

Recherche Fondamentale
Parcours
MATIERE QUANTIQUE

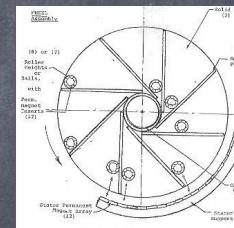
thierry.klein@neel.cnrs.fr

Institut Néel CNRS - 04 76 88 90 64

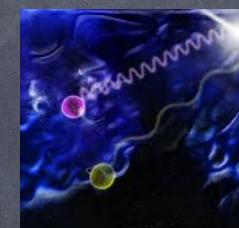
Un petit quizz pour commencer...

VRAI FAUX

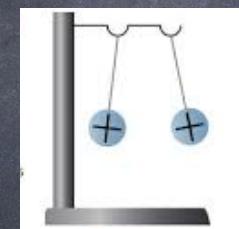
le mouvement perpétuel n'existe pas
(il y a toujours des frottements)



Les photons n'ont pas de masse
(champ électromagnétique)



Les électrons (charges identiques) se repoussent

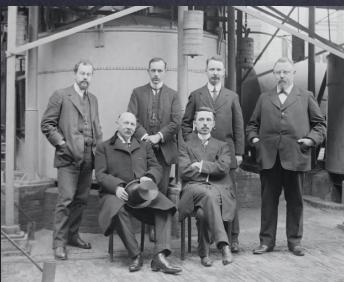
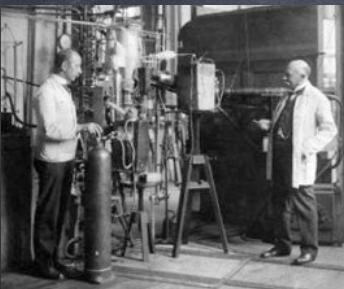
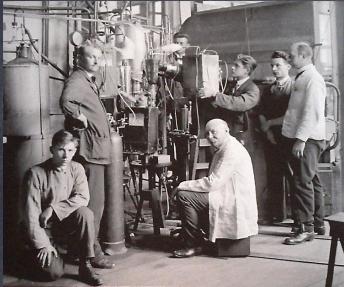


La mécanique quantique ne s'applique pas aux objets macroscopiques (décohérence)

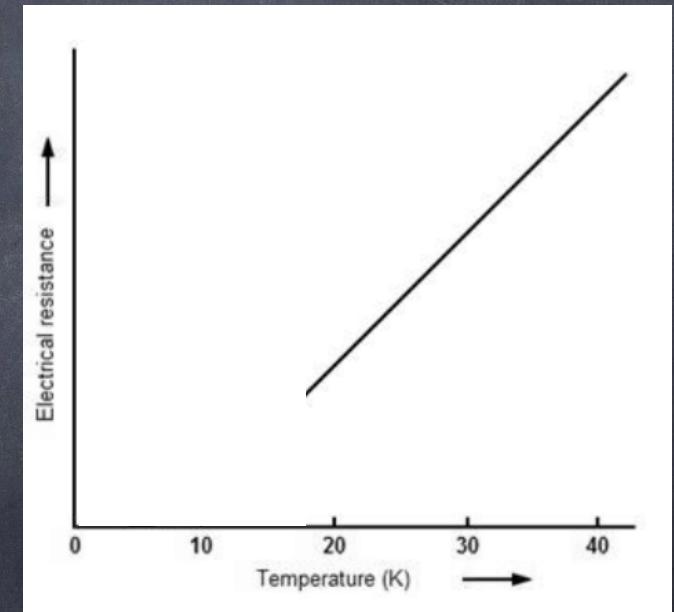


toutes ces affirmations sont fausses dans les supraconducteurs

dont l'histoire commence avec la liquéfaction de l'hélium à Leiden en **1908** par le groupe de **Heike Kamerlingh-Onnes** (1853-1926, Prix Nobel 1913) assisté de Cornelis Dorsman (cryogénie) et son étudiant Gilles Holst* (mesure)



Au début du 20e siècle la mécanique quantique est balbutiante et une question majeure divise la communauté : **que devient la résistance électrique lorsque T tend vers 0**

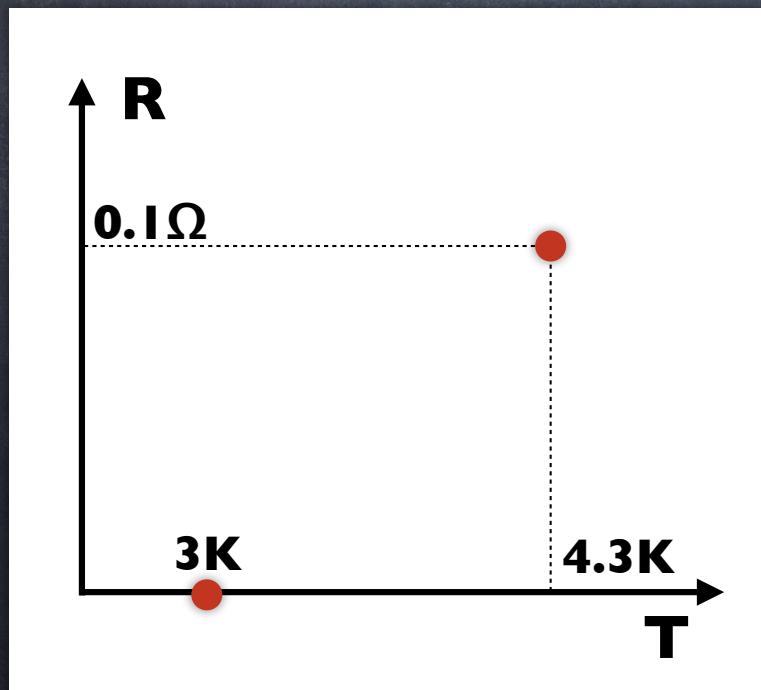


* « oublié » du prix Nobel mais fondateur des laboratoires de recherche de Philips

Le **10 Décembre 1910**, le groupe montre que la résistance électrique de **Pt-B saturé** à basse température (option I)

Pour étudier le rôle du désordre (tester l'option III) il décide alors de mesurer un **métal plus pur : le mercure**

Mais avant cela il doit **tester un nouveau dispositif cryogénique**, et une nouvelle expérience est lancée le **8 Avril 1911** l'échantillon de mercure est néanmoins monté « au cas ou »....



une première mesure de R est effectuée à $4.3K$

l'équipe poursuit ces tests et effectue une seconde mesure à $3K$ pour laquelle Kammerlingh-Onnes note alors sobrement dans son cahier de manip *pratiquement nulle*

il venait de faire la première mesure de la **supraconductivité**
sans en mesurer réellement l'importance,
et l'équipe poursuit donc ces tests cryogéniques....

quelques heures plus tard, ils notent
que l'ébullition du bain d'hélium
cesse soudainement vers 2K

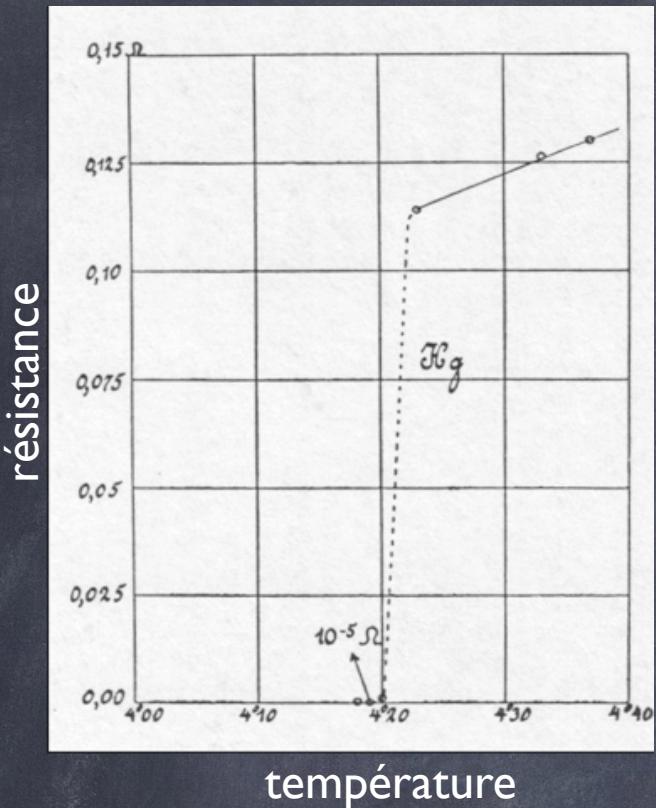
ils venaient d'observer la
transition superfluide de l'hélium

**Le même jour, ils firent donc non pas une mais
deux découvertes fondamentales !**

..... un peu par hasard



<https://www.youtube.com/watch?v=IRJKnblvbMg>



Une nouvelle mesure plus précise est effectuée
le 26 Octobre 1911 et montre que

R chute brutalement à 4.2K

vers une valeur ~ 10000 x plus faible qu'à 4.3K

Mais Kamerlingh-Onnes reste convaincu
que la résistance est non nulle...

Mais aujourd'hui on a pu montrer que

$\rho < 10^{-22} \Omega\text{cm}$ (cuivre $\sim 10^{-9} \Omega\text{cm}$)

et (même si c'est impossible à prouver expérimentalement)

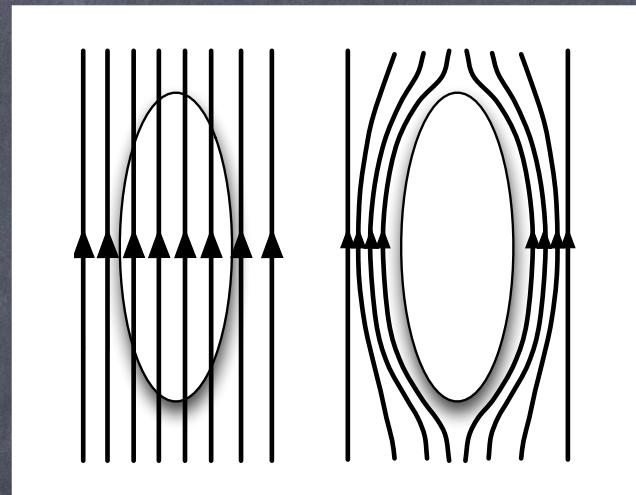
R=0

**Le courant supraconducteur peut circuler indéfiniment,
sans aucune perte, le mouvement est (probablement) perpétuel**

et en 1933 Walther Meissner (1882-1974) et Robert Ochsenfeld (1901-1933) mettent en évidence **l'expulsion** totale du champ magnétique

$$\vec{B} = \vec{0}$$

Il faut alors « modifier » les équations de Maxwell pour tenir compte de cette propriété

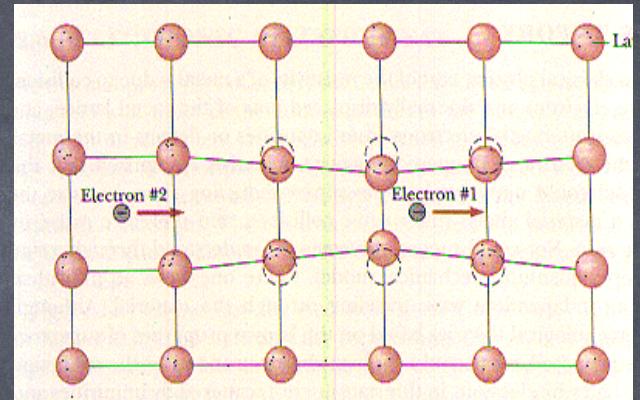


... et tout comme* la brisure de la symétrie électro-faible confère une masse aux bosons W and Z, médiateur de l'interaction faible

la brisure de la symétrie associée à la supraconductivité confère une **MASSE aux photons !**

* le boson de Higgs est une « extension » relativiste du concept d'Anderson dans les supraconducteurs

Et enfin en **1957** : John Bardeen (1908-1991),
Leon Cooper (1930-), Robert Schrieffer (1931-)
établissent une théorie microscopique
montrant qu'un **condensat de paires** se
forme du fait de l'interaction **attractive**
entre électrons* (prix Nobel 1972)



L'histoire semblait close dans les années 70, le phénomène était parfaitement caractérisé et compris (théorie BCS), des centaines d'alliages métalliques avaient été découverts mais leur T_c restait inférieure à $\sim 20K$ sans espoir de monter significativement cette valeur (pour des raisons très *valables*).

Il était temps de passer à autre chose... (De Gennes)

* par le biais des vibrations atomiques (**phonons**)

mais la supraconductivité 2.0 débuta en **1986** avec la découverte (totalement inattendue) des supraconducteurs

à haute température critique

Johannes Bednorz (1950-) et Karl Muller (1928-) (prix Nobel 1987)

T_c = 138K* dans Hg_{0.8}Tl_{0.2}Ba₂Ca₂Cu₃O_{8.3}

Ces matériaux n'obéissent **pas** à la théorie BCS
et on ne connaît toujours pas le mécanisme...

(mais on a fait pas mal d'avancées significatives ces dernières années
grâce à l'avancée des concepts et des développements instrumentaux)

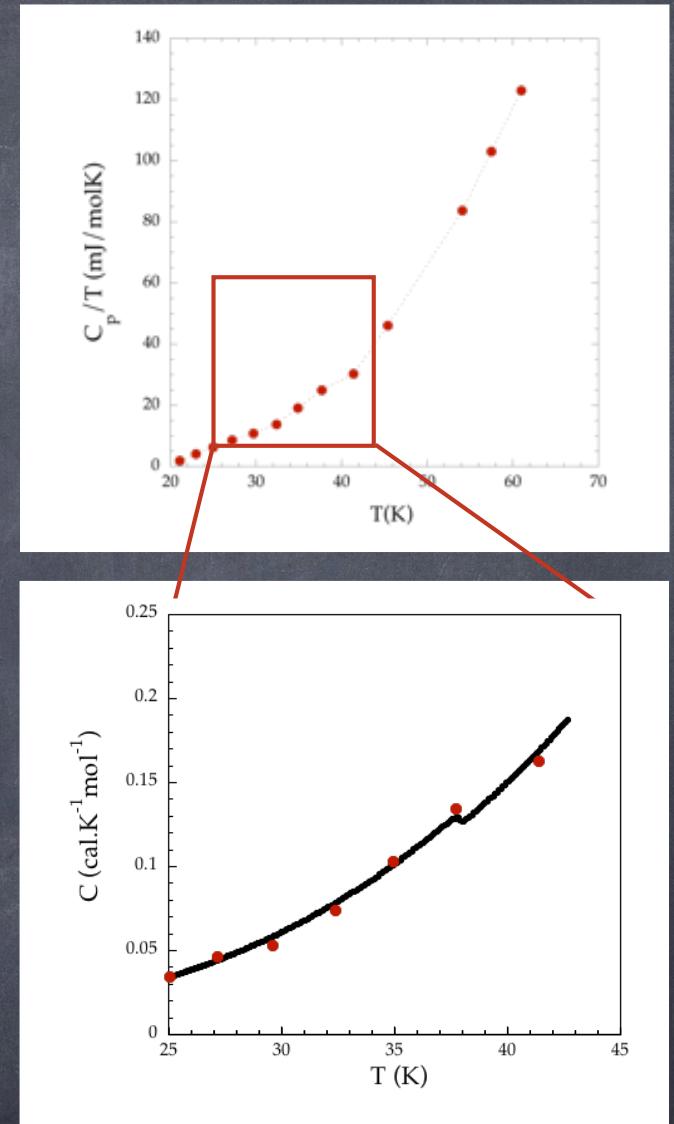
* en 2017 on a montré que H₃S à une T_c > 200K @ 150GPa et cela pour un supraconducteur « classique » (=BCS)

et en **1957** R.M. Swift and D.White
[J.Am. Chem. Soc.]
avaient publié une liste (pas de courbe) de la
chaleur spécifique de **MgB₂**

qui présentait un point « aberrant »
mais qui était passé totalement inaperçu...

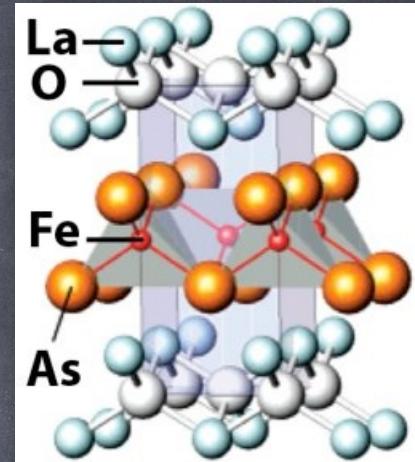
... mais devient en **2001** la découverte
d'une supraconductivité à **T_c ~ 40K**
dans un système covalent, dit multigap

ce qui a conduit à la découverte de la supraconductivité du **diamant** (dopé au
Bore) en 2004, qui pourrait même avoir une T_c > 50K-60K (pour 30% de dopage)



et en 2008, on a montré que magnétisme et supraconductivité pouvaient co-exister dans les pnictides

des **dizaines** de nouveaux composés ont vu le jour en quelques mois ! présentant des T_c étonnamment **hautes** : $\text{Gd(O,F)FeAs} \sim 54\text{K}$



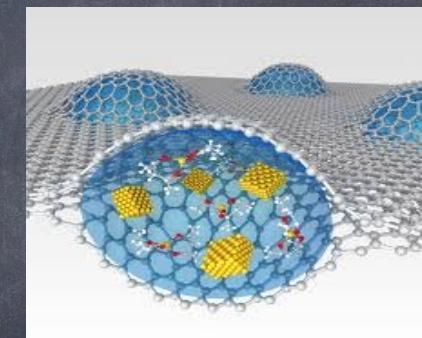
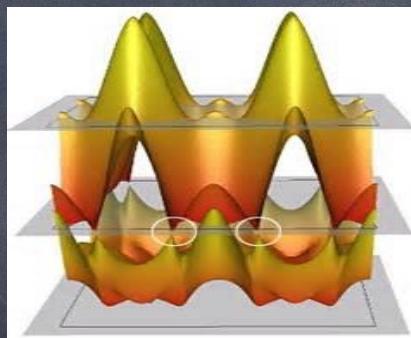
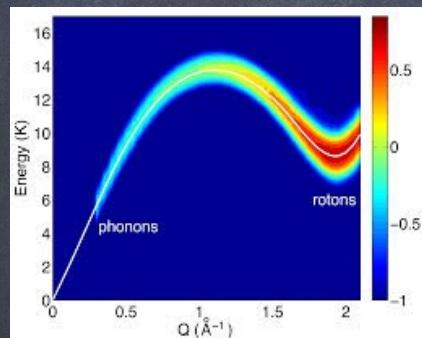
Alcoholic beverages induce superconductivity in $\text{FeTe}_{1-x}\text{S}_x$

K Deguchi^{1,2,3}, Y Mizuguchi^{2,3}, Y Kawasaki^{1,2,3}, T Ozaki^{1,3}, S Tsuda^{1,3}, T Yamaguchi^{1,3} and Y Takano^{1,2,3}

We found that hot alcoholic beverages were effective in inducing superconductivity in $\text{FeTe}_{0.8}\text{S}_{0.2}$. Heating the $\text{FeTe}_{0.8}\text{S}_{0.2}$ compound in various alcoholic beverages enhances the superconducting properties compared to a pure water–ethanol mixture as a control. Heating with red wine for 24 h leads to the largest shielding volume fraction of 62.4% and the highest zero resistivity temperature of 7.8 K. Some components present in alcoholic beverages, other than water and ethanol, have the ability to induce superconductivity in the $\text{FeTe}_{0.8}\text{S}_{0.2}$

Parcours **MATIERE QUANTIQUE** du master de Physique de l'UGA

un master de *physique fondamentale* pour explorer, modéliser, décrire
les propriétés physiques des solides
induites par les **corrélations QUANTIQUES** entre particules.



= master généraliste : pour une poursuite d'études en thèse
expérimentale ou théorique

Supraconductivité

(supraconducteurs non conventionnels, cohérence, dispositifs,...)

MAIS EGALEMENT

Ordres électroniques et/ou magnétiques complexes

(basse dimensionalité (composés 2D), désordre & frustration, effets topologiques, transition métal-isolant, (nano-)électronique et semi-conducteurs,...)

la Physique à/des basses températures

(fluides quantiques, MEMS,...)

la science des matériaux

(synthèse, caractérisation, fonctionnalité (énergie),...)

et bien d'autres choses...

Au cœur d'un **site privilégié et unique** pour la physique du solide
~ **300 chercheurs et enseignants-chercheurs**
et ~ 50 thèses/an

dans tous les grands
centres de recherche nationaux :
CNRS, CEA, UGA, Grenoble-INP,...
et internationaux
[grands instruments]
ILL (neutrons), ESRF,
champs magnétiques intenses



Un programme qui recouvre tous les principaux aspects de la Physique de la Matière Condensée (hors matière molle)

« Derniers »
concepts
fondamentaux

Outils théoriques
(pas un master
pour théoriciens
mais outils
importants)

et numériques

Projet
expérimental
(en laboratoire)
séminaires

Physique du Solide III (correlations, transport)
Supraconductivité
Symétries et propriétés physiques
Seconde quantification
Transitions de phases
Physique statistique hors équilibre
Quelques outils théoriques en matière condensée
Physique numérique
Projet de Recherche et Insertion Professionnelle

Ces UEs peuvent être substituées par

des UEs de :

physique des semi-conducteurs
(parcours photonique et semi-conducteurs)

matière molle : ouverture vers les solides « classiques » (parcours MCMV)

physique des particules : mécanique quantique **relativiste** (parcours PSC)

ou nanophysique : physique à l'échelle nanoscopique (parcours NANO)

Faire une thèse en **physique de la matière condensée** c'est se préparer à la **recherche fondamentale** pour repousser les frontières de la connaissance en explorant de nouveaux états de la matière,

ou - si vous le souhaitez - approfondir vos connaissances afin de devenir un acteur d'un développement sociétal intelligent (**physique du solide omniprésente dans le monde moderne : microélectronique, énergie,...**)

Consulter notre site web

master-physique.univ-grenoble-alpes.fr

The screenshot shows the 'Matière Quantique' program page. It features a large image of a complex scientific apparatus. Text on the page includes:
- 'UNIVERSITÉ Grenoble Alpes'
- 'Matière Quantique'
- 'LE PARCOURS MATIÈRE QUANTIQUE'
- 'Etudier, comprendre et modéliser les propriétés fascinantes de l'état solide.'
- 'Une formation de pointe EN PHYSIQUE DU SOLIDE'
- 'Grenoble est incontestablement un des principaux sites mondial de recherche en physique de la matière condensée. Il existe sont en effet des établissements qui servent à même de vous proposer une offre de thématiques et de moyens expérimentaux. C'est cette concentration unique de compétences qui a conduit plusieurs organismes de recherche européens à choisir Grenoble pour y installer leurs grands instruments, contribuant un peu plus au rayonnement international de ce site exceptionnel.'

et le site web institutionnel
(détails des cours)
Google/master Physique UGA

The screenshot shows the 'Catalogue des formations' for the 'MASTER PHYSIQUE'. It includes:
- 'UNIVERSITÉ Grenoble Alpes'
- 'FORMATION PAR DOMAINES':

- Arts, Lettres, Langues
- Droit, Economie, Gestion
- Sciences, Technologies, Santé
- Sciences, Technologies, Santé
- Domaine transversal

- 'FORMATION PAR DIPLOMES':

- Autres diplômes
- DU - Diplôme universitaire
- DU - Certificat universitaire
- Préparation aux concours
- Cyclique préparatoire et validation
- Certification
- Diplôme universitaire de recherche
- DUT - Diplôme universitaire de technologie
- Licence professionnelle
- Formation continue universitaire
- DU - Certificat du université
- DUT - Diplôme universitaire
- Licence
- Mastère
- Cycle préparatoire et diplôme d'ingénieur
- Mémoire
- Doctorat d'université

- 'FORMATIONS PAR COMPOSANTES':

- Nouvelles listes des composantes du DU

- 'MOTEUR DE RECHERCHE':

- Mots clés

- 'Diplôme et certification':

- Tous (944)

- 'Rechercher':

- Recherche avancée

Other visible sections include 'CATALOGUE DES FORMATIONS', 'MASTER PHYSIQUE', 'FORMATION PAR DOMAINES', 'FORMATION PAR DIPLOMES', 'FORMATION PAR COMPOSANTES', 'MOTEUR DE RECHERCHE', 'Diplôme et certification', and various contact and administrative details.