



Supraconductivité: La magie du monde quantique devant vos yeux.

André-Marie Tremblay

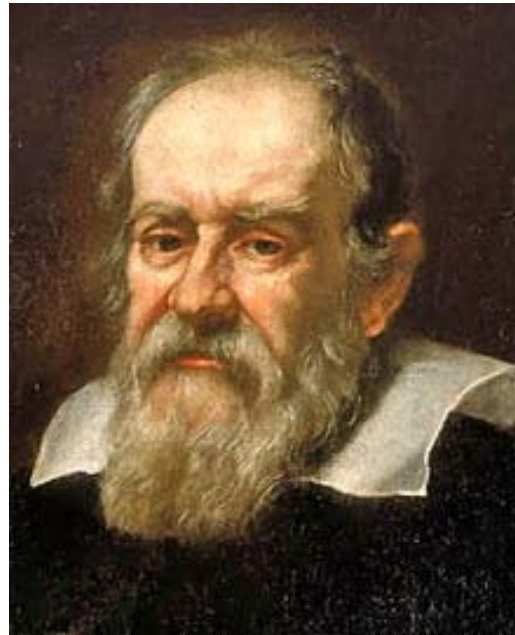


UNIVERSITÉ DE
SHERBROOKE



UNIVERSITÉ DE
SHERBROOKE

Galileo Galilei



1564-1642



UNIVERSITÉ DE
SHERBROOKE

Richard Feynman



1918-1988





Quelle serait la phrase qui contiendrait le plus d'information dans le moins de mots?



Atomes - température



La course vers la température zéro



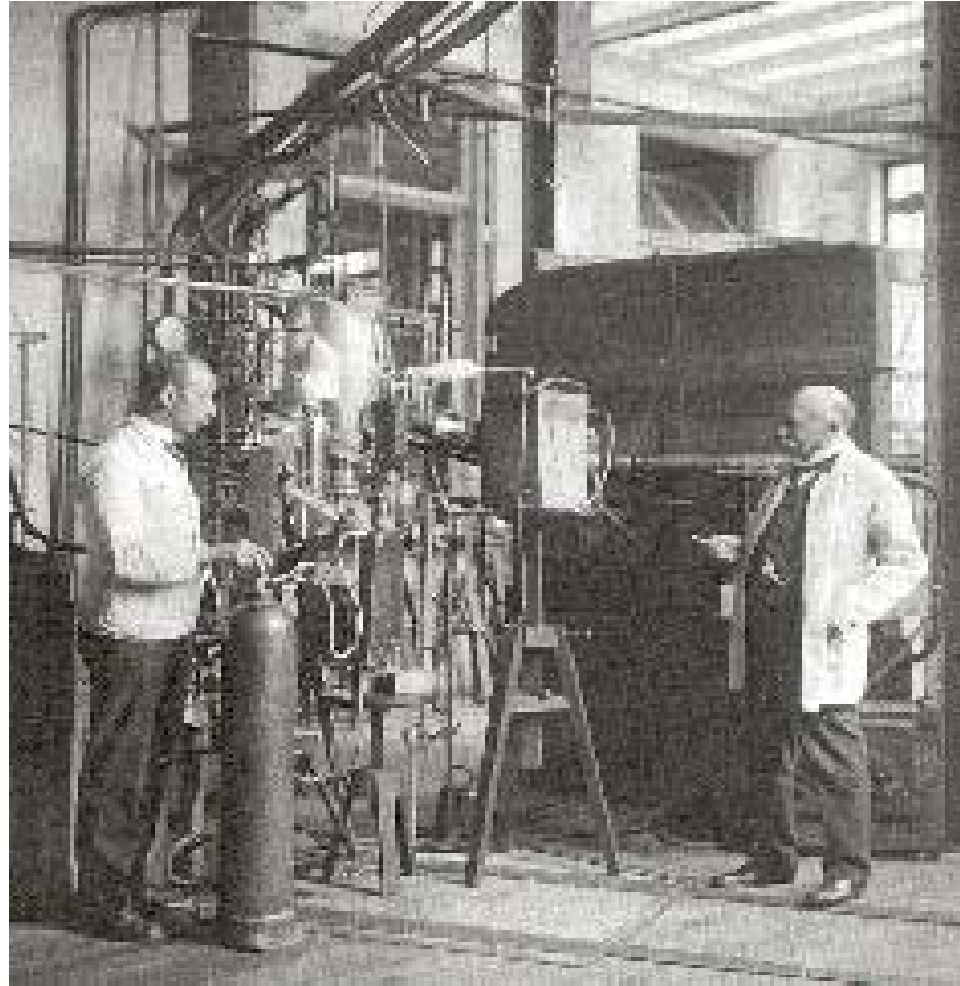
Un pas important vers $T = 0$

- Heike Kamerlingh Onnes
(Leiden) (1853/1926)



Les débuts du travail d'équipe en recherche

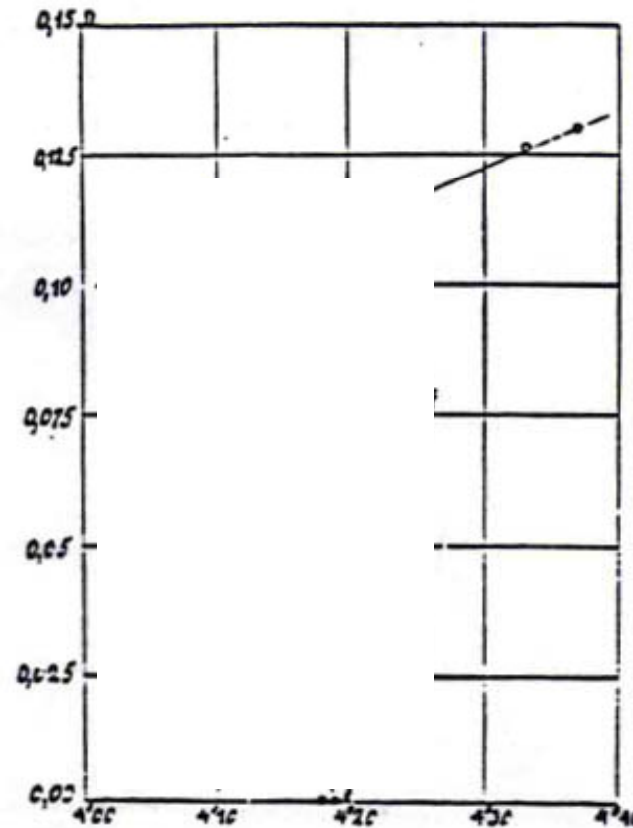
J.G.. Flim, cryogénie
G. Dorsma: thermométrie
G. Holst: électronique
Souffleur de verre



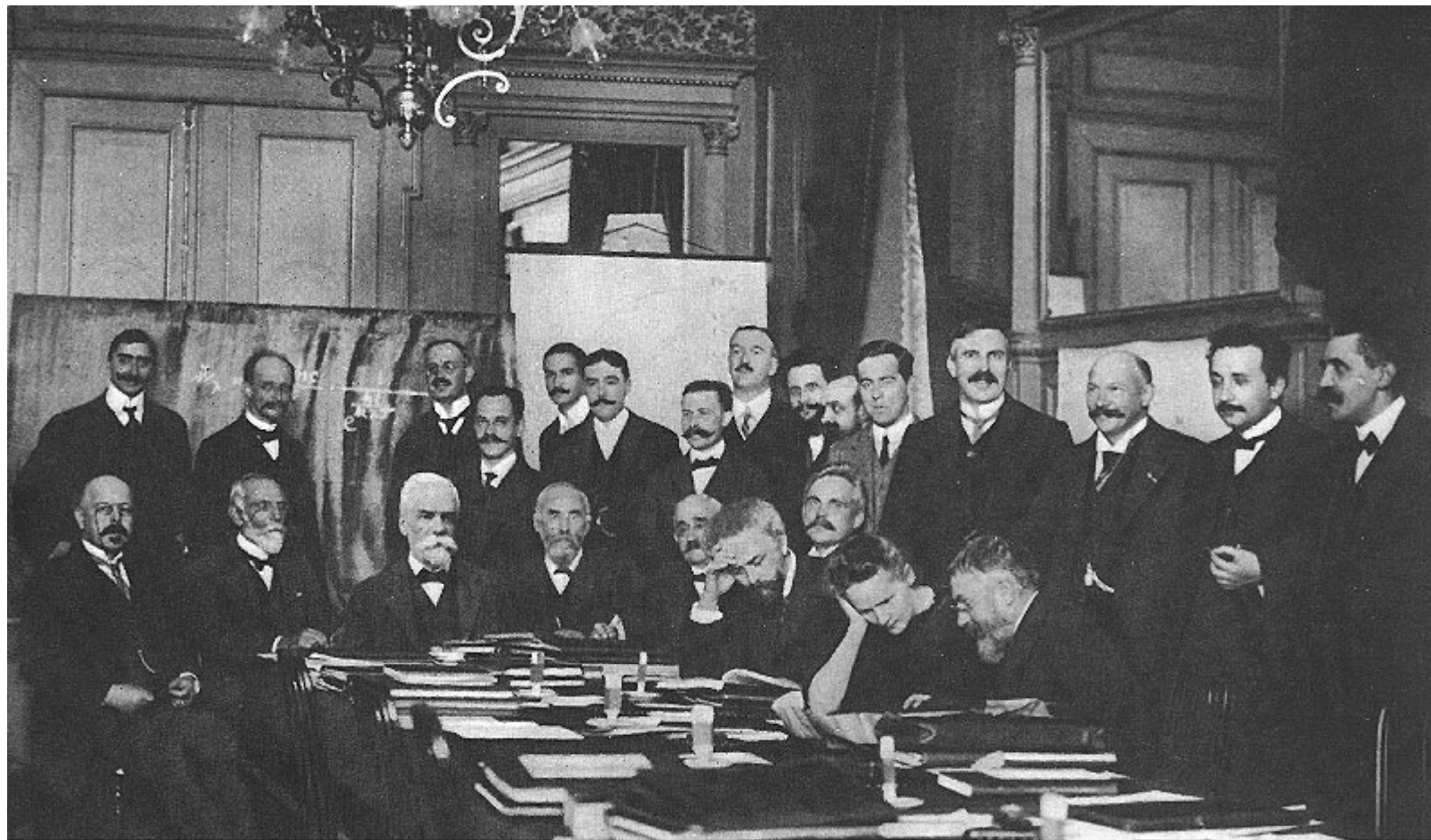
Et alors?

- Qu'arrive-t-il à la résistance électrique?

8 avril 1911



Congrès Solvay, 1911



GOLDSCHMIDT
NERNST

PLANCK
BRILLOUIN

RUBENS
SOMMERFELD
SOLVAY

LINDEMANN
M. DE BROGLIE
LORENTZ

HASENHOHL
HOSTELET
KNUDSEN
WARBURG
PERRIN

HERZEN
WIEN
Madame CURIE

JEANS
RUTHERFORD

POINCARÉ

KAMERLINGH ONNES

EINSTEIN

LANGEVIN

DE BROOKE

Et le gagnant est...

- Heike Kamerlingh Onnes
(Leiden) (1853/1926)



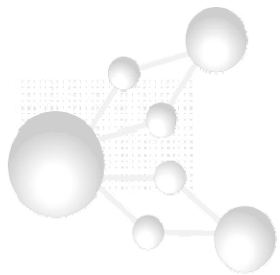
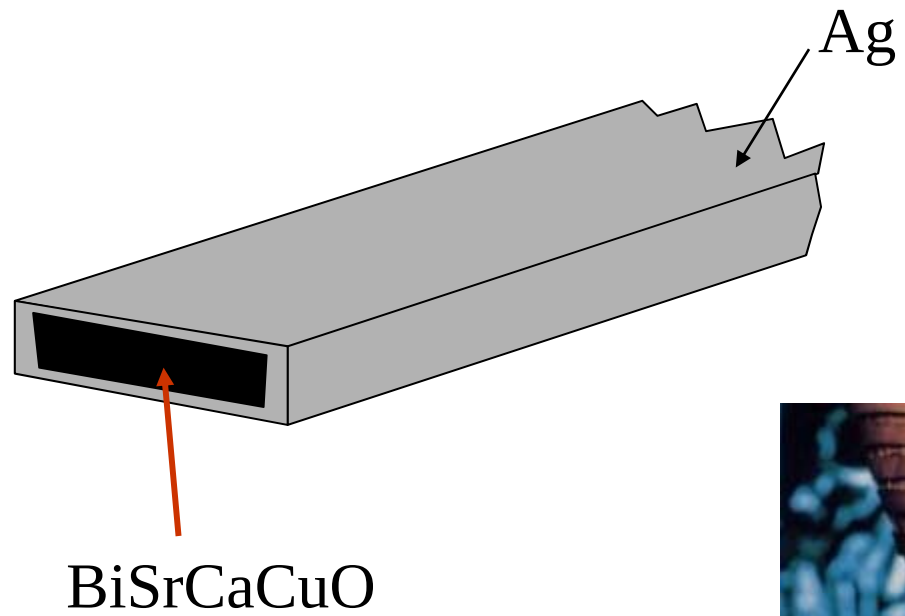
<http://www.nobel.se>

1913: Prix Nobel de physique

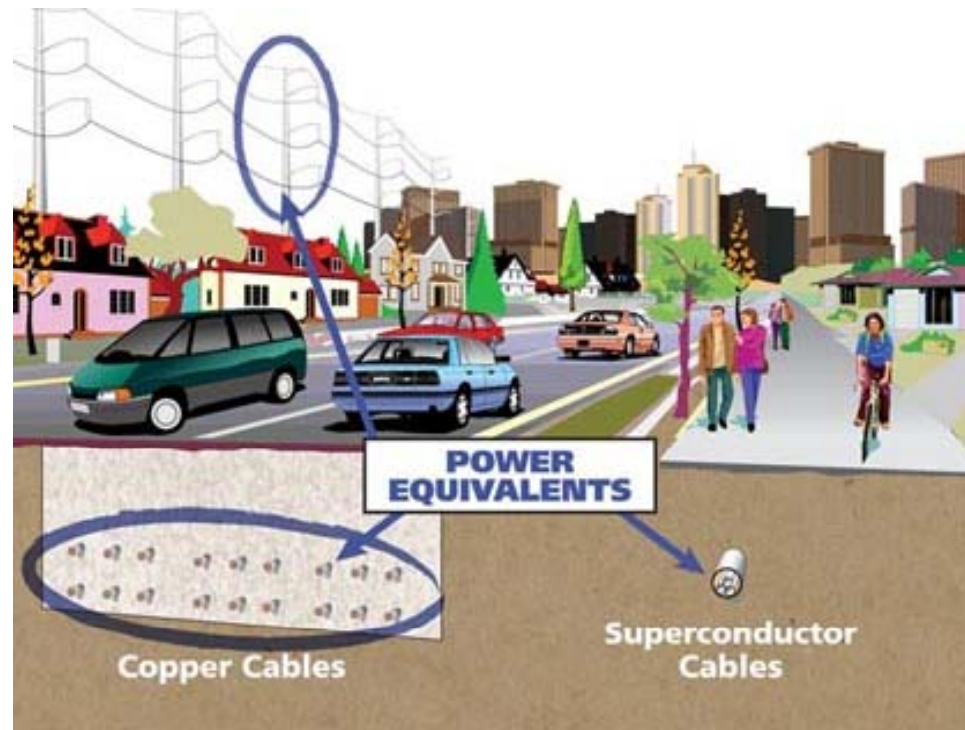
Au Professeur H. Kamerlingh Onnes de Leiden, pour ses expériences sur les propriétés de la matière à basse température qui ont conduit, concomitamment à la production de l'hélium liquide.

Transmission de l'électricité





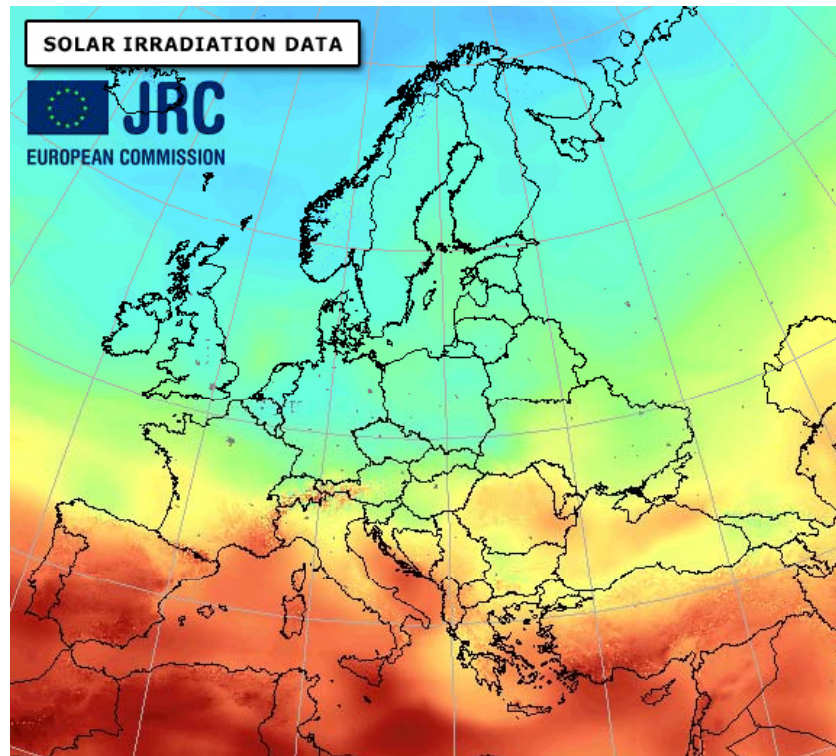
7 octobre 2010, American Superconductors



3,000 km de câbles pour la Corée du sud



Production et besoin



Tourner en rond tout en faisant quelque chose d'utile



André-Marie Ampère



1775 - 1836

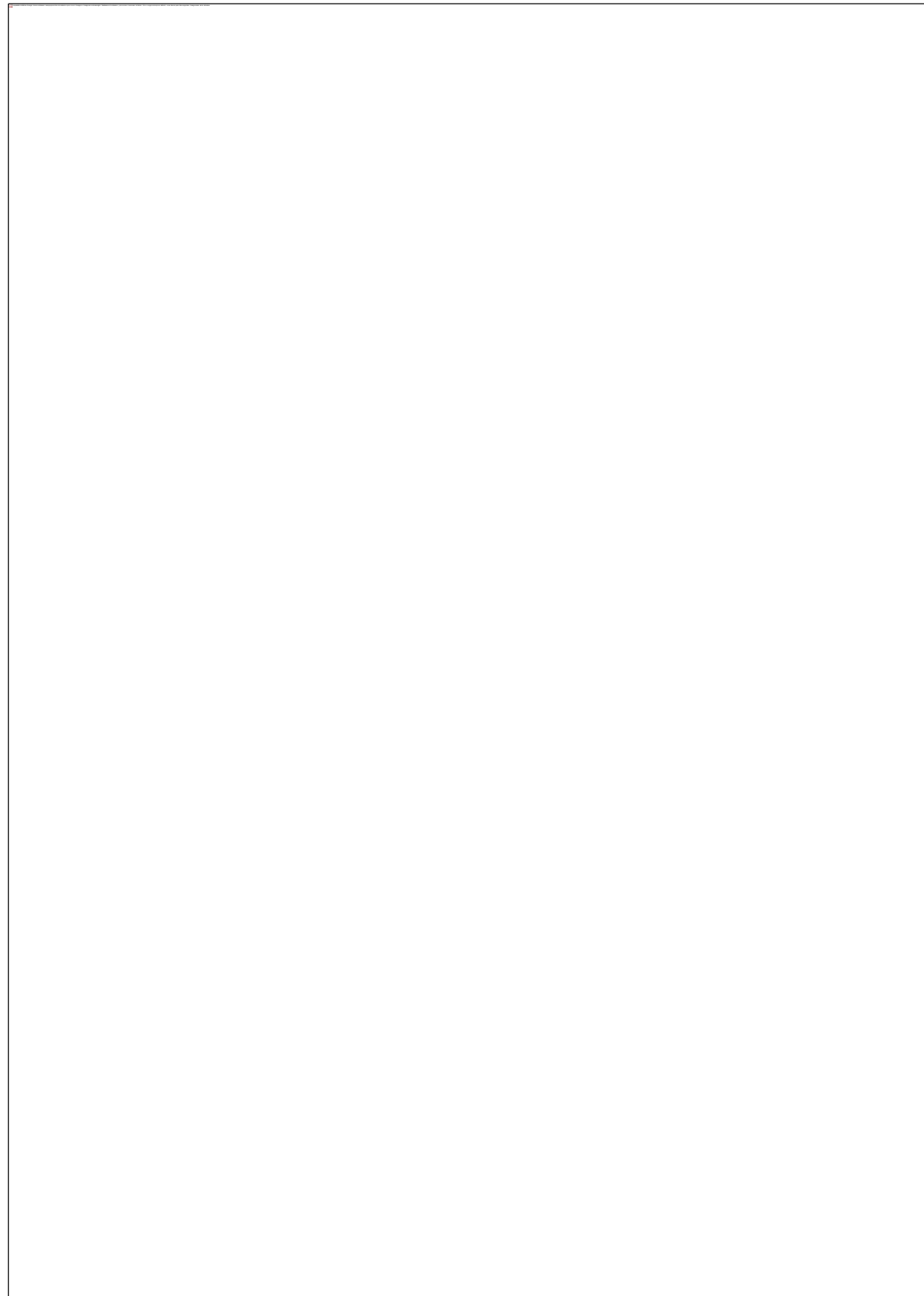


UNIVERSITÉ DE
SHERBROOKE

Le premier aimant supraconducteur

Martin
Wood, 1962





Transport des personnes



Maglev, aéroport de Shangai



350 km/h (220 mph) en 2 minutes,
Vitesse maximale 431 km/h (268 mph).
Record 12 novembre 2006, 501 km/h (311 mph).



Test, train à lévitation magnétique, Japan Rail



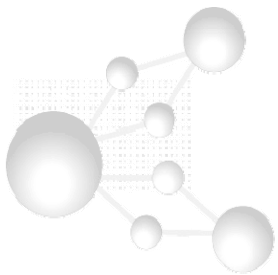
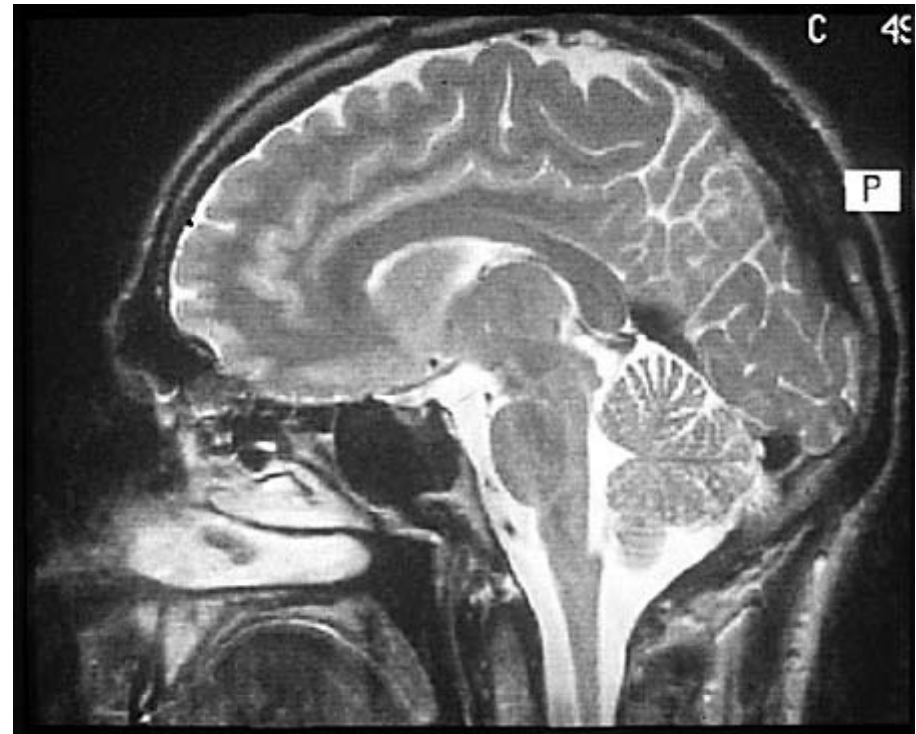
JR-MLX01 maglev train at [Yamanashi](#) test track



En médecine



Imagerie par résonance magnétique



Et là où vous l'attendez le moins



De retour à la lévitation



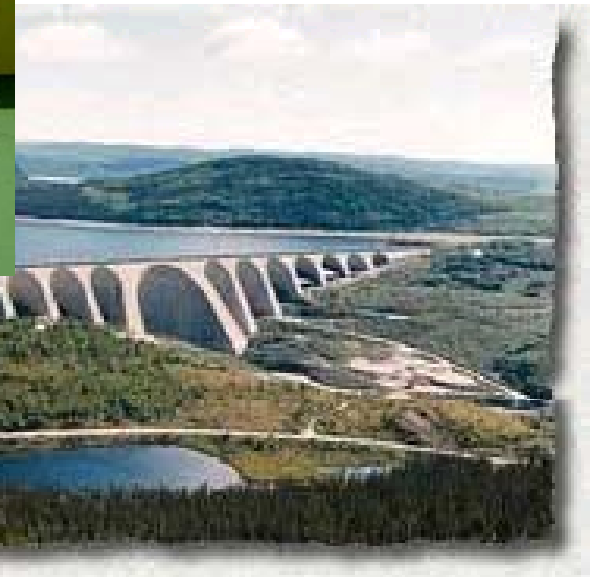
Michael Faraday



1791-1867



Induction





Walther Meissner
(1882-1974)

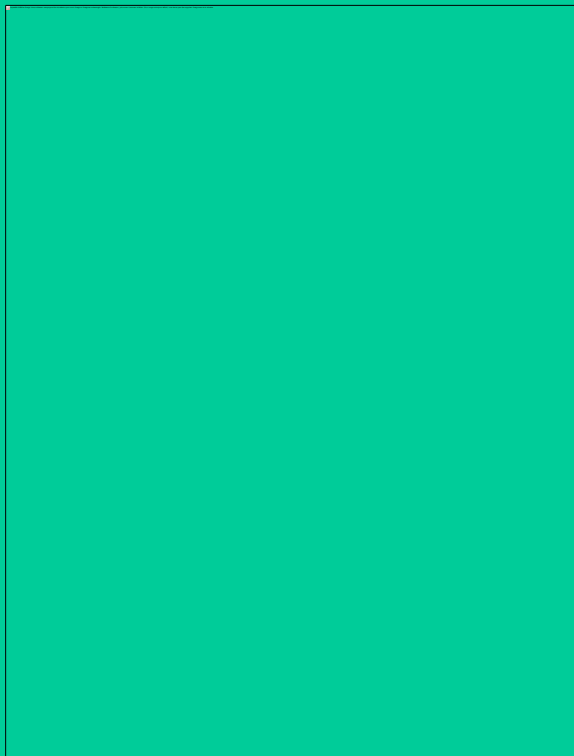


R. Ochsenfeld (1900-1992)



Deux propriétés importantes

1. Zero resistance (if $\mathbf{B}=0$)



2. Diamagnetism



Comment explique-t-on la supraconductivité?



Théorème de Bloch, 1930

- On peut prouver que toutes les théories de la supraconductivité sont fausses.
- Feynman: personne n'est assez brillant pour trouver la solution.



Quelques essais infructueux

Échec : E

Feynman

Échec : E

Heisenberg

Bohr

Échec : E

Einstein

Échec : E



Une analogie

- Symétrie brisée
- Rigidité



BCS 1957

Comportement quantique à l'échelle macroscopique

Leon Cooper



Prix Nobel : 1972

John Bardeen*

Robert Schrieffer

- John Bardeen :
- Le seul à avoir obtenu deux prix Nobel en physique!!!



Invention : TRANSISTOR!

W. Shockley, J. Bardeen, W.H. Brattain

Marie Curie:

1903 Physique with H.A. Becquerel

1911 Chimie (seule)



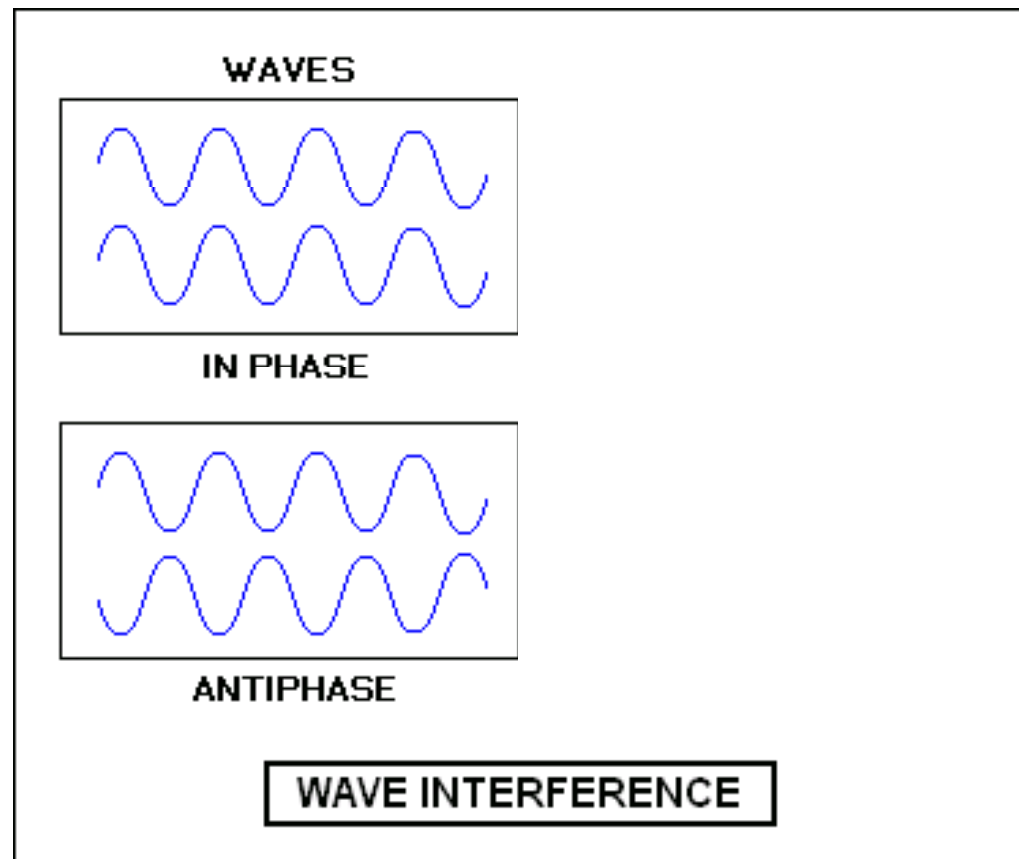
Ce qui était connu

- La résistance s'annule
- L'effet Meissner
- Transparent aux microondes basse fréquence
- Effet isotopique

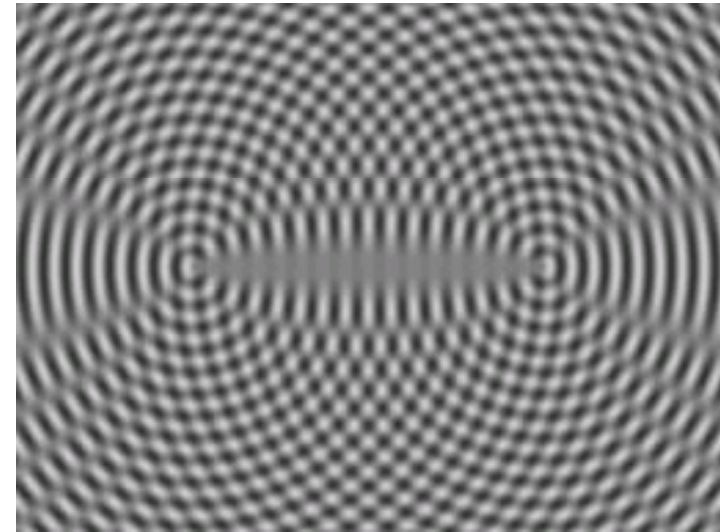
Mécanisme d'attraction dans l'état métallique



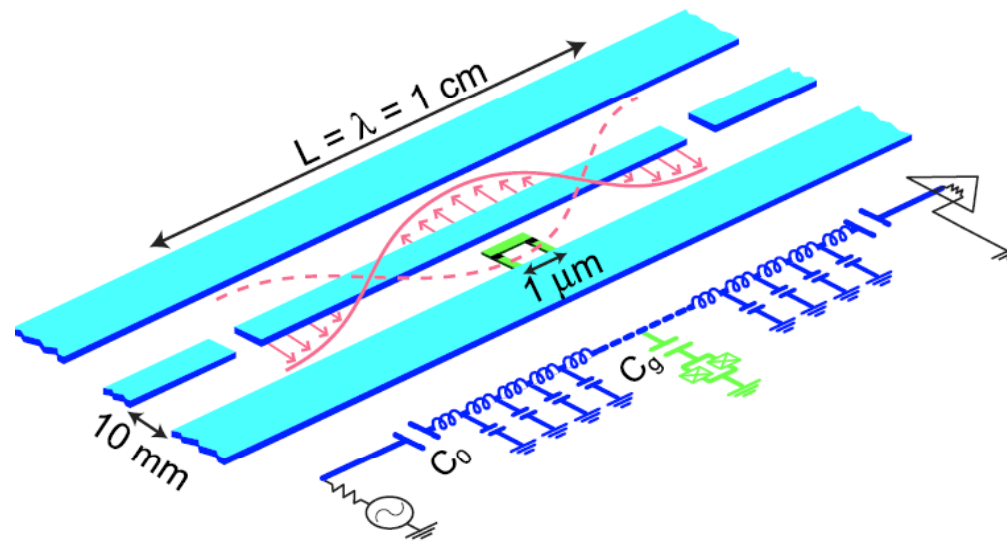
Ondes



Interférence



L'ordinateur quantique



Alexandre Blais, et al. Phys. Rev. A **69**, 062320 (2004)

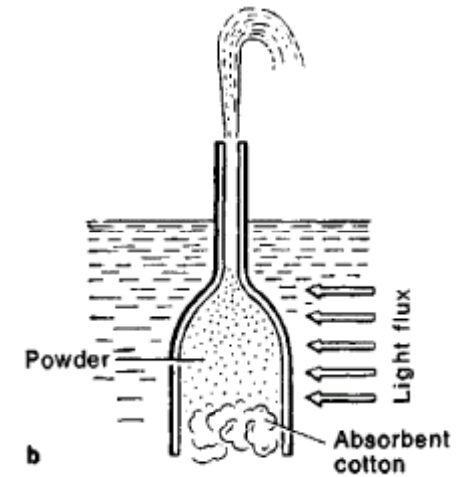
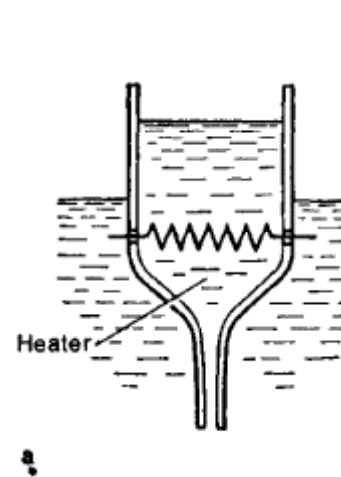
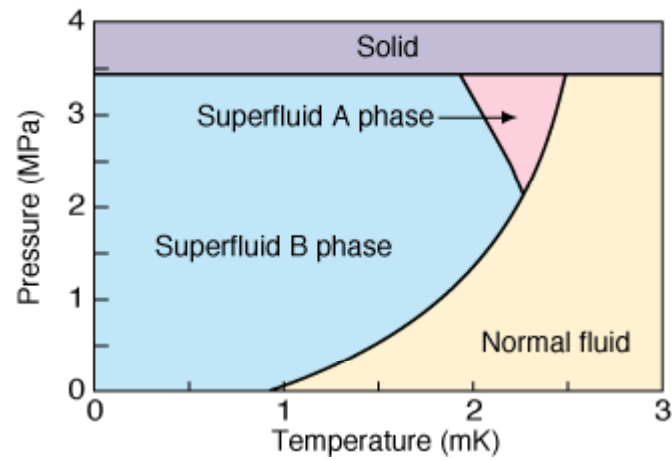


UNIVERSITÉ DE
SHERBROOKE

La supraconductivité partout



^3He superfluid



Le noyau des atomes (Rutherford 1911)

PHYSICAL REVIEW

VOLUME 110, NUMBER 4

MAY 15, 1958

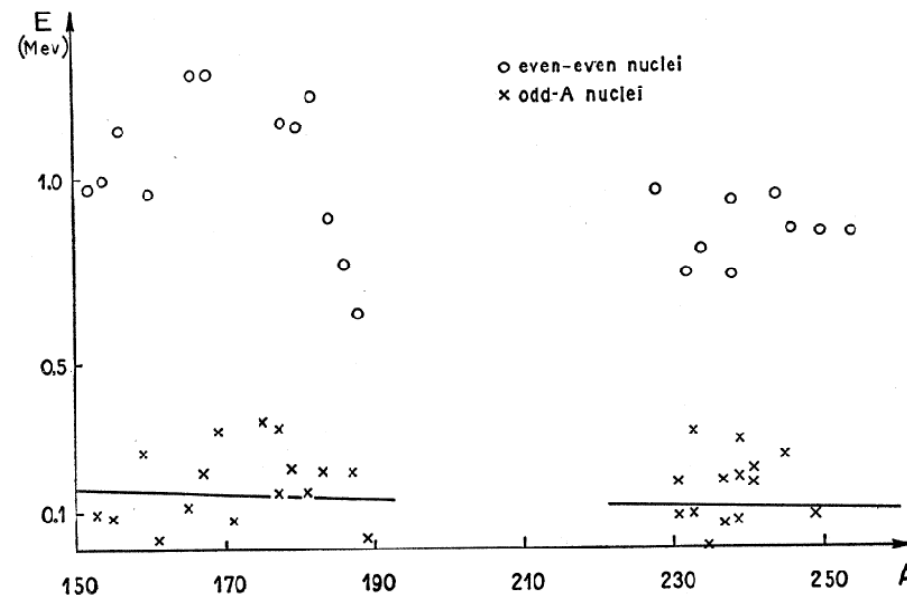
Possible Analogy between the Excitation Spectra of Nuclei and Those of the Superconducting Metallic State

A. BOHR, B. R. MOTTELSON, AND D. PINES*

Institute for Theoretical Physics, University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark, and Nordisk Institut for Teoretisk Atomfysik, Copenhagen, Denmark

(Received January 7, 1958)

The evidence for an energy gap in the intrinsic excitation spectrum of nuclei is reviewed. A possible analogy between this effect and the energy gap observed in the electronic excitation of a superconducting metal is suggested.



UNIVERSITÉ DE
SHERBROOKE

Les étoiles à neutron



La nébuleuse du crabe (4 juillet 1054) en bleu et blanc
Credit & Copyright: Jay Gallagher (U. Wisc.), WIYN,
AURA, NOAO, NSF



Les atomes ultra-froids

Vol 443 | 26 October 2006 | doi:10.1038/nature05224

nature

LETTERS

Evidence for superfluidity of ultracold fermions in an optical lattice

J. K. Chin¹, D. E. Miller¹, Y. Liu¹, C. Stan¹†, W. Setiawan¹, C. Sanner¹, K. Xu¹ & W. Ketterle¹

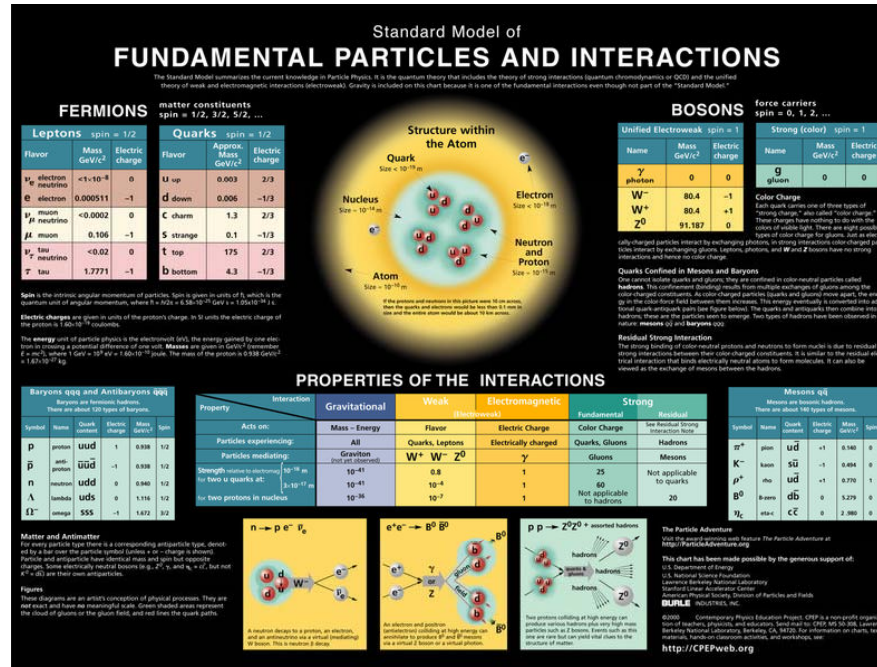


UNIVERSITÉ DE
SHERBROOKE

Le modèle standard des particules élémentaires (unification des interactions électro-faibles)

$$SU(2) \otimes U(1) \rightarrow U(1)$$

$$\begin{pmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ \nu \end{pmatrix}$$



Retour à l'histoire



Heureusement que tout n'était pas connu

- Résistance nulle (sauf s'il y a un aimant proche)
- L'effet Meissner (pas parfait)
- Parfois pas transparent aux micro-ondes
- Effet isotopique (parfois en direction opposée)



La théorie la mieux comprise

- En 1969, R.D. Parks deux volumes
« Superconductivity »
- D'un des auteurs: « *C'est le dernier clou dans le cercueil de la supraconductivité* »



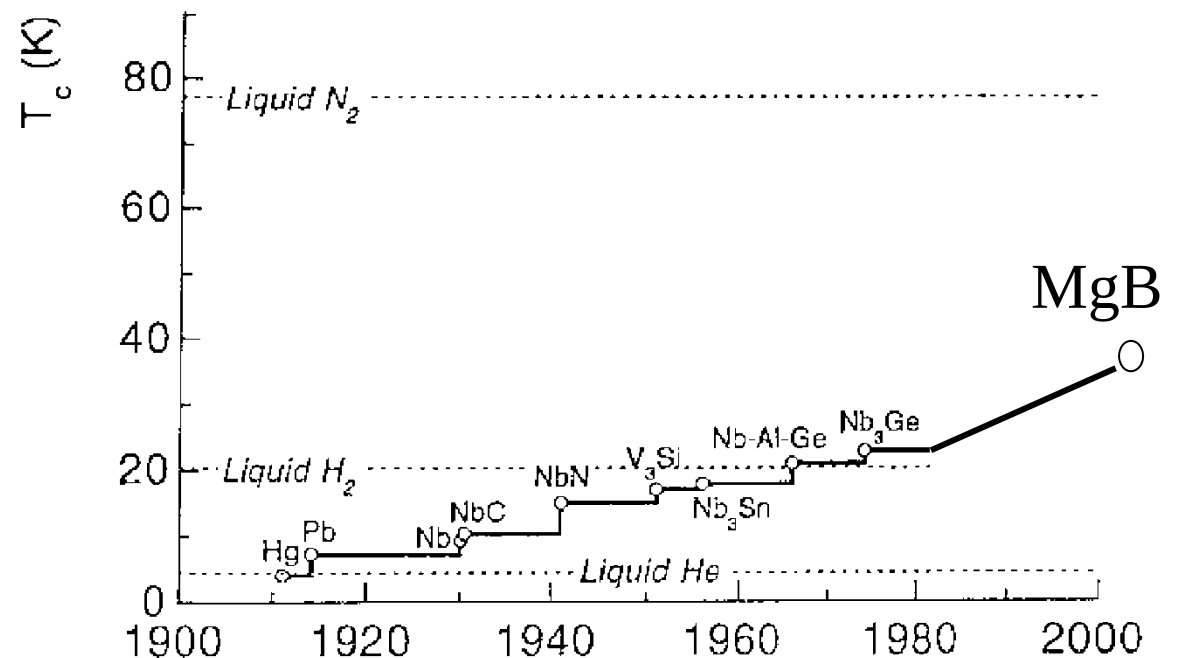
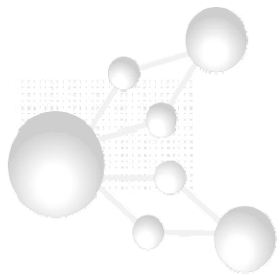
La quête de nouveaux matériaux

Le but: la température de l'azote
liquide!



Les principes de Matthias (1952)

- Métaux de transition (pas Cu,Au,Fe)
- Cubique
- Ne pas s'approcher de
 - O
 - Aimants
 - Isolants



Janvier 1986

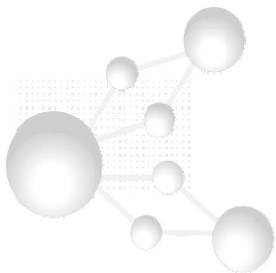


OSNI

1986 : Bednorz et Muëller, IBM
Zurich

La-Ba-Cu-O $T_c \sim 30-40K$

Effet Meissner ?



UNIVERSITÉ DE
SHERBROOKE

Ça va vite...

- Boston, "Materials Research Society"
Décembre 1986
 - Koitchi Kitazawa et Shoji Tanaka Tokyo convainquent tout le monde.
- 16 février 1987, Houston:
 - Conférence de presse par **Paul Chu** pour annoncer la découverte de *Y-Ba-Cu-O*
 - $T_c = 93\text{ K}$ (vs 77 K)



March meeting APS, 1987

- Titre du New York Times le lendemain:
"The Woodstock of Physics"

- 3000 personnes jusqu'à 3 heures du matin

"They began lining up outside the New York Hilton Sutton Ballroom at 5:30PM for an evening session that would last until 3:00 AM"

Laura Greene





UNIVERSITÉ DE
SHERBROOKE





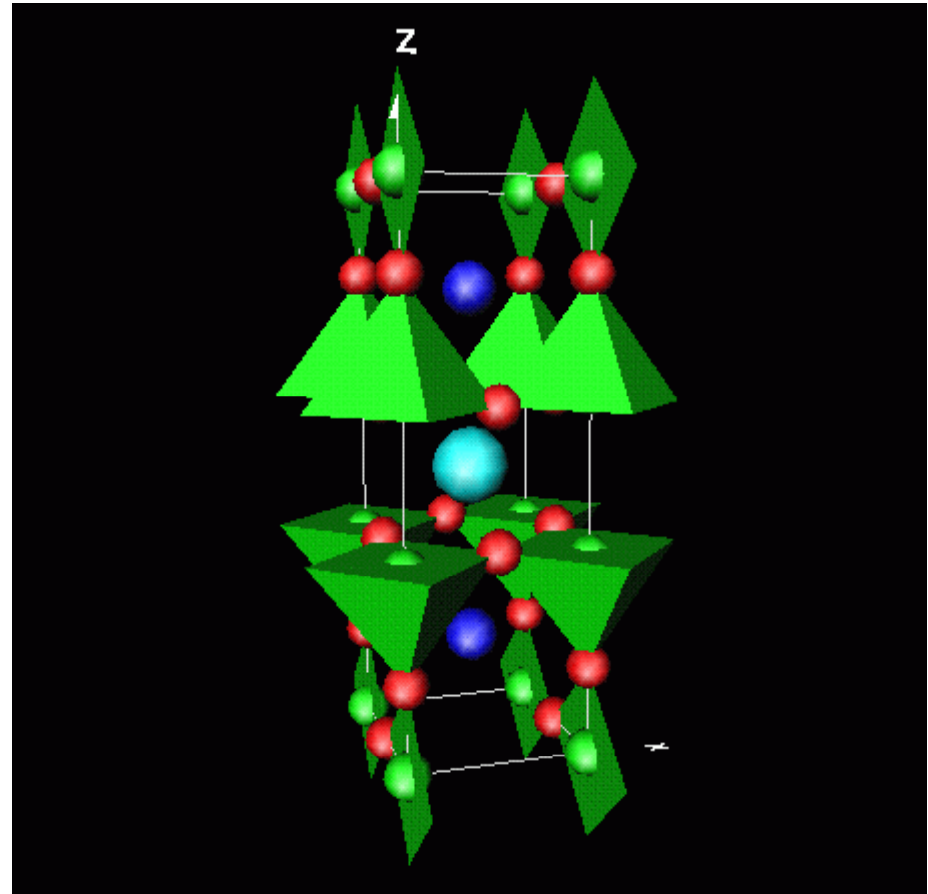
Scanned at the American
Institute of Physics



Ce qu'il y a de particulier avec ces
supraconducteurs

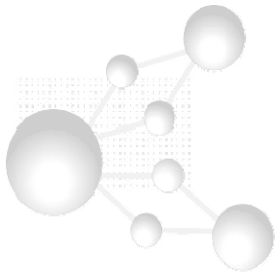


Structure atomique

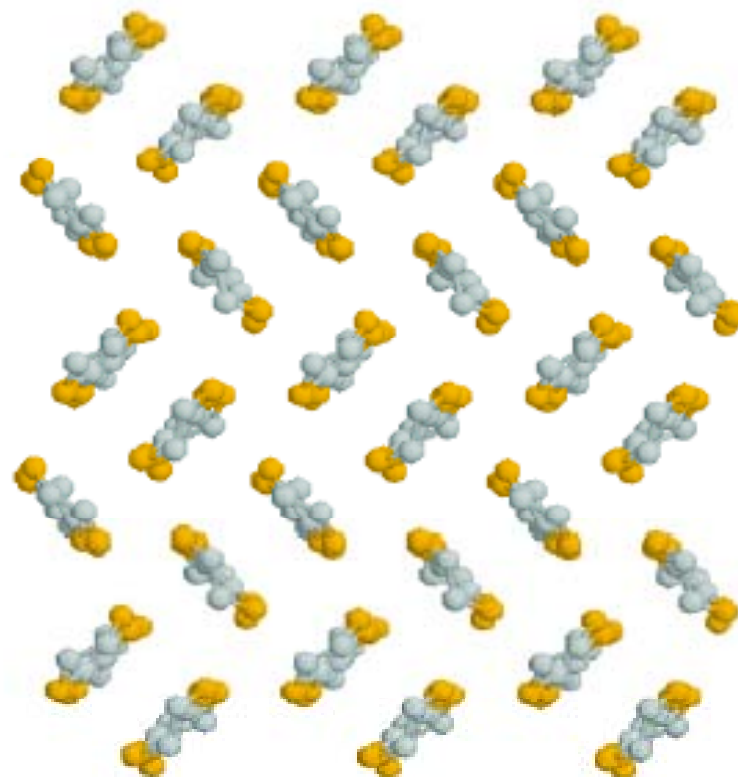
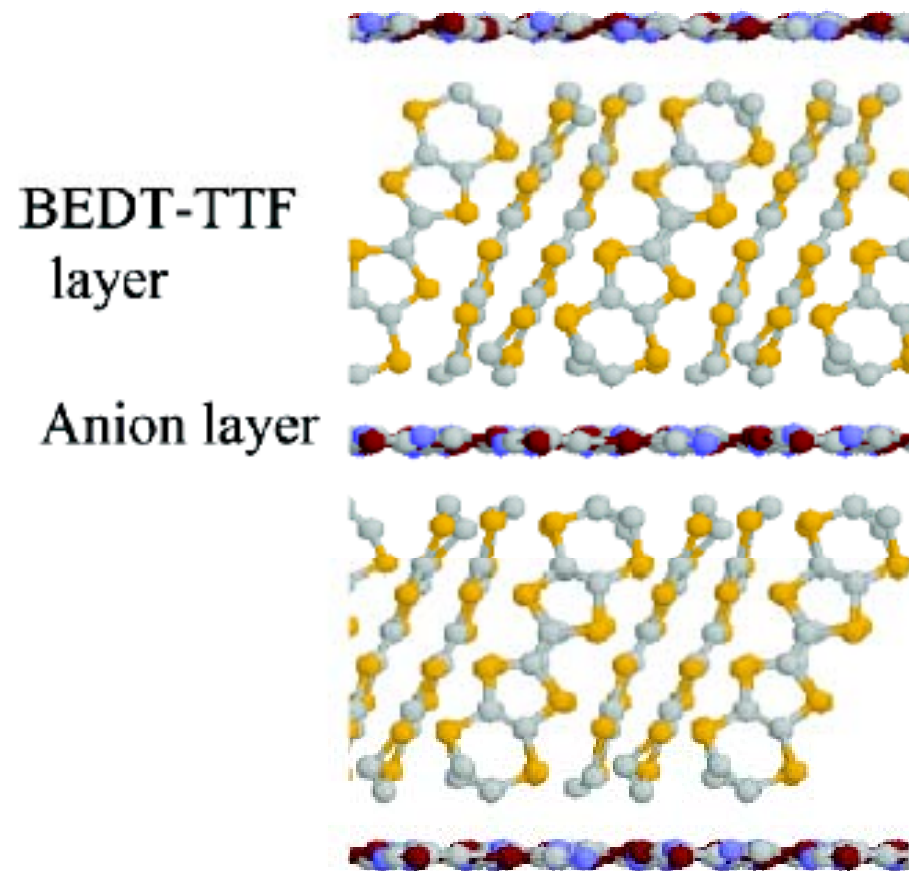


Ce qu'il y a de particulier

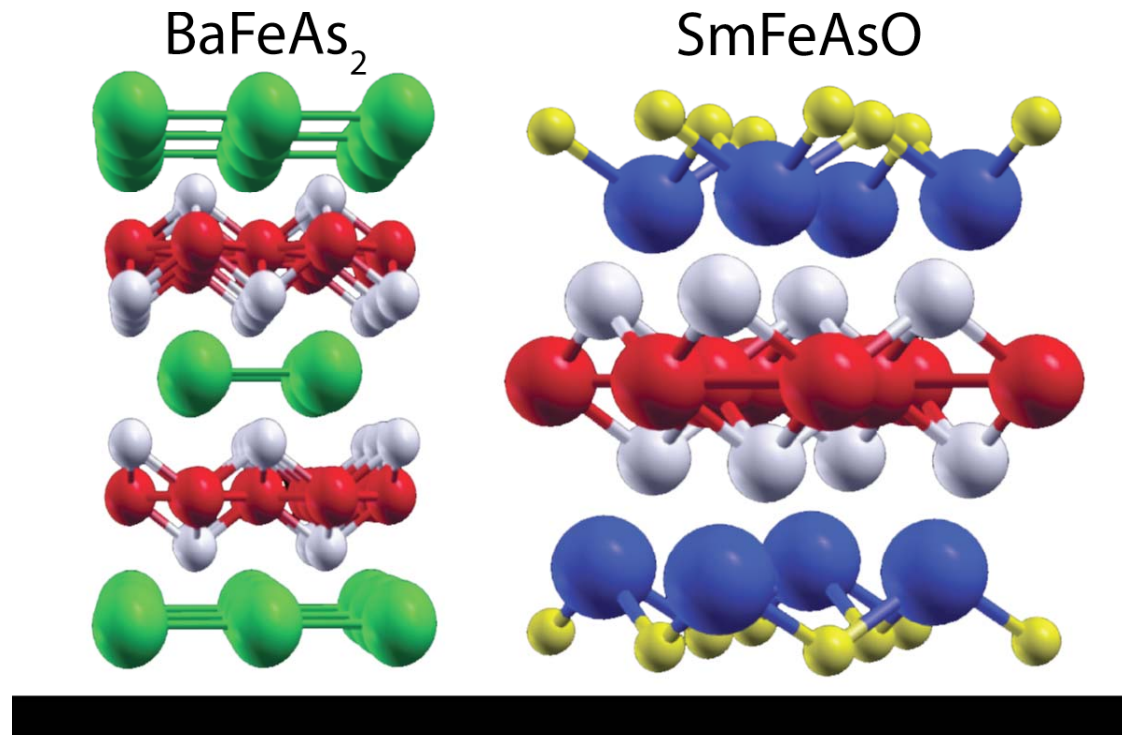
- Métaux de transition
- Cubique
- S'éloigner de
 - O
 - Aimants
 - Isolants
- Cu
- En couche
- Près de
 - O
 - Aimants
 - Isolants



Conducteurs organiques en couches (κ -BEDT-X)



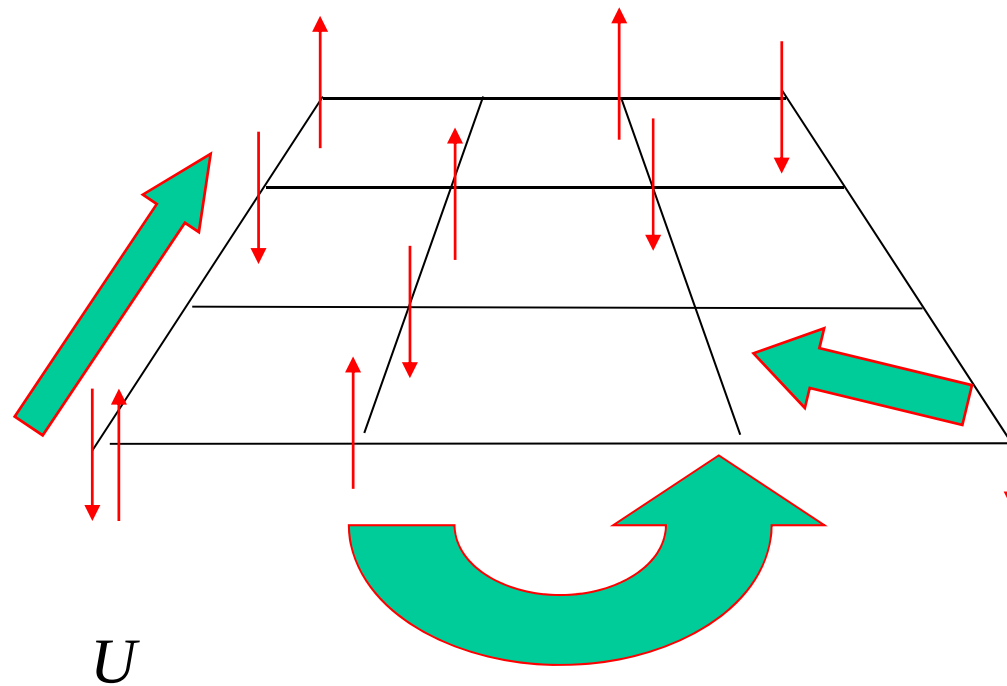
Pnictures (2008)



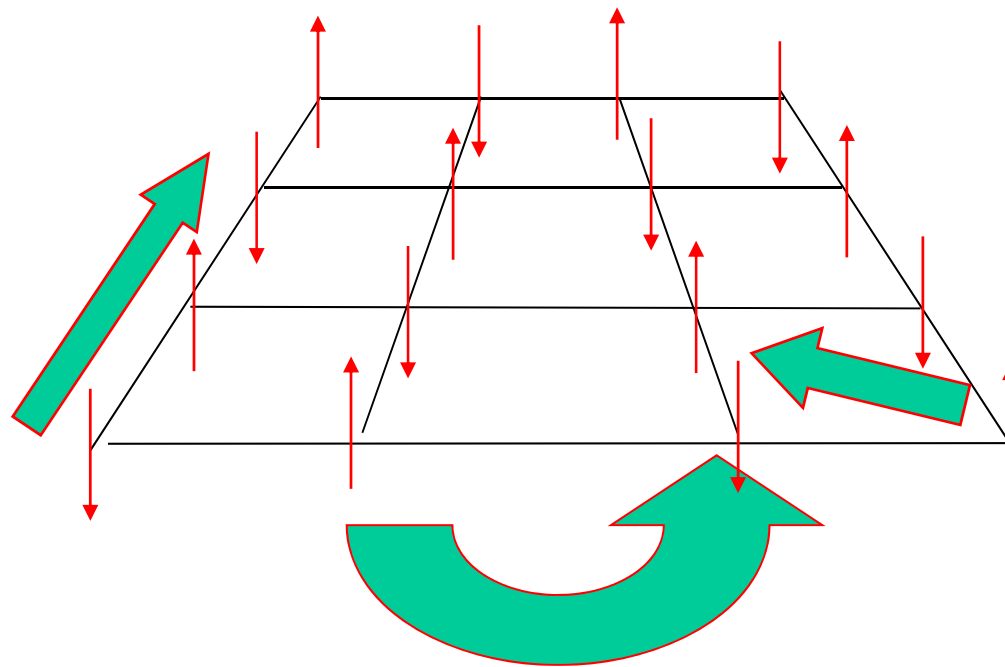
http://www.stanford.edu/~tpd/research_hightc.html



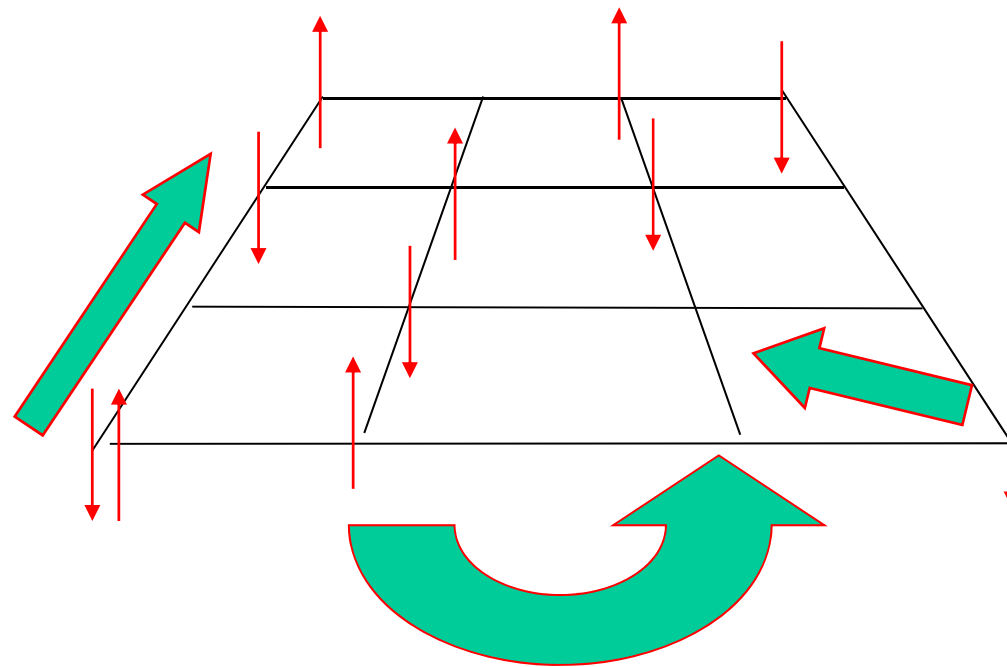
Pourquoi est-ce si difficile à comprendre?



Isolant

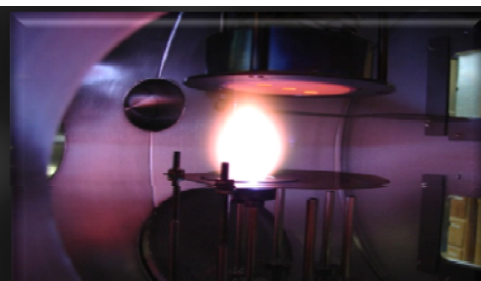
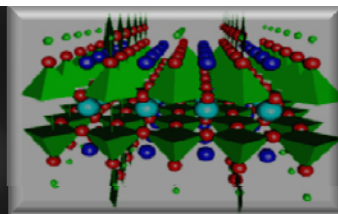


Pourquoi est-ce si difficile à comprendre?



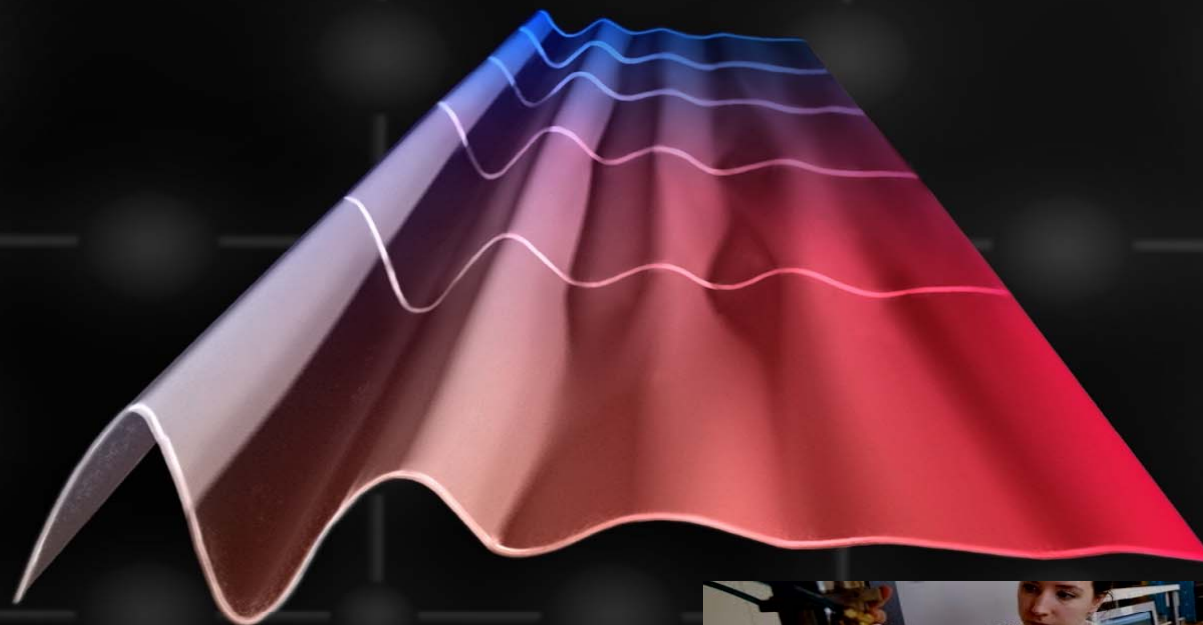


Scanned at the American
Institute of Physics

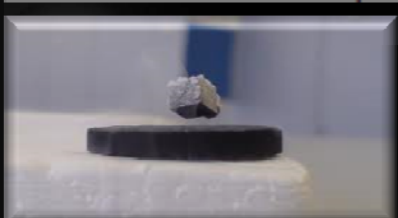


$$H(t) = - \sum_{ij\sigma} t_{ij} c_{i\sigma}^\dagger c_{j\sigma} e^{-i \int_i^j d\mathbf{r}_{ij} \cdot \mathbf{A}(\mathbf{r}, t)} + U \sum_i n_{i\uparrow} n_{i\downarrow}$$

$$\Delta_{\mathbf{p}} = \frac{1}{V} \sum_{\mathbf{p}'} U(\mathbf{p} - \mathbf{p}') \langle c_{-\mathbf{p}'\downarrow} c_{\mathbf{p}'\uparrow} \rangle$$



$$|BCS(\theta)\rangle = \dots + e^{iN\theta} |N\rangle + e^{i(N+2)\theta} |N+2\rangle + \dots$$



RQMP

RQMP

Le regroupement québécois sur les matériaux de pointe



UNIVERSITÉ DE
SHERBROOKE

Supraconductivité au RQMP



Claude Bourbonnais



Dominic Ryan



Patrick Fournier



Mario Poirier



Michel Côté



Andrea Bianci



Serge Jandl



M. Hilke



David Sénéchal



Louis Taillefer



André-Marie Tremblay



Conclusion



Le rêve



room-temperature superconductors

They would transform the grid—if they can exist at all *By Michael Moyer*

You can build a coal-fired power plant just about anywhere. Renewables, on the other hand, are finicky. The strongest winds blow across the high plains. The sun shines brightest on the desert. Transporting that energy into cities hundreds of kilometers away will be one of the great challenges of the switch to renewable energy. The most advanced superconducting cable can move those megawatts thousands of kilometers with losses of only a few percent. Yet there is a catch: the cable must be kept in a bath of liquid nitrogen at 77 kelvins (or -196 degrees Celsius). This kind of deployment, in turn, requires pumps

and refrigeration units every kilometer or so, greatly increasing the cost and complexity of superconducting cable projects.

Superconductors that work at ordinary temperatures and pressures would enable a truly global energy supply. The Saharan sun could power western Europe via superconducting cables strung across the floor of the Mediterranean Sea. Yet the trick to making a room-temperature superconductor is just as much of a mystery today as it was in 1986, when researchers constructed the first superconducting materials that worked at the relatively high temperatures of liquid nitrogen (previ-

ous substances needed to be chilled down to 23 kelvins or less).

Two years ago the discovery of an entirely new class of superconductor—one based on iron—raised hopes that theorists might be able to divine the mechanism at work in high-temperature superconductors (see "An Iron Key to High-Temperature Superconductivity?" by Graham P. Collins; SCIENTIFIC AMERICAN, August 2009). With such insights in hand, perhaps a path toward room-temperature superconductors would come into view. But progress has remained slow. The winds of change don't always blow on cue.

www.ScientificAmerican.com

SCIENTIFIC AMERICAN 43

<http://www.physique.usherbrooke.ca/taillefer/Vulgarisation.html>



UNIVERSITÉ DE
SHERBROOKE

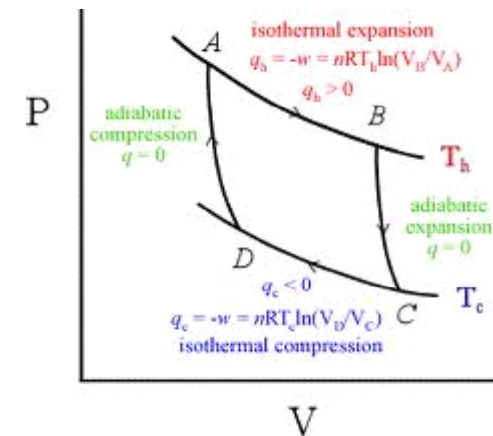
Science et technologie, main dans la main



Machine à vapeur et thermodynamique



Watts 1765



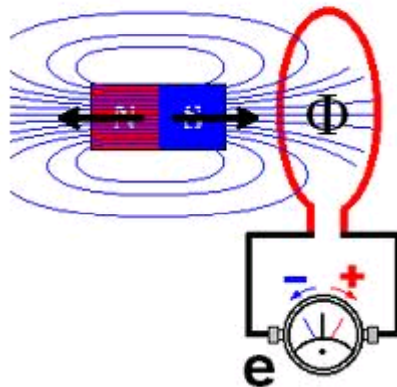
Carnot 1824



Induction et le moteur électrique



Induction, Faraday (1831)



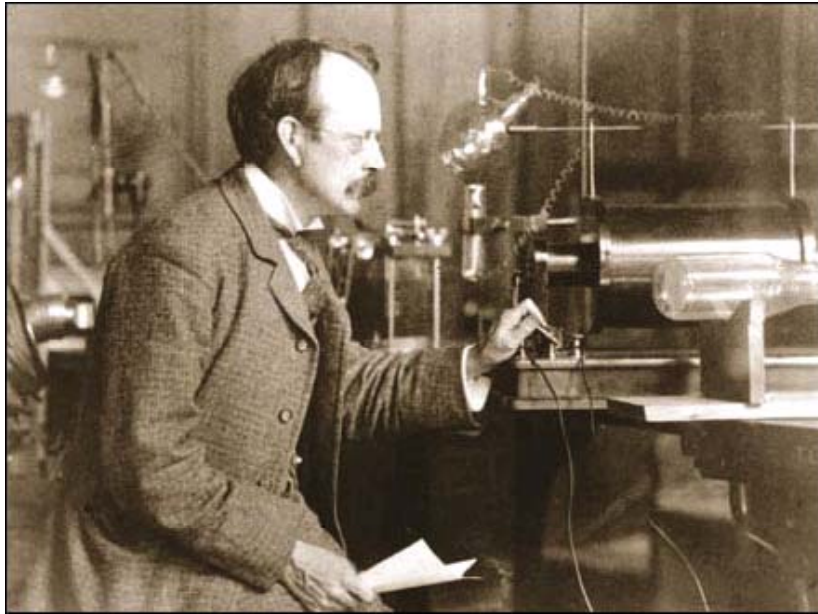
Moteur électrique, Tesla(1880)



Induction



Électron and television



Thomson, 1897



Télévision, 1940



Mécanique quantique et le transistor



Prof. Dr. Erwin Schrödinger
erhielt den diesjährigen Nobelpreis für Physik. Prof. Schrödinger lehrte bis vor kurzem in Berlin, folgte aber dann einem Ruf nach Oxford. — Er hat das Bohrsche Atommodell umgestaltet zu einem „Schwingungs“-Modell.
Foto: Robertus, Berlin

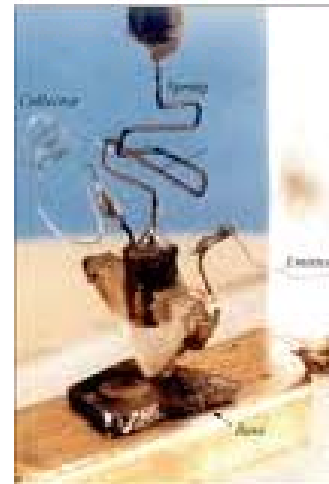
Schrödinger



Heisenberg

Mécanique quantique 1926

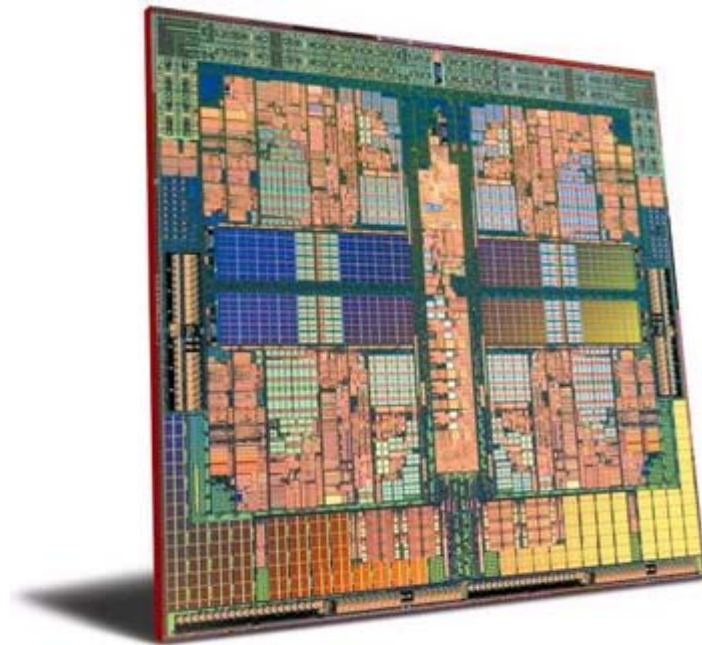
The first point contact transistor
William Shockley, John Bardeen, and Walter Brattain
Bell Laboratories, Murray Hill, New Jersey (1947)



Transistor 1947



Mécanique quantique et le transistor



Laser et CD-ROM



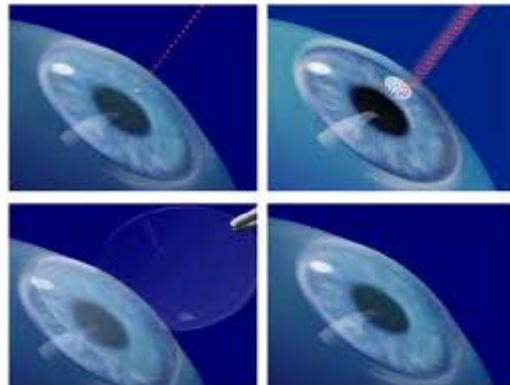
Stimulated emission 1925



Laser 1960



CD-ROM (1980-90)



Chirurgie oculaire



Edward Bellamy (USA) 1887

- Roman: « Looking backward » 2000-1887
- Si nous pouvions inventer un dispositif pour offrir à tous de la musique dans leur maison, qui serait de qualité parfaite, de quantité illimitée, pour toutes les humeurs et qui commencerait et s'arrêterait lorsqu'on voudrait, alors nous aurions atteint la limite du bonheur pour l'humanité et nous pourrions cesser de chercher des améliorations.





Merci



<http://sweetladiesbakery.com/gallery/female-cakes/>