

Nadprzewodniki wysokotemperaturowe

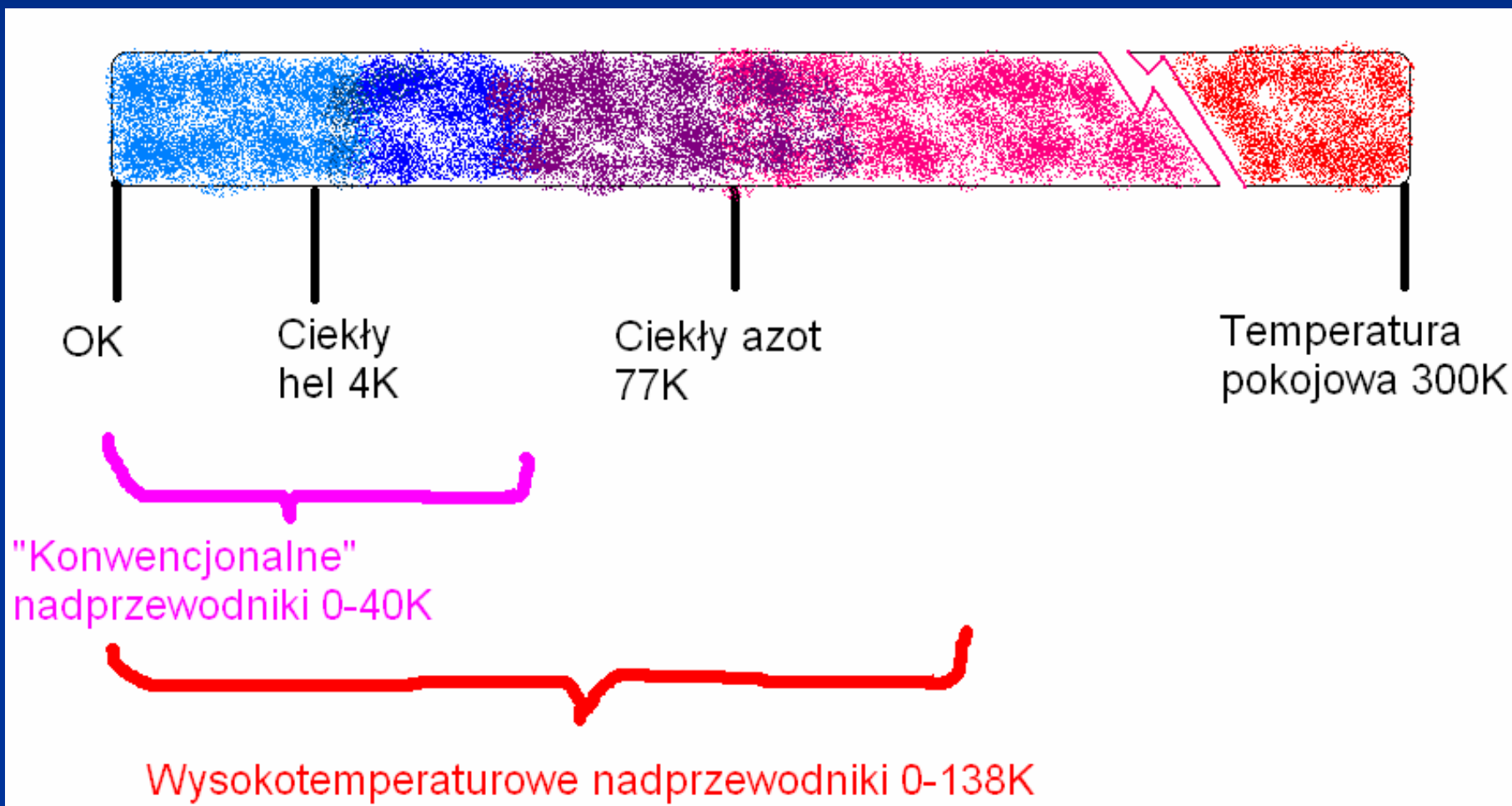
Joanna Mieczkowska

Zastosowanie nadprzewodnictwa na szeroką skalę, szczególnie do przesyłania energii na duże odległości, było dotychczas ograniczone z powodu konieczności oziębienia materiału przewodzącego do temperatury niższej niż krytyczna w celu osiągnięcia stanu nadprzewodzącego.

Ponieważ temperatura T_c jest zwykle bardzo mała, oznaczało to zazwyczaj oziębienie do temperatury ciekłego helu, czyli 4,2K.

Można sobie wyobrazić niezwykle zastosowania nadprzewodników, gdyby wystarczyło oziębiać je za pomocą ciekłego azotu do temperatury tylko około 70K.

Od chwili odkrycia nadprzewodnictwa trwają poszukiwania materiałów o jak najwyższej wartości T_c , najlepiej równej w przybliżeniu temperaturze pokojowej.



Bardeen, Cooper i Schrieffer w swych klasycznych publikacjach podali w roku 1957 podstawy kwantowej teorii nadprzewodnictwa.



„Teoria BCS” ma bardzo szeroki zakres stosowalności, poczynając od skondensowanej fazy ^3He poprzez metaliczne nadprzewodniki I i II rodzaju, po tlenkowe nadprzewodniki wysokotemperaturowe, w których kluczową rolę odgrywają płaszczyzny miedziowo-tlenowe.

Teoria BCS daje poprawny opis szeregu właściwości nadprzewodników metalicznych . Do takich właściwości należy istnienie temperatury krytycznej a także krytycznego prądu i pola magnetycznego.

Na podstawie ogólnych postulatów i wniosków wynikających z teorii BCS rysują się dwie zasadnicze możliwości:

- 1) Szczególnie silne oddziaływanie elektron-fonon V_0 , związane nawet z niestabilnością sieci, może prowadzić do wysokiej temperatury krytycznej. Korzystna byłaby także duża gęstość stanów na poziomie Fermiego.
- 2) Inny rodzaj oddziaływania elektronów, nie związany koniecznie z fononami, mógłby także prowadzić do „kondensacji” morza Fermiego w pary Coopera. W takim przypadku wartość T_c zwiększyłaby się z powodu wzrostu wartości ω_D , o ile oddziaływanie byłoby przenoszone przez cząstki o masie znacznie mniejszej niż fonony (np. same elektrony).

W 1986 odkryto (J.G. Bednorz, K.A. Müller) tzw. **nadprzewodniki wysokotemperaturowe** (będące materiałami ceramicznymi), dla których T_K są wyższe od temperatury wrzenia ciekłego azotu (tj. od ok. 77 K).



Przełom nastąpił wiosną 1986 r. Georg Bednorz i Alex Mueller, pracujący w laboratorium firmy IBM pod Zurychem, zaobserwowali zanik oporu elektrycznego w bardzo dziwnym materiale. Był to tlenek zawierający miedź, lantan i bar, a nadprzewodnikiem stawał się już w temperaturze minus 240 st. C.

Było to o tyle nieoczekiwane odkrycie, że tego rodzaju materiał w temperaturze pokojowej jest izolatorem, czyli w ogóle nie przepuszcza prądu. Leży na przeciwnym biegunie niż przewodniki prądu. Nikomu wcześniej nie przychodziło do głowy, iż po schłodzeniu zupełnie zmieni swoją naturę.

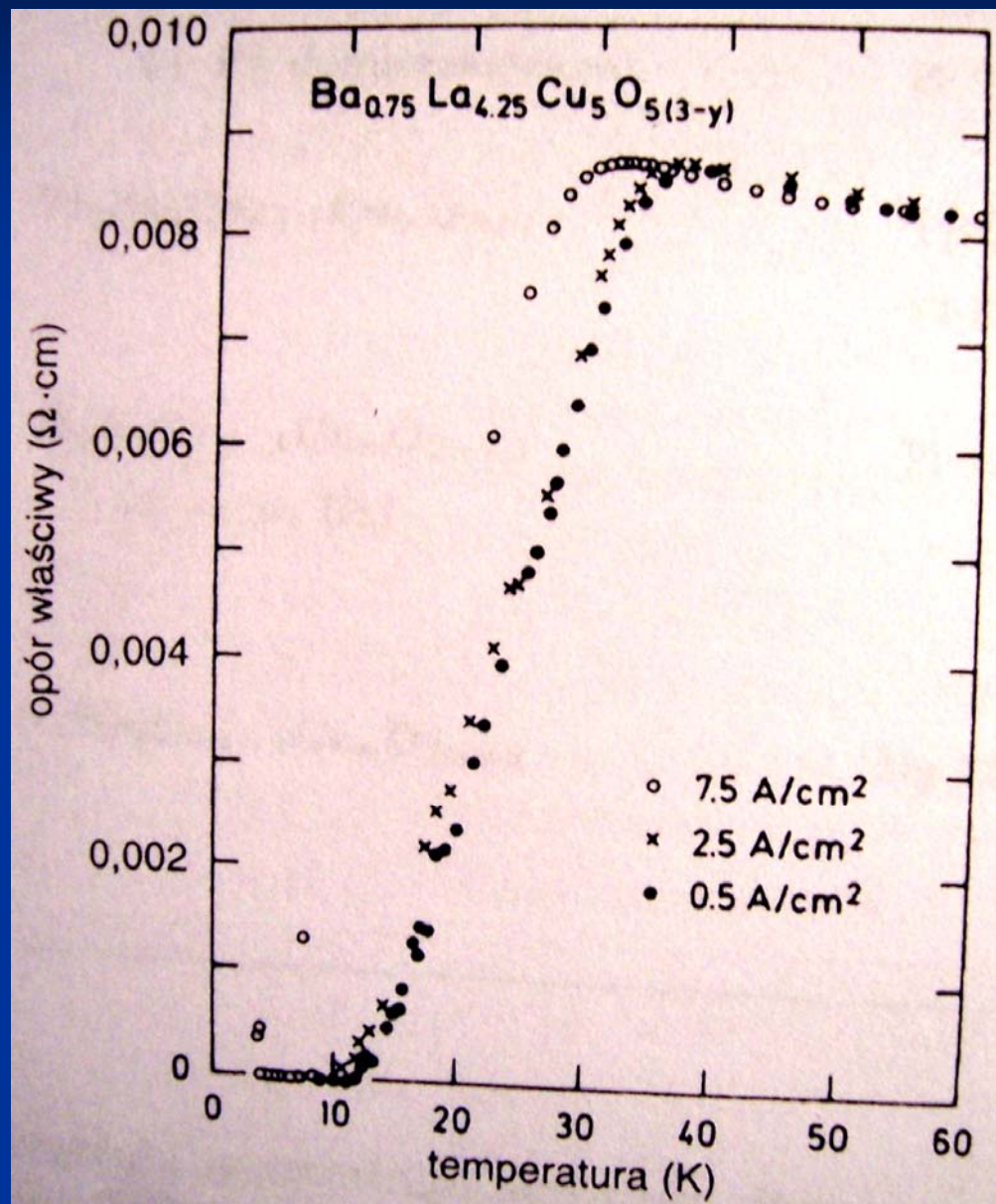
W 1987r otrzymali **Nagrodę Nobla**.

Rok po swoim odkryciu Bednorz i Mueller dostali Nagrodę Nobla. Inne laboratoria zaczęły przyglądać się podobnym związkom. I ruszyła lawina odkryć, a temperatura nadprzewodnictwa zaczęła się przesuwac w górę. Już pół roku później otrzymano tlenek miedzi, zawierający itr, który nadprzewodził po schłodzeniu do 180 st. Celsjusza poniżej zera. Rekord bito potem wielokrotnie aż do maja 1993 roku, gdy znaleziono tlenek zawierający rtęć, bar, wapń i miedź, nadprzewodzący w minus 140 st. Celsjusza.

Do takiej temperatury można schłodzić materiał za pomocą ciekłego azotu, który skrapla się w minus 196 st. C. - Ciekły hel kosztuje tyle, ile dobry koniak, a litr ciekłego azotu tyle, ile butelka mleka - wyliczał zyski na łamach "Magazynu" prof. Józef Spalek z Instytutu Fizyki UJ.

Odkryli, że temperatura krytyczna pochodnych tlenku miedzi Ba-La-Cu-O o zaniżonej w porównaniu ze stechiometryczną, zawartością tlenu jest równa ok. 30K.

Zależność oporu właściwego polikrystalicznego tlenku ceramicznego $\text{Ba}_{0,75}\text{La}_{4,25}\text{Cu}_5\text{O}_{5(3-y)}$ od temperatury dla różnych gęstości prądu.



Nadprzewodniki wysokotemperaturowe (NWT) to głównie materiały tlenkowe o wysokich temperaturach krytycznych. Cechują je wysokie prądy krytyczne i wysokie pola krytyczne.

Najwyższa temperatura krytyczna, stwierdzona dla nadprzewodników klasycznych, długo pozostawała na poziomie 23K, ale w roku 1988 osiągnięto wartość $T_c=125K$ dla nadprzewodników tlenkowych.

Przeprowadzono na tych materiałach wszystkie testy, jakim poddawane są nowo odkryte nadprzewodniki: badano efekt Meissnera, zmiennoprądowe zjawisko Josephsona, trwałe prądy i zerowy opór elektryczny.

Zapowiedzią zastosowań przemysłowych tych materiałów były przyrządy nadprzewodnikowe wykonane w 1994 roku, w technologii cienkowarstwowej, oraz druty nadprzewodzące.

Pamiętnymi krokami w badaniach nadprzewodnictwa materiałów tlenkowych były odkrycia nadprzewodnictwa w następujących materiałach:

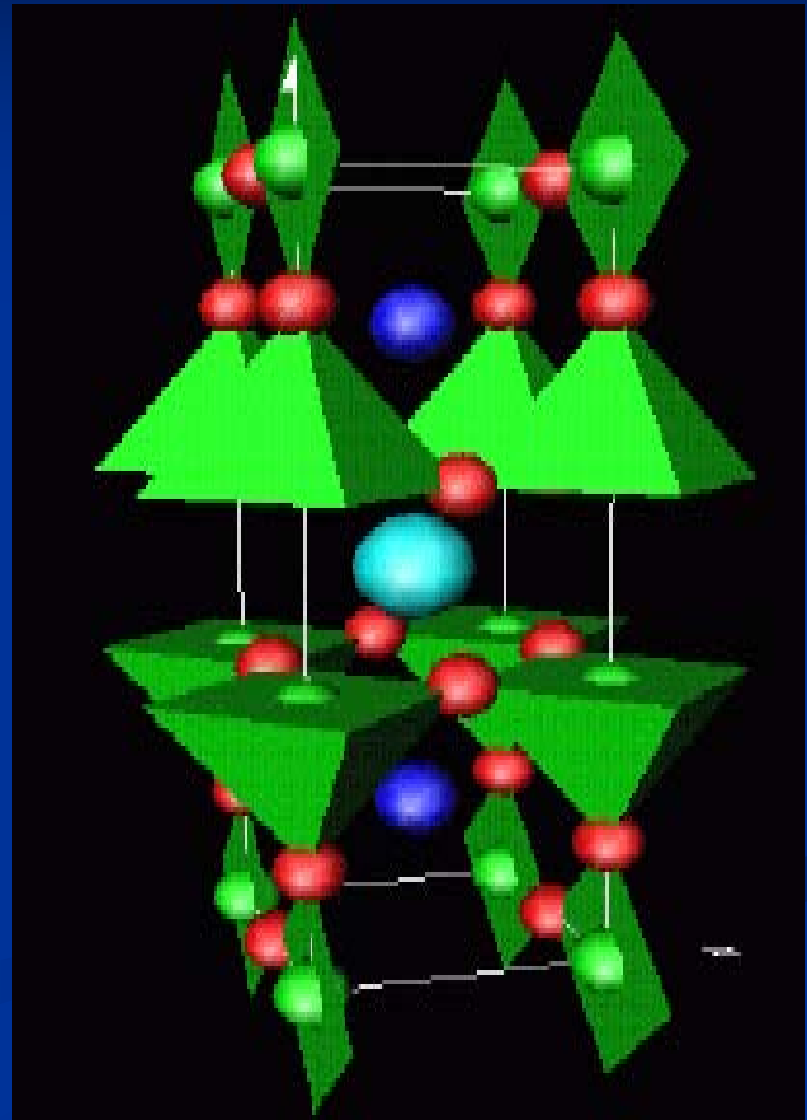
$\text{BaPb}_{0,75}\text{Bi}_{0,25}\text{O}_3$ $T_c=12\text{K}$ [BPBO]

$\text{La}_{1,85}\text{Ba}_{0,15}\text{CuO}_4$ $T_c=36\text{K}$ [LBCO]

$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ $T_c=92\text{K}$ [YBCO]

$\text{Ti}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ $T_c=120\text{K}$ [TBCO]

Najlepiej zbadanym materiałem jest YBCO.



Wzór	Skrót	Najwyższa osiągnięta dotychczas T_c [K]
REBa ₂ Cu ₃ O ₇ $\left(\begin{array}{l} \text{RE} = \text{ziemie rzadkie} \\ = \text{Y, Eu, Gd, ...} \end{array} \right)$	RE BCO lub 123	92 (YBCO)
BiSr ₂ Ca _{n-1} Cu _n O _{2n+4} (+ Pb domieszkowane)	BSCCO lub Bi-22 (n - 1)n	90 (Bi-2212) 122 (Bi-2223) 90 (Bi-2234)
Tl ₂ Ba ₂ Ca _{n-1} Cu _n O _{2n+4}	TBCCO lub Tl-22 (n - 1)n	110 (Tl-2212) 127 (Tl-2223) 119 (Tl-2234)
Tl ₂ A ₂ Ca _{n-1} Cu _n O _{2n+3} (A = Sr, Ba)	Tl-12 n(n - 1)	90 (Tl-1212) 122 (Tl-1223) 122 (Tl-1234) 110 (Tl-1245)
HgBa ₂ Ca _{n-1} Cu _n O _{2n+2}	Hg-12 n(n - 1)	96 (Hg-1201) 128 (Hg-1212) 135 (Hg-1223)

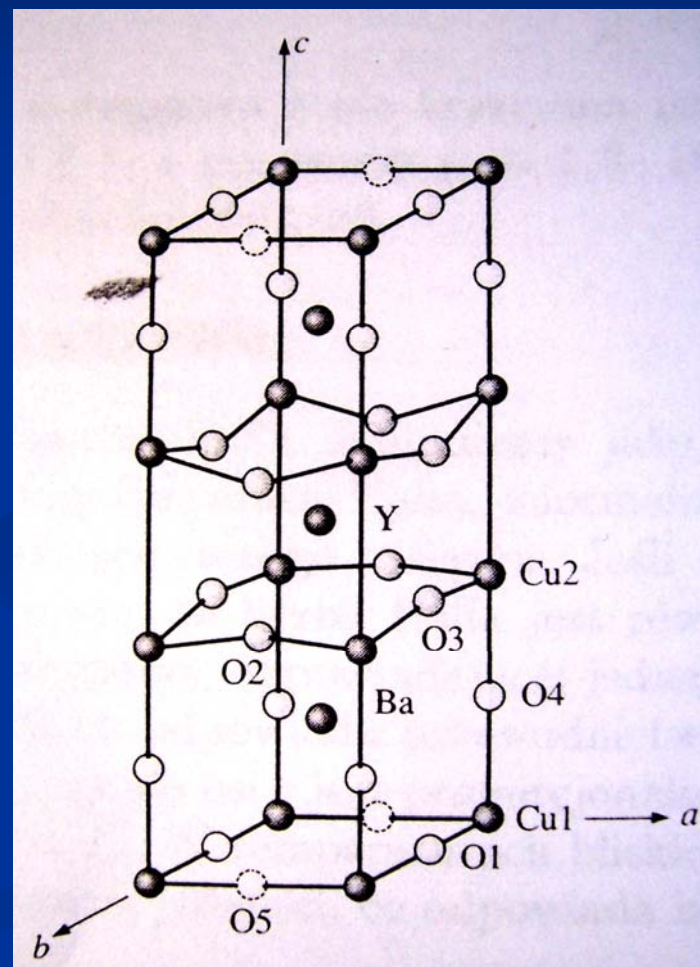
Wszystkie te materiały mają, z wyjątkiem BPBO, mają strukturę krystaliczną perowskitu, modyfikowaną przez niedobory tlenu. Nieobsadzonych może być jedna trzecia wszystkich węzłów tlenowych.

Komórka elementarna tych kryształów jest trzykrotnym powtórzeniem wzdłuż osi c tetragonalnej komórki elementarnej perowskitu.

Wymiary rombowej komórki YBCO są następujące: $a=0,388\text{nm}$, $b=0,384$ i $c=1,163\text{nm}$, a objętość komórki wynosi $0,173\text{nm}^3$.

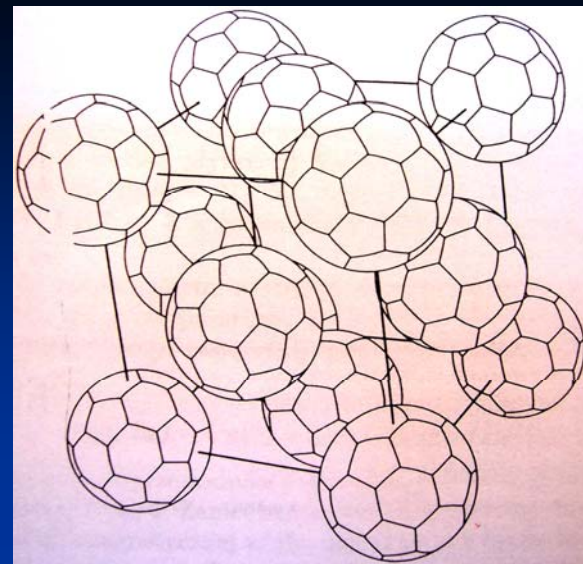
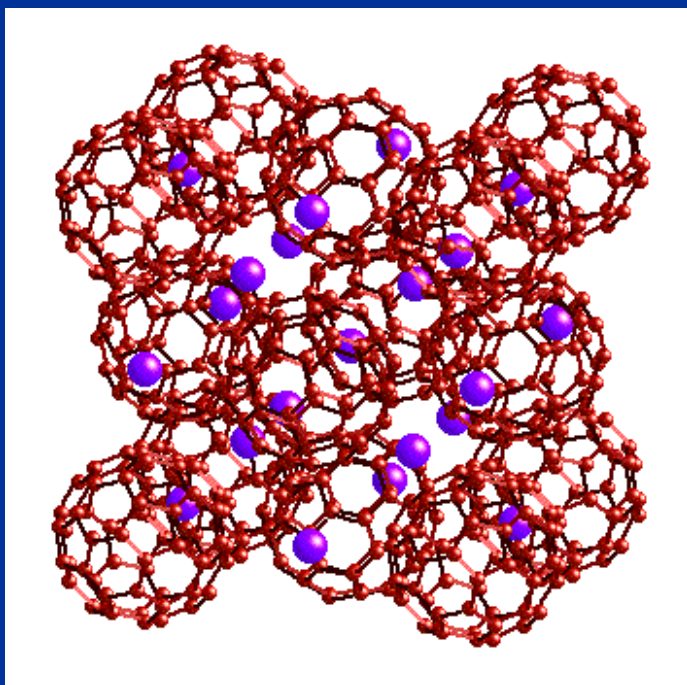
Równoległe płaszczyzny CuO_2 są dominującą cechą strukturalną nadprzewodników wysokotemperaturowych, których $T_c > 40\text{K}$.

Płaszczyzny CuO_2 są równoległe do płaszczyzny zawierającej osie a i b . Przewodnictwo elektryczne odbywa się głównie w obrębie tych dwóch płaszczyzn (płaszczyzny zawierające węzły oznaczone Cu2 , O2 i O3 są płaszczyznami przewodzenia prądu).



FULLERENY (fulerydy i fulereny endohedralne)

Fullereny są trzecią, poza diamentem i grafitem, stabilną formą węgla. Tworzą cząsteczki przypominające kształtem klatki. Podstawową formą jest C_{60} .



Związki fullerenów z metalami alkalicznymi są nadprzewodnikami. Na przykład związek K_3C_{60} , w którym potas znajduje się w położeniach oktaedrycznych komórki regularnej, jest nadprzewodnikiem o temperaturze krytycznej $T_c=19,2K$.

K -18K, Rubid – 30K, Cez – 33K (nieutrwałe w powietrzu)

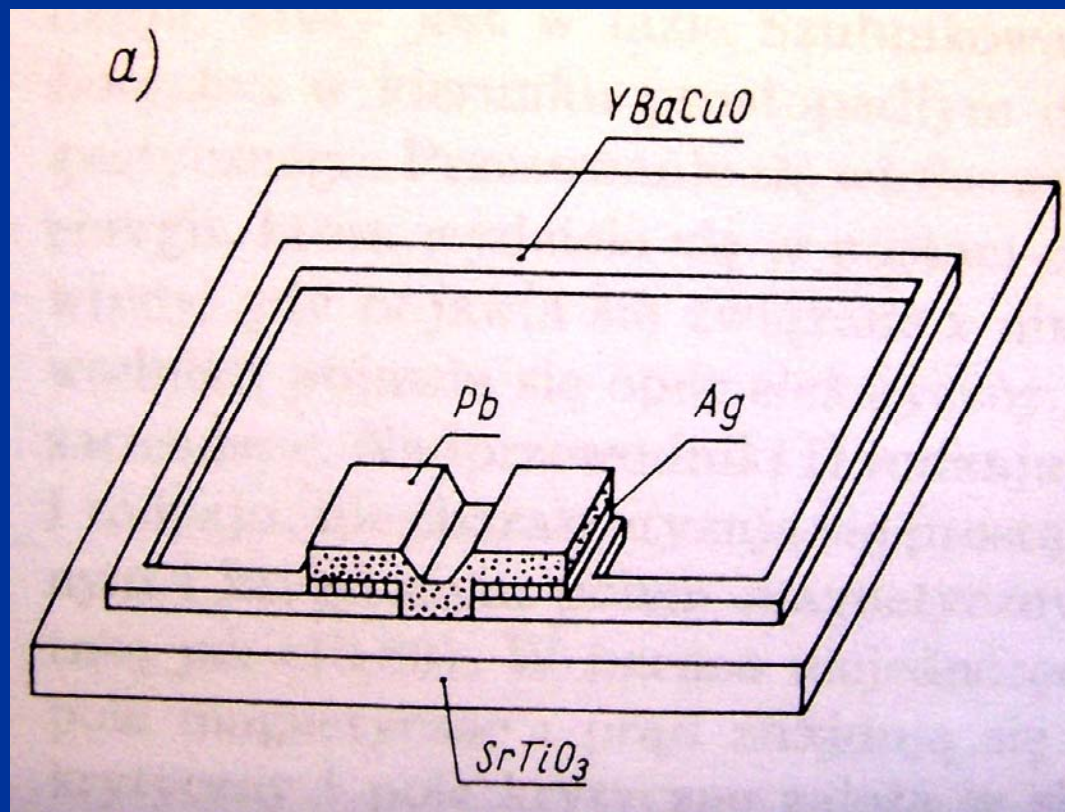
Związek $RbCs_2C_{60}$ jest nadprzewodnikiem o temperaturze krytycznej $T_c=33K$.

PODSTAWOWE WŁASNOŚCI NADPRZEWODNIKÓW WYSOKOTEMPERATUROWYCH

Po odkryciu NW szukano potwierdzenia, że nośniki prądu nadprzewodzącego również w tych materiałach łączą się w pary.

Istnienie nośników prądu o ładunku $2e$, a więc par elektronowych w nadprzewodnikach wysokotemperaturowych wykazali m.in.. Gough i in.

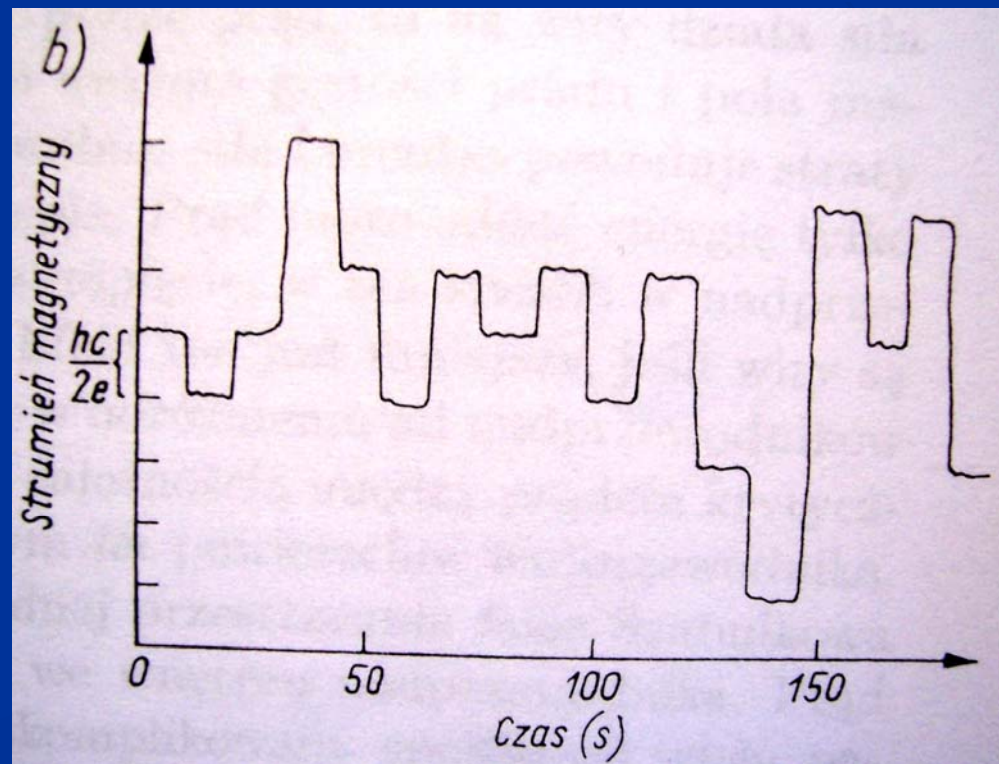
Wytworzono pierścień o średnicy wewnętrznej 5 mm i zewnętrznej 10 mm, uformowany z nadprzewodnika $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, w którym wykonano szczelinę, zamkniętą przez naparowaną warstwę ołowiu.



Pierścień ten, ochłodzony do odpowiednio niskiej temperatury, poddano działaniu sygnału fal elektromagnetycznych zawierającego duży zakres częstotliwości (szum).

Strumień magnetyczny, przechodzący przez ten pierścień, mierzono w funkcji czasu za pośrednictwem magnetometru SQUID-owego.

Skwantowany charakter
strumienia
magnetycznego wygląda
następująco:



W tym doświadczeniu eksperymentalnie wyznaczono
kwant strumienia:

$$\Phi_0 = (0,97 \pm 0,04) \frac{h}{2e}$$

Oznacza to, że kwant strumienia w nadprzewodnikach
wysokotemperaturowych jest identyczny z Φ_0 odkrytym w
klasycznych nadprzewodnikach.

WYTWARZANIE NADPRZEWODNIKÓW WYSOKOTEMPERATUROWYCH

YBCO

Mielenie, mieszanie oraz spiekanie składników.



Mielenie a następnie wypełnianie matrycy proszkiem YBCO, dodanie etanolu i sprasowanie.



Spiekanie (1223K,16h) a następnie rozdrabnianie i wygładzanie próbki.



Gotowe kształty

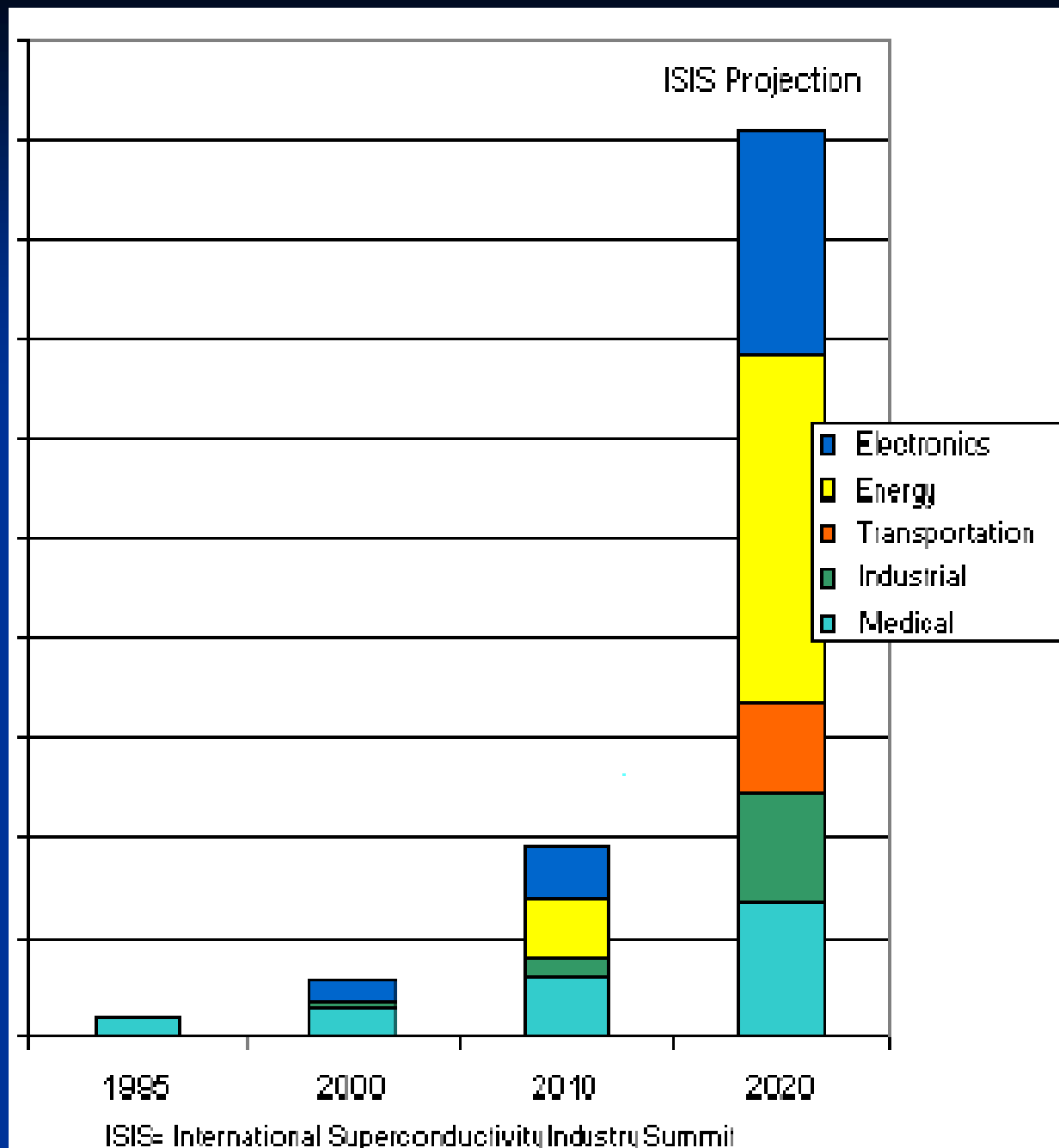


ZASTOSOWANIE NADPRZEWODNIKÓW WYSOKOTEMPERATUROWYCH

Zainteresowanie nadprzewodnikami wysokotemperaturowymi wynika nie tylko z ich niezwykłych właściwości, ale także i to chyba przede wszystkim z możliwości wykorzystania tych materiałów w urządzeniach elektrycznych .

Stosuje się nadprzewodniki wysokotemperaturowe w ogranicznikach prądowych.

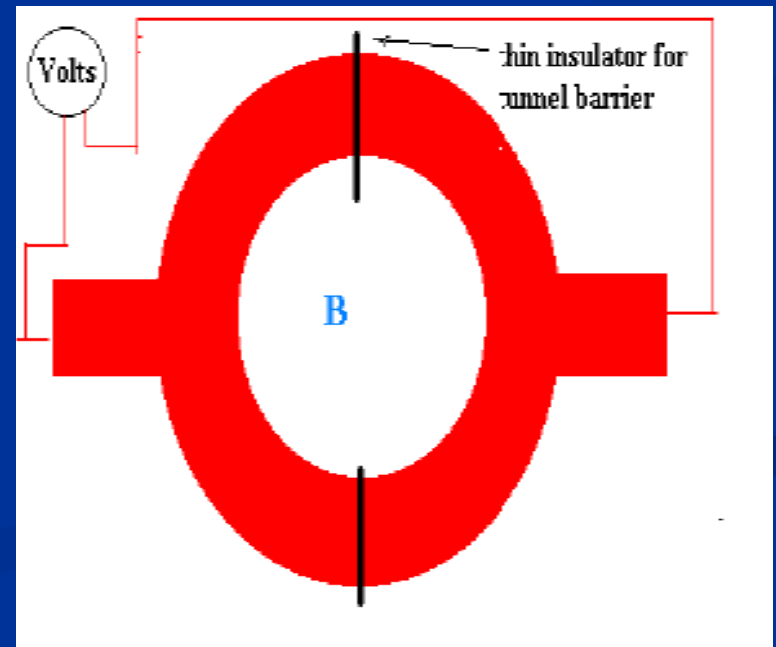
Zabezpieczają one sieć energetyczną przed nieoczekiwanymi przeciążeniami i właśnie nadprzewodniki wysokotemperaturowe stwarzają możliwość konstrukcji prawie idealnego ogranicznika o zerowej rezystancji w warunkach pracy i wysokiej podczas wystąpienia zwarcia.



Pomiar indukcji pola magnetycznego SQUID

Jest to pierścień złożony z dwóch nadprzewodników przedzielonych warstwami izolatora. Złącza (warstwy izolatora) są bardzo cienkie i prąd nadprzewodzący może przez nie tunelować.

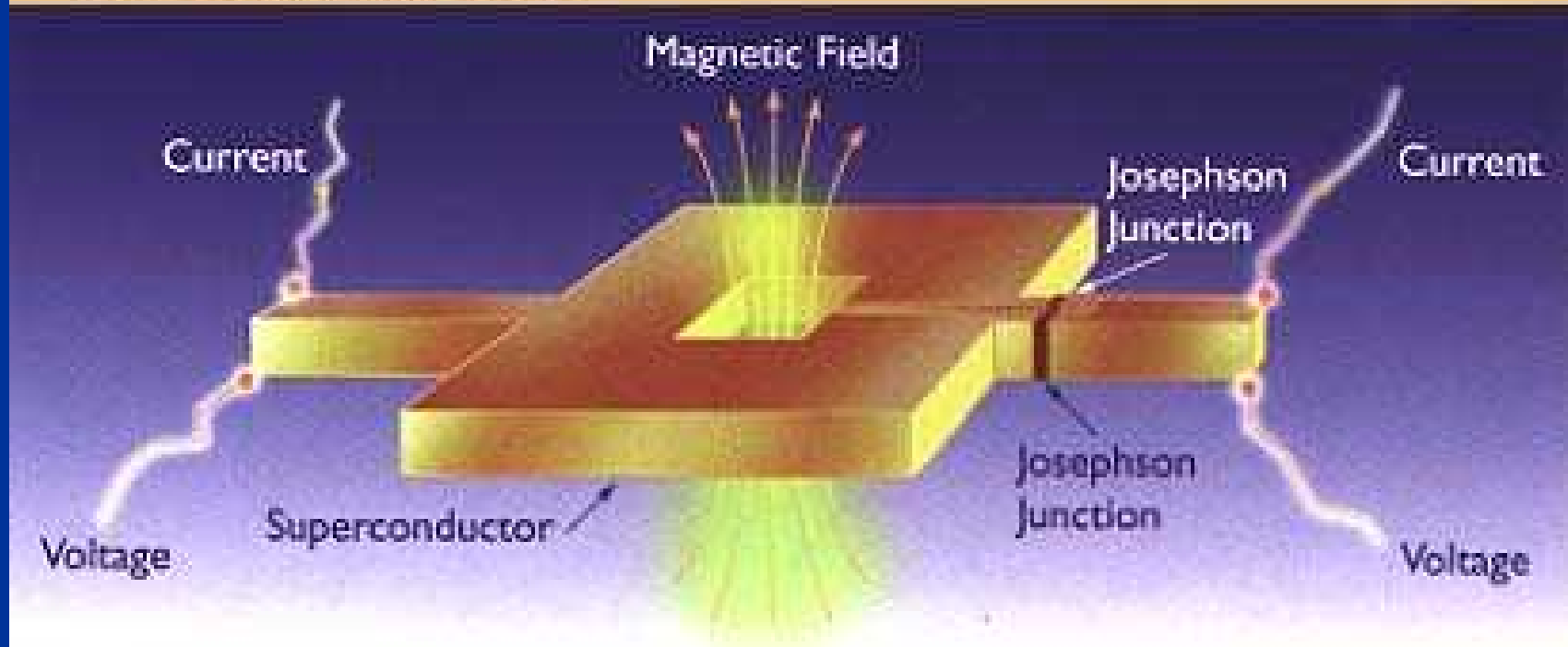
Do wnętrza pierścienia może wnikać pole magnetyczne (tylko kwanty strumienia = fluksony).



Zmiana pola magnetycznego wewnątrz pierścienia powoduje zmianę płynącego prądu.

Fluksy są bardzo małe, w związku z tym SQUID jest bardzo czułym miernikiem pola magnetycznego.

A SQUID (Superconducting QUantum Interference Device) is the most sensitive type of detector known to science. Consisting of a superconducting loop with two Josephson junctions, SQUIDs are used to measure magnetic fields.



KABLE PRZESYŁOWE

Problemem jest tutaj chłodzenie kabla nadprzewodzącego, jest to kosztowne i technicznie trudne.

Można byłoby z nich zbudować linie przesyłowe, które dostarczą prąd z elektrowni do domów i fabryk bez kosztownych strat (dziś po drodze traci się średnio 30 proc. energii)

ZASTOSOWANIA W ELEKTRONICE

- **Pamięci** (dziś procesory nie mogą mieć zbyt małych rozmiarów, bo przegrzewają się)

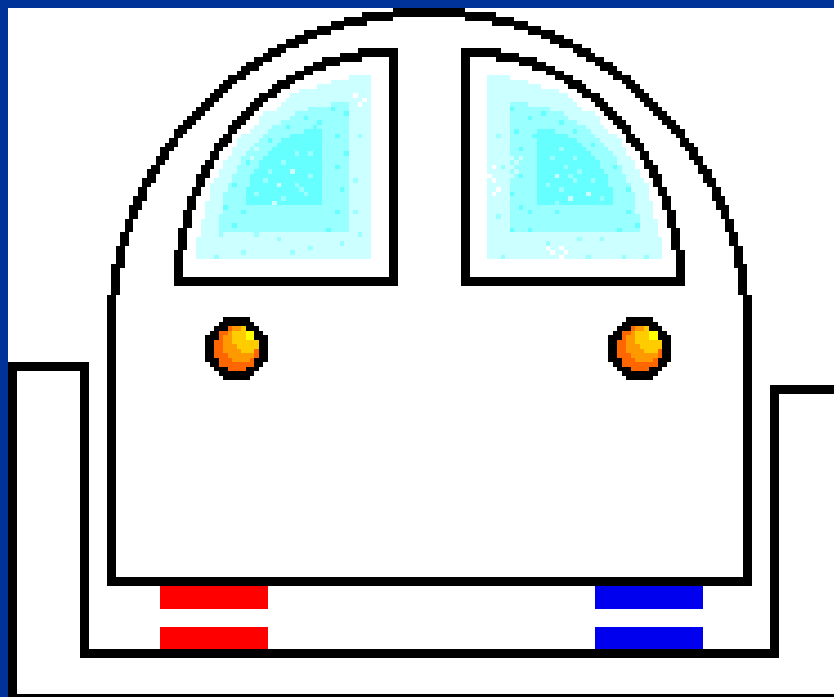
- **Różne szybkie przełączniki**

- **tranzystor polowy**

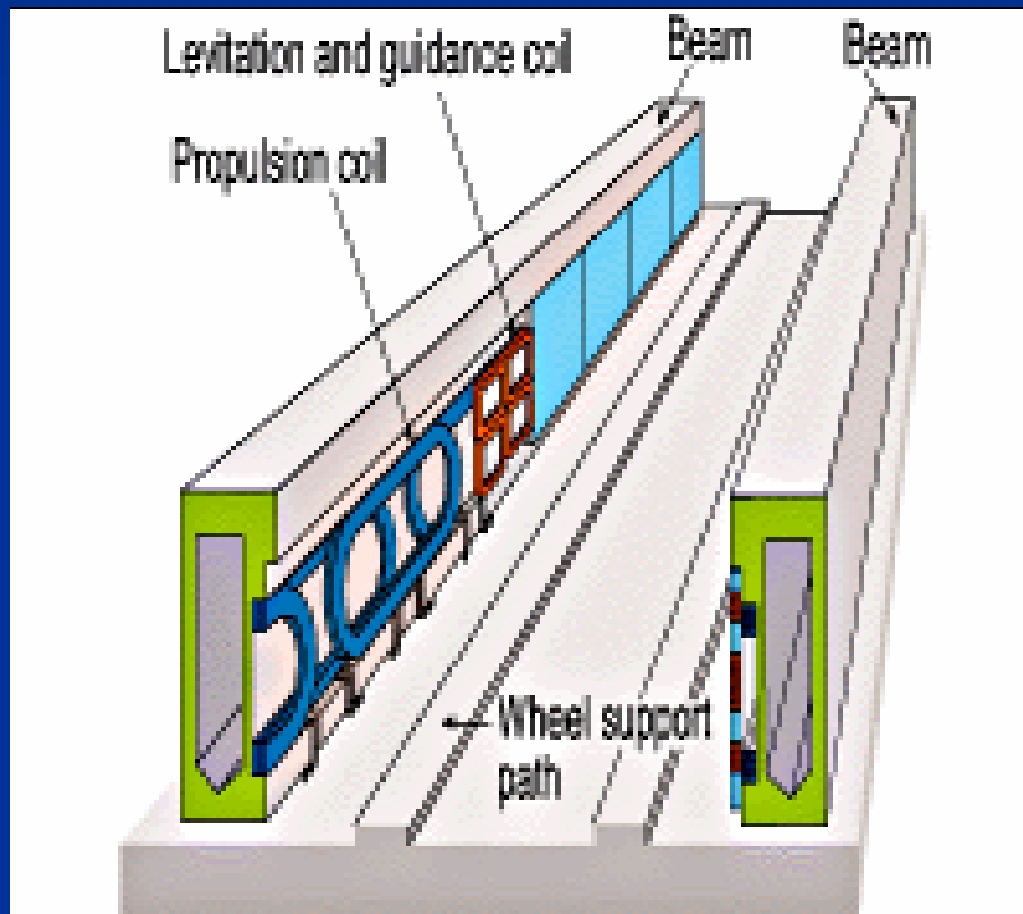
- **silniki**

Maglev

Zbudowanie szybkiej kolei z zawieszeniem magnetycznym, umożliwiającym uzyskanie prędkości wyższych od ok. 500km/h. Przy takich prędkościach tradycyjne zawieszenie staje się niemożliwe.



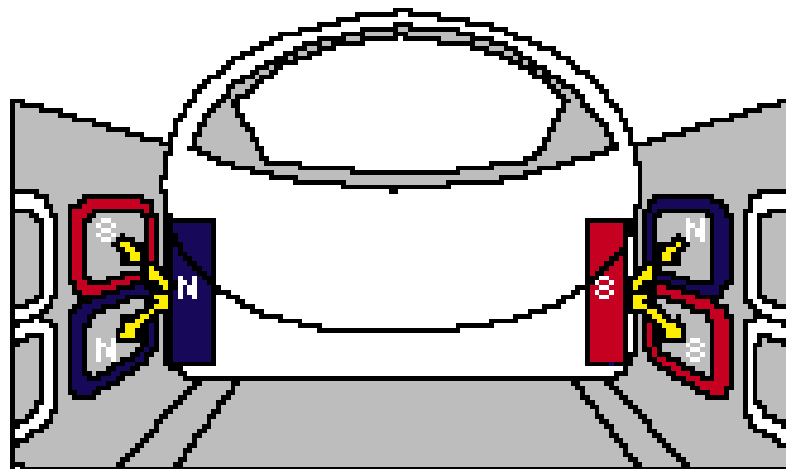
Elektromagnesy nadprzewodzące znajdują się w pociągu. Magnesy w torach są zwykłe.



Gdy magnesy nadprzewodzące znajdujące się w pociągu, umieszczone kilka centymetrów poniżej środka symetrii elektromagnesów w kształcie cyfry „8” umieszczonych po obu stronach toru pociągu, mijają je z dużą prędkością, wówczas w „ósemkach” indukuje się prąd. Prąd ten wytwarza pole magnetyczne skierowane tak, że siła działająca na pociąg jest skierowana do góry.

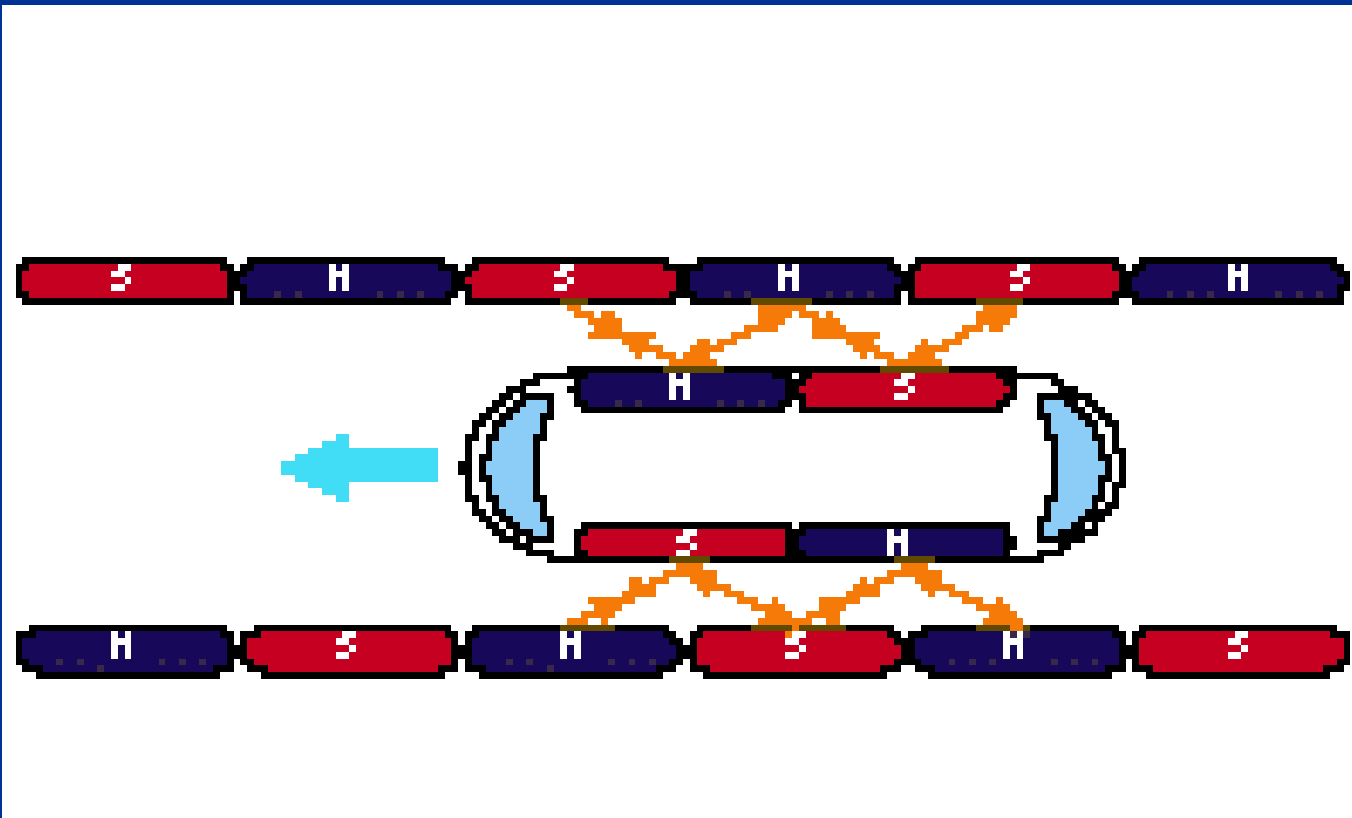
Pociąg lewituje ok. 10cm od podłoża.

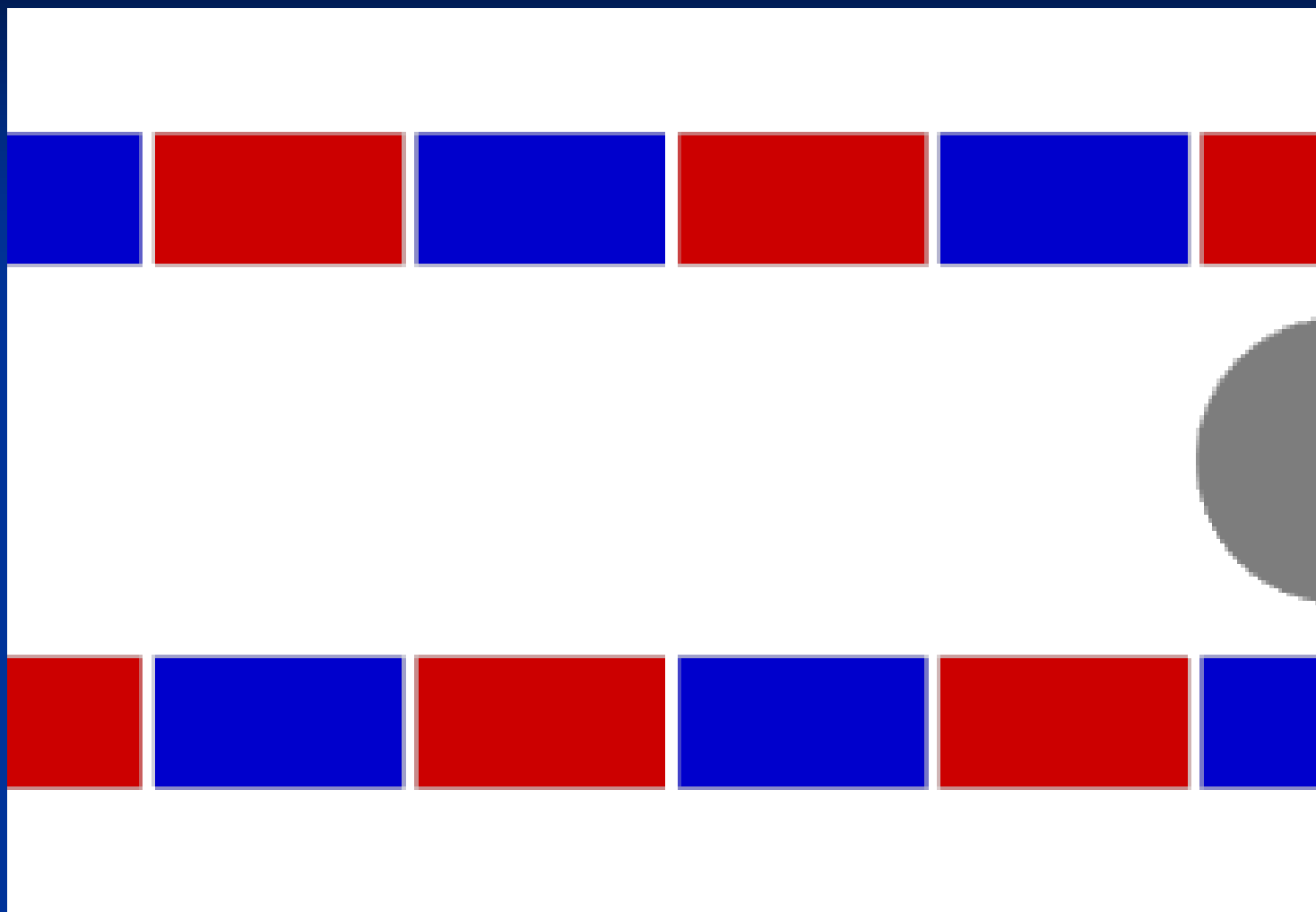
Pociąg ma również koła, gdyż lewitacja zaczyna się przy prędkości ok. 70km/h.



MAGLEV - napęd

Prąd zmienny zasilający cewki elektromagnesów układu prowadzącego płynie tak, że zawsze cewka z przodu pociągu ciągnie, a cewka nieco z tyłu pcha pociąg.





MAGLEV TRAINS				
From	To	KM	Total maglev Time	Driving @ 80km/h
Toronto	Vancouver	4500 km	13 hours	56 hrs 15 min
Toronto	Algonquin Pk	300 km	50 minutes	3hrs 45 min
Toronto	Muskoka	175 km	30 min	2 hrs 10 min
Montreal	St. John's	2600 km	7 hrs 30 min	32 hrs 30 min
Whitehorse	Toronto	5525 km	16 hrs	69 hrs
Toronto	New York	900 km	3 hrs	11 hrs 15 min
Paris	Moscow	2495 km	7 hrs 10 min	32 hrs
Whitehorse	Halifax	7100km	20hrs	89hrs
St. John's	Vancouver	7675 km	22 hrs	96 hrs



The Virginia Pilot



(AFP PHOTO/FILE)



LITERATURA :

- 1) Charles Kittel „Wstęp do fizyki ciała stałego”
- 2) Stankowski Jan „Nadprzewodnictwo”
- 3) H.. Ibach, H.Luth „Fizyka ciała stałego”
- 4) B.N.Buszmanow, J.A.Chromow „Fizyka ciała stałego”
- 5) <http://www.kartrait.terramail.pl/nadprzew.htm>
- 6) http://www.mif.pg.gda.pl/homepages/maria/pdf/MF_05_13.pdf
- 7) http://www.newton.mec.edu/Brown/TE/MAGLEV/RTRI/maglev_principle_E.html