników trójskładnikowych należą tak zwane fazy Chevrela. Tym razem pierwsze skrzypce odgrywa molibden (Mo). Przykładem jest związek $PbMo_6S_8$ z dość wysoką temperaturą przejścia 15 K ($\sim -258^\circ\text{C}$) i bardzo dużym drugim polem krytycznym 60 T. Inną interesującą samą w sobie rodziną są układy ciężko-fermionowe (elektrony są fermionami). Są to związki zawierające pierwiastek z grupy lantanowców lub aktynowców z walencyjnymi orbitalami typu f. Swoją nazwę zawdzięczają temu, że elektrony, odpowiedzialne za niskotemperaturowe własności termodynamiczne i transportowe, mają ogromną masę efektywną, rzędu 100–1000 mas elektronu w próżni. Jednym z nich jest związek URu_2Si_2 z temperaturą przejścia 1,3 K ($\sim -272^\circ\text{C}$) czy „rekordzista” $CeCoIn_5$ z temperaturą krytyczną 2,3 K ($\sim -271^\circ\text{C}$). Dodajmy dla ścisłości, że wśród nadprzewodników ciężko-fermionowych są też związki dwuskładnikowe, np. UBe_{13} czy UPt_3 z temperaturami przejścia sporo poniżej 1 K.

Wśród nadprzewodników dwu- i trójskładnikowych są też zupełnie egzotyczne układy, fulereny C_{60} z wbudowanymi cząsteczkami, np. K_3 , K_2Rb czy RB_2Cs . Fulereny są to cząsteczki zbudowane z 60 atomów węgla, przyjmujące kształt piłki futbolowej uszytej z lat pięciokątnych i sześciokątnych. Tam, gdzie schodzą się „szwy”, znajdują się atomy węgla. Takie cząsteczki C_{60} układają się w regularną periodyczną strukturę, a pomiędzy nimi lokują się atomy metali alkalicznych. W zależności od podstawienia temperatura krytyczna zmienia się od 6,8 K ($\sim -266^\circ\text{C}$) dla Sr_6C_{60} do maksymalnie 33 K ($\sim -240^\circ\text{C}$) dla Cs_2RbC_{60} .

Geometria i niska wymiarowość także lubią nadprzewodnictwo, ale na razie w niskich temperaturach. Na granicy połączonych dwóch materiałów, $LaAlO_3$ oraz $SrTiO_3$, powstaje uporządkowana magnetycznie dwuwymiarowa warstwa elektronów, których opór elektryczny spada do zera w temperaturach poniżej 0,1 K ($\sim -273^\circ\text{C}$).

W roku 1985 dużej części Czytelników miesięcznika *Delta* pewnie jeszcze nie było na świecie. To wtedy dokonała się rewolucja nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego. Georg Bednorz i K. Alex Müller, pracujący w laboratorium IBM w Zurychu w Szwajcarii, odkryli nadprzewodnictwo w materiale z klasy tzw. perowskitów. W niestechiometrycznym układzie $La_{1,85}Ba_{0,15}CuO_4$ zaobserwowano przejście do zerowego oporu w temperaturze 36 K ($\sim -237^\circ\text{C}$). Niecały rok później Paul Chu odkrył nadprzewodnictwo w $YBa_2Cu_3O_7$ w temperaturze 93 K ($\sim -180^\circ\text{C}$). Pierwszy raz w historii do obserwacji nadprzewodnictwa można było używać skroplonego tlenu i azotu, a nie jak wcześniej – helu. Dziennikarze porównywali wtedy cenę litra skroplonego azotu do ceny litra mleka, a cenę litra skroplonego helu do ceny litra dobrego koniaku, pokazując doniosłość odkrycia. Czteroelementowe, niestechiometryczne związki wydawały się odpowiedzią na pytanie, gdzie szukać nadprzewodnictwa w wysokich temperaturach. Dotychczasowy rekord padł w 1993 roku w perowskicie pięcioelementowym $HgBa_2Ca_2Cu_3O_8$, który nadprzewodzi w temperaturach poniżej 138 K ($\sim -135^\circ\text{C}$).



Rozwiązanie zadania M 1776.

Zauważmy, że mnożenie dowolnej liczby a , b , c przez -1 nie zmienia prawdziwości żadnej z rozważanych nierówności.

Ponadto $ab \neq 0$. Oznacza to, że bez straty ogólności możemy założyć, że $a > 0$, $b > 0$ oraz $c \geq 0$.

Zapisując pierwszą z nierówności jako

$$\left| \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \right| < 1,$$

widzimy, że istnieje liczba $\gamma \in (0, \pi)$, spełniająca równość

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma.$$

Skonstruujmy trójkąt T , którego dwa boki są równe a i b , a kąt między tymi bokami jest równy γ . Niech trzeci bok tego trójkąta będzie równy c_1 . Na podstawie twierdzenia cosinusów zastosowanego dla trójkąta T dostajemy równość

$$c_1^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma = c^2,$$

więc $c = c_1$. Niech α , β będą kątami między bokami b , c oraz c , a trójkąta T . Ponownie, korzystając z twierdzenia cosinusów, dostajemy

$$\left| \frac{b^2 + c^2 - a^2}{bc} \right| = 2 |\cos \alpha| \quad \text{oraz}$$
$$\left| \frac{c^2 + a^2 - b^2}{ca} \right| = 2 |\cos \beta|,$$

więc nierówności z tezy są oczywiście spełnione.

Fax to papierowa informacja, skanowana i wysyłana połączeniem telefonicznym, na końcu którego była drukarka.

Ten artykuł miał jedynie pokazać, jak bogaty i różnorodny jest świat materiałów nadprzewodzących. Bardziej systematyczna prezentacja nadprzewodników jest dostępna np. w artykule

<https://arxiv.org/pdf/1306.0429.pdf> albo w podręczniku *Magnetyzm i nadprzewodnictwo*, A. Szewczyk, A. Wiśniewski, R. Puźniak i H. Szymczak (PWN, 2012).

Pod ciśnieniem 30 GPa temperatura przejścia wynosi nawet 165 K ($\sim -108^\circ\text{C}$). Ale dalszego postępu do tej pory nie ma. Więcej szczegółów o nadprzewodnikach wysokotemperaturowych Czytelniczka i Czytelnik znajdą w doskonałym artykule autorstwa A. Wiśniewskiego w Δ_{18}^2 .

Wszystkie odkryte nadprzewodniki wysokotemperaturowe mają płaszczyzny miedziowo-tlenowe, układające się w równoległe warstwy, pomiędzy którymi lokują się pozostałe pierwiastki układu. W granicy stechiometrycznej, bez domieszkowania, są to układy bardzo dobrze izolujące. Należą one do grupy tak zwanych skorelowanych izolatorów Motta. Domieszkowanie, zmiana stechiometrii, sprawia, że izolator przekształca się w nadprzewodnik. Do dziś nie ma pełnego konsensusu wśród specjalistów, jaki jest powód tego nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego. Sir Mott mawiał, że istnieje tyle teorii nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego, ilu jest teoretyków tym się zajmujących, albo i jeszcze więcej. Problemem jednak są silne korelacje pomiędzy elektronami wynikające z oddziaływań Coulombowskich, których do dziś nie potrafimy opisywać teoretycznie w pełnej ogólności.

Wyścig w poszukiwaniu nadprzewodników wysokotemperaturowych był niezwykle emocjonujący i trwał ładnych kilkanaście lat. Pojawiały się co jakiś czas (*fake*)*newsy* o kolejnych nadprzewodnikach w coraz wyższych temperaturach, później dementowane przez samych autorów albo innych badaczy. Były też pewne ruchy z kategorii „nie fair”. Do dziś można znaleźć artykuł w *New York Times Magazine* opisujący historię profesora Chu, który w manuskrypcie wysłanym do *Physical Review Letters* podawał, że zaobserwował nadprzewodnictwo w temperaturze powyżej skraplania się azotu w $\text{YtBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$. Dopiero dzień przed wydrukowaniem publikacji (wtedy nie było wydań Internetowych) wysłał fax do redakcji z prośbą o zamianę w całym manuskrypcie Yt na Y (iterb na itr). Chciał w ten sposób opóźnić pracę konkurencji, obawiając się (w sumie słusznie) wycieku informacji przed publikacją. Plotka mówi, że z tego powodu komitet Nagrody Nobla w 1987 roku uhonorował jedynie K.A. Müllera i G. Bednorza, pomijając P. Chu. O tym jednak być może dowiemy się dopiero po 2037 roku, gdy zostaną otwarte archiwa z 1987 roku.

W historii nadprzewodnictwa ważny był rok 2008. Wtedy odkryto nadprzewodnictwo w dość wysokich temperaturach, tzn. powyżej 20 K, w tzw. pniktydkach i chalogenkach. Ciekawe układy na bazie żelaza z maksymalną temperaturą przejścia 55 K ($\sim -218^\circ\text{C}$) w $\text{SmFeAsO}_{\sim 0,85}$. Część z tych układów zawiera arsen, silnie trujący pierwiastek. Dlatego badania nad tymi układami nie były wcześniej podejmowane zbyt często.

Czytelniczka i Czytelnik, którzy dotrwali w lekturze do tego miejsca, domyślają się, że odpowiedzi na pytanie postawione w tytule nie ma. Nie wiadomo, gdzie szukać nadprzewodników, a szczególnie tych z pokojowymi temperaturami przejścia. Wraz ze wzrostem liczby pierwiastków w badanych układach ich liczba rośnie potęgowo. Ze 100 pierwiastków możemy stworzyć szacunkowo 100^2 układów dwuskładnikowych, 100^3 układów trójskładnikowych itd. Pomijamy możliwość, że nie wszystko, co sobie wymyślimy, jest stabilne chemicznie, czyli jest ich trochę mniej. Ale z drugiej strony zmienna stechiometria czy nie-stechiometria związków daje nam jeszcze więcej możliwych próbek do zbadania. Można też modyfikować geometrię układu i zmieniać jego efektywną wymiarowość lub tworzyć nieoczywiste konglomeraty i nowe struktury. W żaden systematyczny sposób nie jesteśmy w stanie zbadać wszystkich możliwych kandydatów do nadprzewodnictwa. Naukowcom pozostaje intuicja, ciężka praca i łut szczęścia, że w swoich laboratoriach znajdują szukany nadprzewodnik wysokotemperaturowy.

Być może kiedyś będziemy się cieszyć z odkrycia nadprzewodników w temperaturach pokojowych. Do tego czasu czeka nas wiele prób, jak i licznych kolejnych doniesień o takowych odkryciach. Nawet jeśli są one później dementowane, patrzmy na nie z uznaniem. Jeśli nie będzie prób, upragnionego odkrycia tym bardziej nie będzie.