

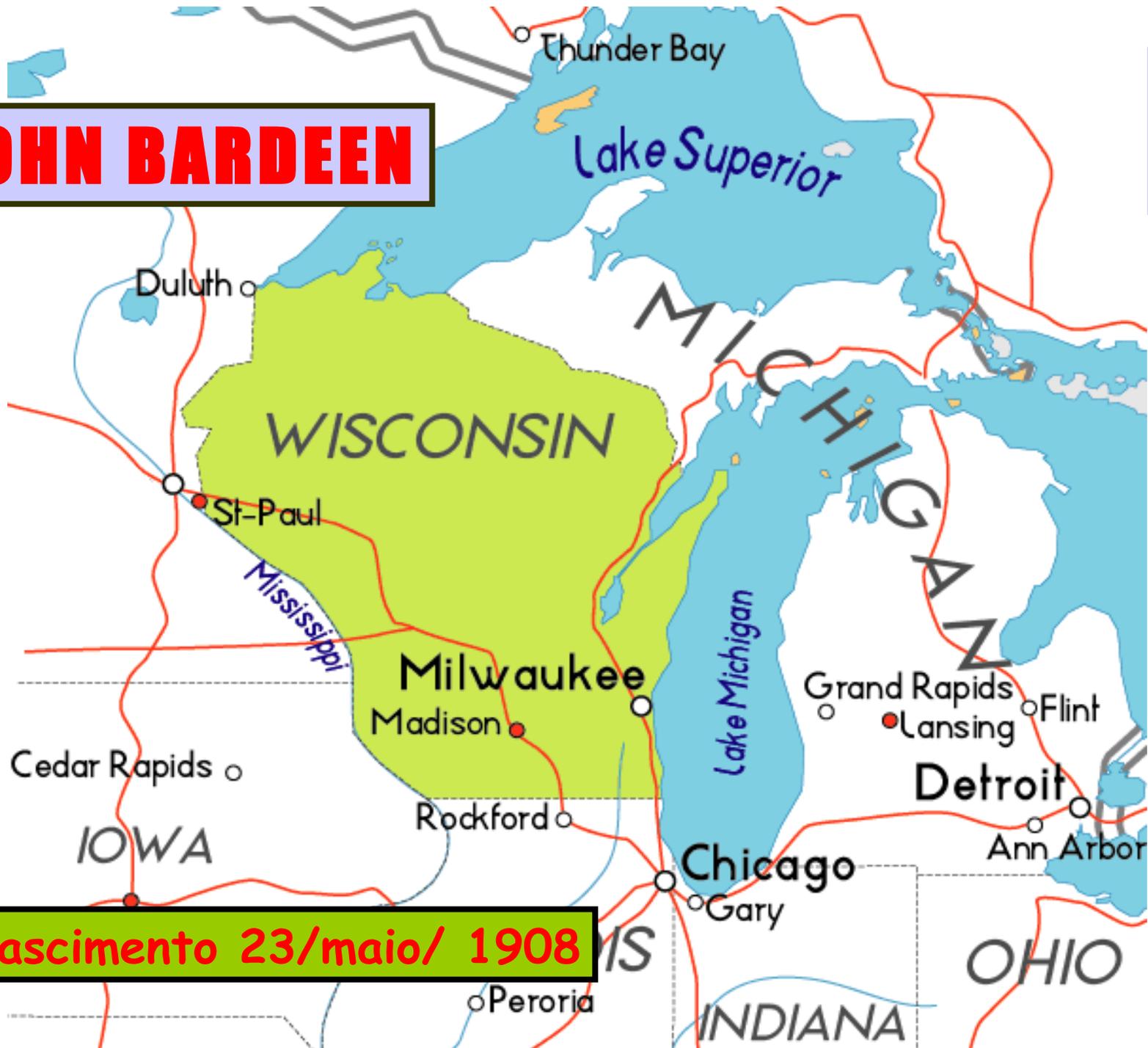
João, brilhante para os físicos
e João ninguém para outros
100 anos de Bardeen





João, brilhante para os físicos
e João ninguém para outros
100 anos de Bardeen

JOHN BARDEEN



Nascimento 23/maio/ 1908

23/maio/1908

nascimento de John Bardeen

Filho de Althea e Charles

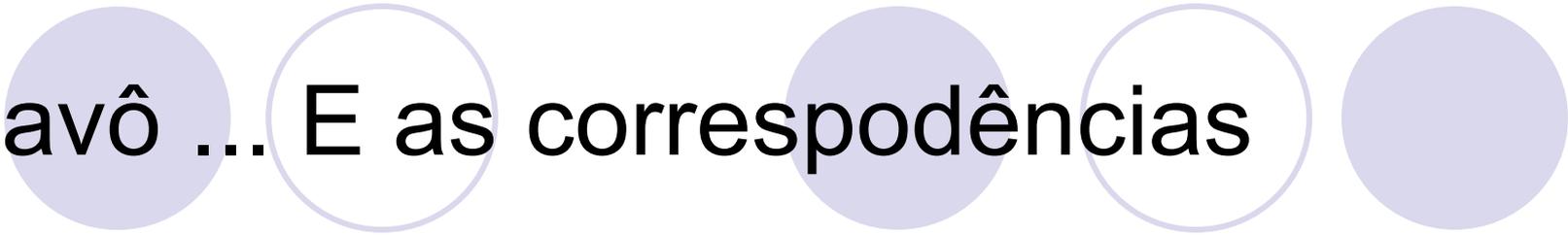
local Madison



Origem: Jovem
inglês, William Barden
que imigrou em 1630

Irmãos William(1906),Helen(1910)eThomas(1912)





O avô ... E as correspondências

**John é um bom
companheiro...muita
facilidade em álgebra e
aritmética**

O pai escreveu quando tinha 12 anos

1919-1920 morte da mãe

o pai percebe que o filho não tem notas excelentes...

Terminou a HS aos 13 anos ...resolveu fazer mais em outra

escola(matemática+ciências+literatura) e termina aos 15 anos

University of Wisconsin

A photograph of a large, multi-story brick building with a central tower, likely a part of the University of Wisconsin. The building is surrounded by lush green trees. The sky is bright and clear.

- **Entra em 1923 (junto com irmão mais velho)...Professor Walter Hart reconhece seu talento para matemática**
- **Matemática era a matéria favorita,mas estava convencido que não queria ser um professor universitário.**
- **Decidiu pela engenharia elétrica...pois achava que usaria bastante matemática e o futuro seria melhor que um professor**

- **Percebeu que matemática da engenharia era bastante enfadonha e começou a estudar matemática mais avançada-**

Walter Hart – professor reconheceu seu talento

Warren Weaver- (Rockefeller Foundation's Science)

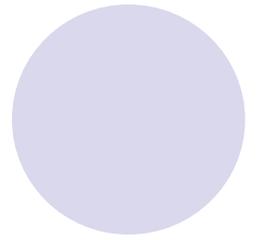
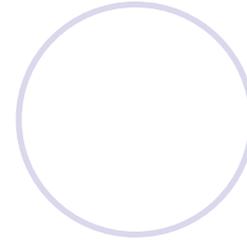
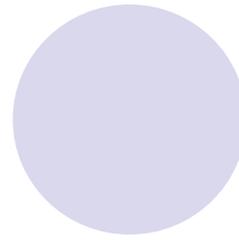
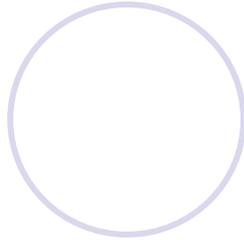
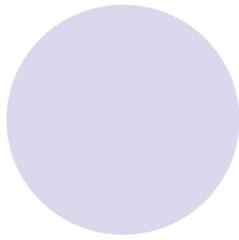
Edward Van Vleck- que sempre auxiliou Bardeen(era um importante professor da Universidade que sempre procurava os alunos brilhantes...)

Walter e Edward foram as primeiras grande influências sobre Bardeen

“A Universidade de Wisconsin era muito forte em matemática mas com pouco interesse em física atômica” Bardeen

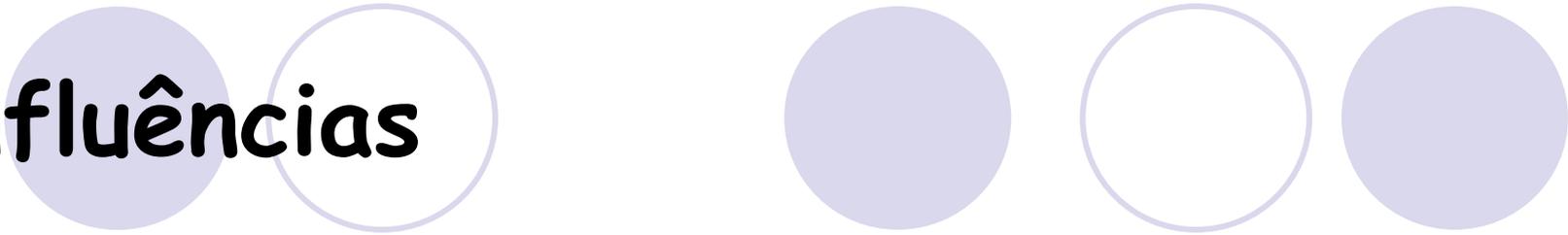
Van Vleck apresenta seu filho John... (nasc. 1899, Madison)

- com PhD em Harvard ...com uma tese sobre Energia do Átomo de Hélio ...orientado pelo famoso físico teórico Edwin C. Kemble...(primeiro físico teórico)
- No outono de 1928 ministrou um curso de Física Moderna na universidade de Wisconsin .Bardeen matriculou-se no curso...achou a MQ fascinante!!!



- **Van Vleck encorajou –o a considerar a carreira de Físico**
- **“A única oportunidade para físicos e matemáticos é a universidade .Eu penso que esta é a última coisa no mundo que gostaria de fazer”** Bardeen
- **continuou fazendo cursos de física da pós.**

Influências



- **Debye(1928) M.Estatística**
- **Dirac (1928) Mecânica Quântica**
- **Sommerfeld(1929) Teoria Quântica de Metais**
- **Heisenberg**
- **Pauli**
- **...foi adiando seu diploma ...junho de 1928**
- **Conclui Eng.Elétrica(já tinha os créditos p/ mestrado)**

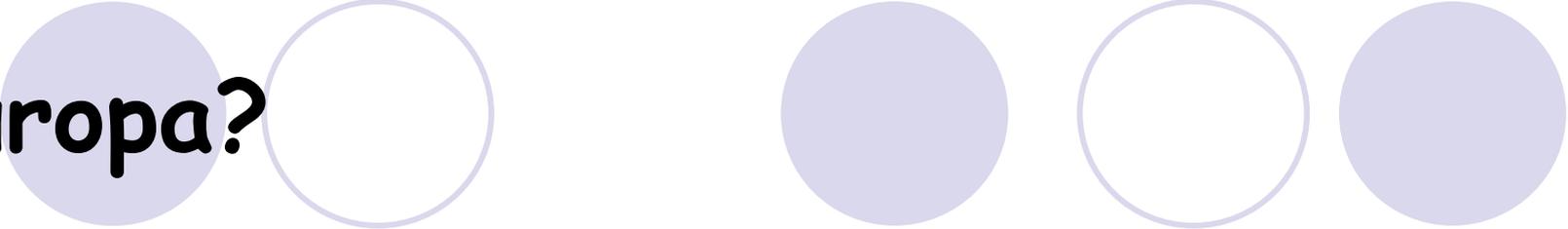


MESTRADO

- Léo J Peters-orientador de mestrado
- “Prospecção de petróleo...variação de propriedades elétrica” publicou em 1930
- **Início de 1929, antes de concluir o mestrado ,decide estudar física !!!**
- **Aplica-se no Trinity College-Cambridge**



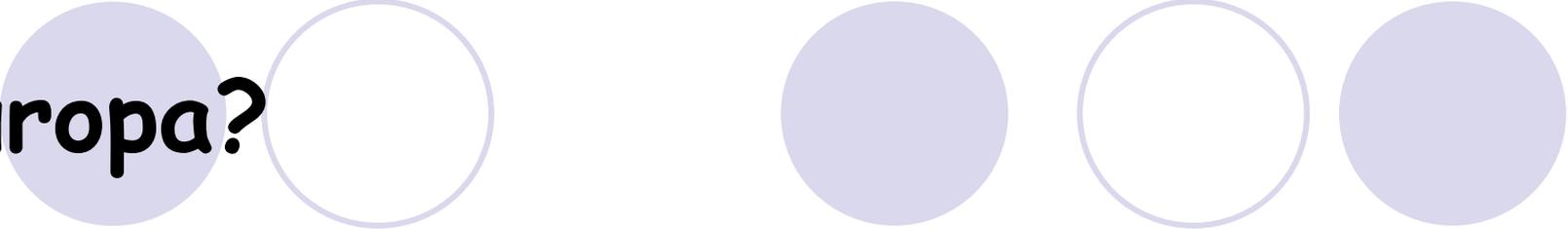
Europa?



- Carta de recomendações fortes
- Peters
- Weaver(gênio)
- Van Vleck -mandou carta diretamente para Ralph Fowler.(president da banca do Dirac)



Europa?



- Carta de recomendações fortes
- Peters
- Weaver(gênio)
- Van Vleck -mandou carta diretamente para Ralph Fowler.(president da banca do Dirac)
- **NÃO**

Indústria !!!

- Gulf-Pittsburgh
- 1932 publica um artigo com Peters- que recebe prêmio da Soc.de Geophysics em 1949.
- 1932-Conselho de pai **“A vida universitária não é tão ruim assim, você poderá estudar matemática...”**

PhD Princeton ?

- **O pai escreve para Abraham Flexer-
diretor do Princeton Institute.**
- **Flexer fala com Oswald
Veblen, matemático**
- **Cartas de recomendações: Van Vleck e
Waren Weaver**



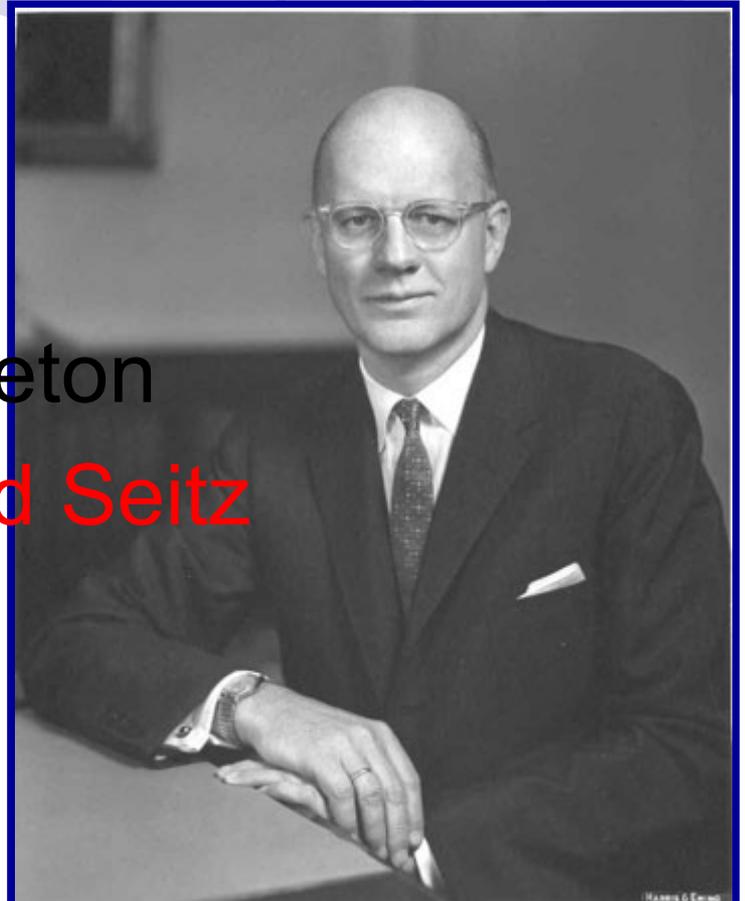
Aceite em Princeton

- Outono 1933\ 25 anos
- Sem apoio financeiro
- O primeiro dia em Princeton
- Adam Trowbridge ...Fred Seitz

O grande amigo em Princeton

Aceite em Princeton

- Outono 1933\ 25 anos
- Sem apoio financeiro
- O primeiro dia em Princeton
- Adam Trowbridge ...Fred Seitz



O grande amigo em Princeton

`Vida em Princeton: Paraíso dos Pós-Grad.´

Seitz

Advanced Study

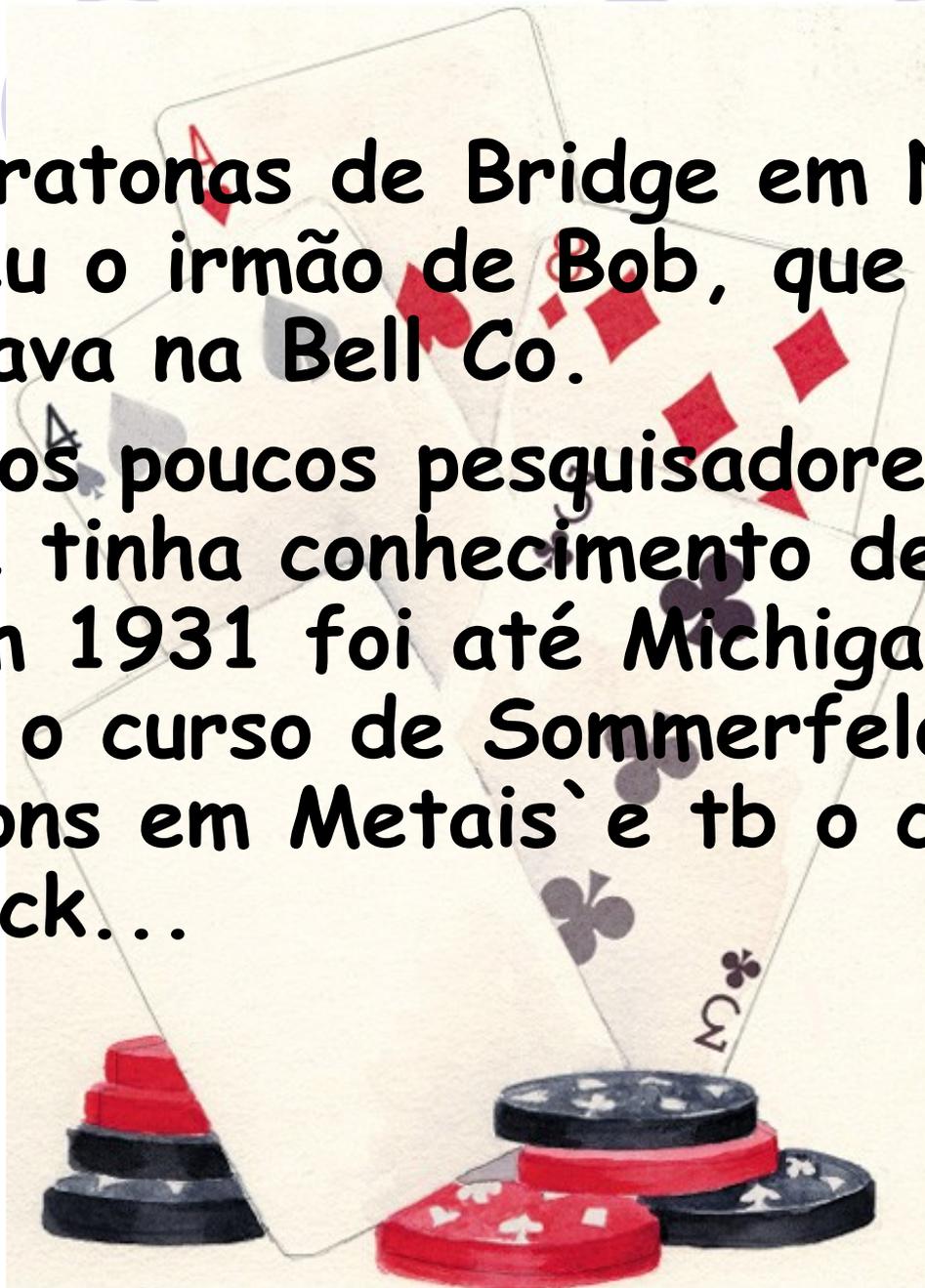
O. Veblen, H. Weyl, A. Einstein, P. Langevin, E. Wigner, J. Von Neumann...

Falta de Coffeehouses...

Falta de boliches e jogo de bridge...

Amizades Bob Brattain

- Nas maratonas de Bridge em N.Y ,ele conheceu o irmão de Bob, que trabalhava na Bell Co.
- E era dos poucos pesquisadores da Bell que tinha conhecimento de M.Q.Em 1931 foi até Michigan assistir o curso de Sommerfeld :`Elétrons em Metais` e tb o curso de Van Vleck...



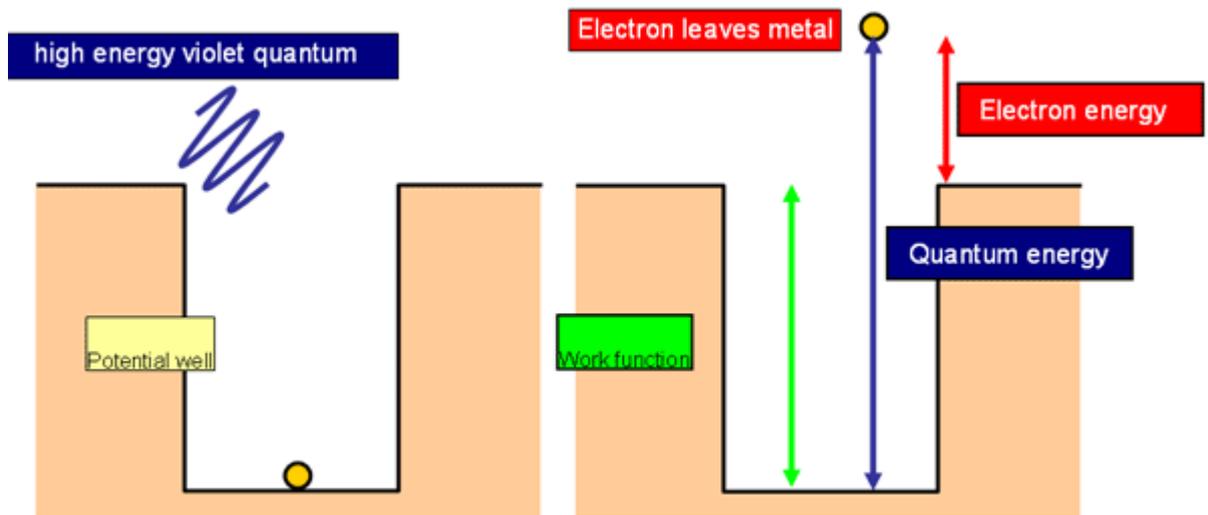
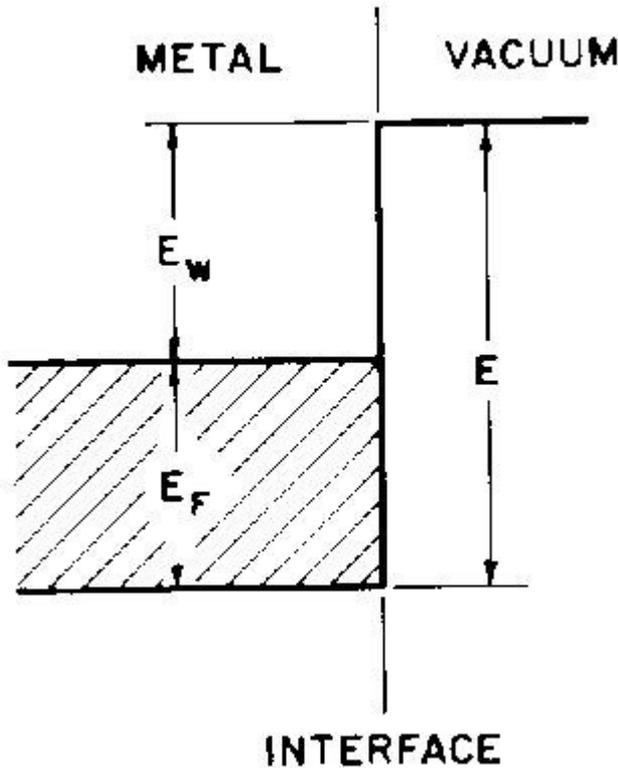
O GRANDE COMPANHEIRO

- Nas maratonas de Bridge em N.Y ,ele conheceu o irmão de de Bob, que trabalhava na Bell Co.
- E era dos poucos pesquisadores da Bell que tinha conhecimento de M.Q.Em 1931foi até Michigan assistir o curso de Sommerfeld :`Elétrons em Metais`
- **Walter Brattain**



Walter e eu tínhamos um interesse comum—a teoria da função trabalho

a da Mecânica a -- (Bardeen)



(Diagram: resourcefulphysics.org)

Outros amigos

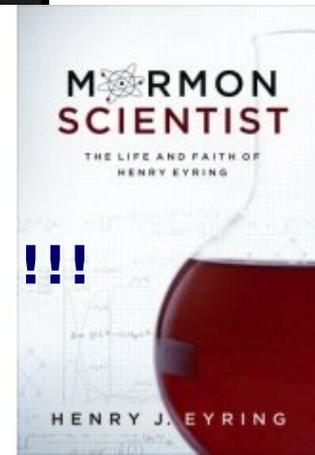


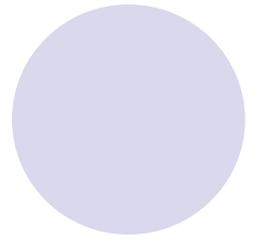
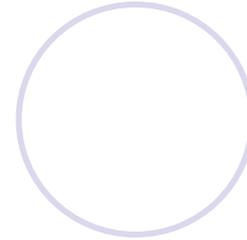
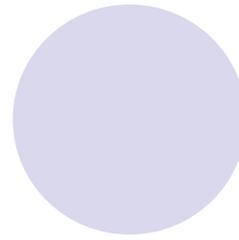
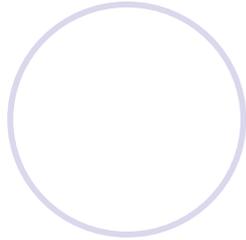
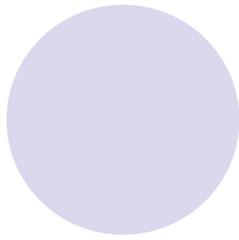
Conyers Herring **opw**



Henry Eyring

Surpresa não Nobel !!!

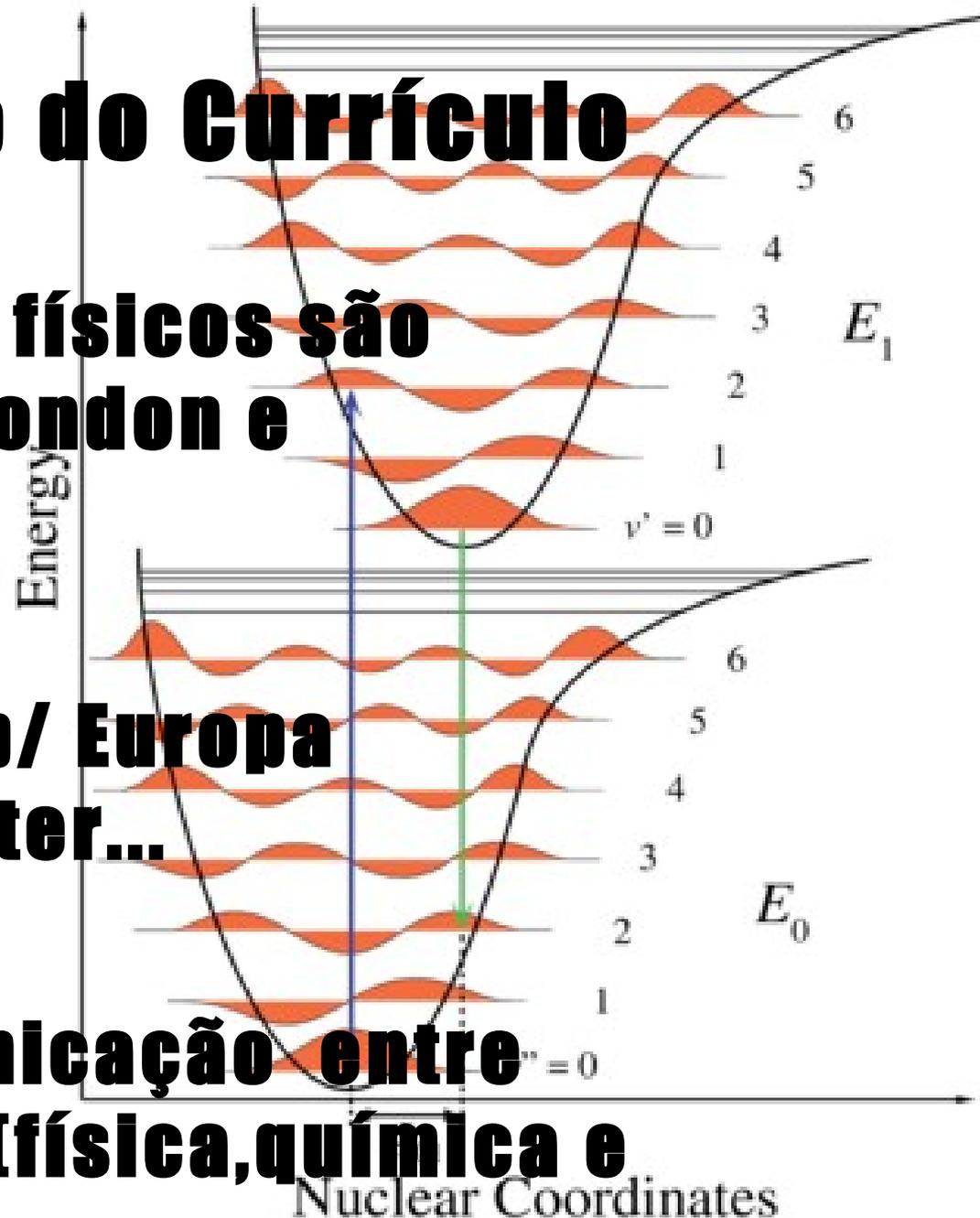




- `` As amizades de Bardeen eram muito forte , formavam um círculo meio bronco , bebiam cerveja e jogavam boliche sempre juntos. Todos falavam a mesma língua midwestern`` (Seitz)

Modernização do Currículo

- **1928 importantes físicos são contratados E.U. Condon e H.P. Robertson**
- **Jovens enviados p/ Europa ,Oppenheimer, Slater...**
- **Encorajava comunicação entre diferentes áreas (física, química e matemática)**



O paraíso... E o que fazer ?

Fala com **Robertson** na época preocupado com os infinitos da teoria quântica de campos ...muito agradável de conversar...

Fala com **Condon** ...sempre tem uma explicação boa e clara para tudo. Sugere um trabalho que é praticamente completar o livro que escreve com Shortley` Theory of Atomic Spectra` nada interessante...

`Atomic theory is a cold fish by now .What we ... start on solids´ (Condon)

Seitz já havia decidido trabalhar com **Wigner**

Wigner o orientador

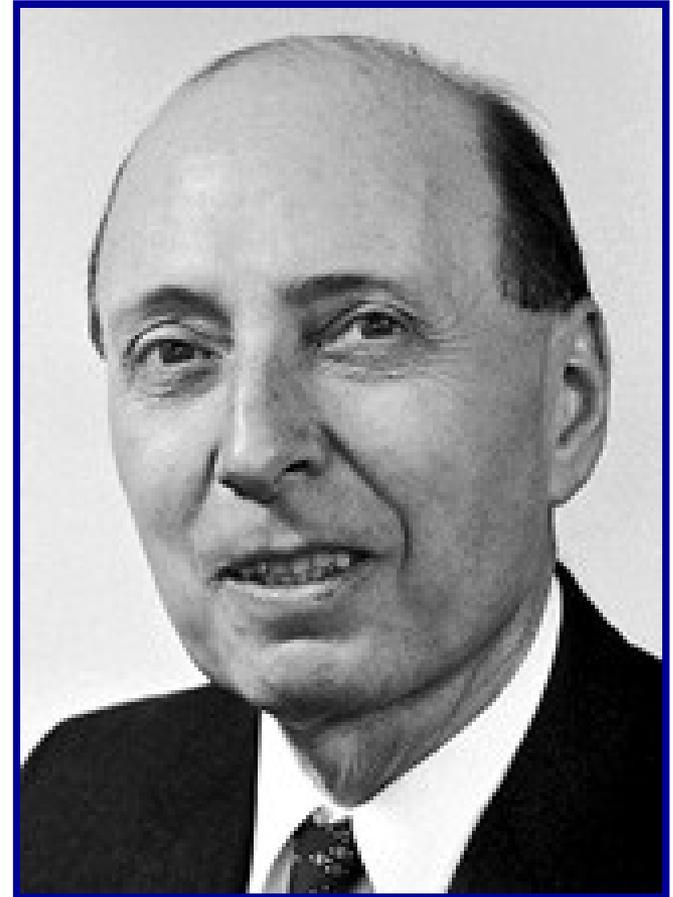
- `SE EU DERRUBAR UMA CHAVE...AGORA SE EU DERRUBAR UM COPO DE VIDRO ESTE VAI QUEBRAR...`

E. WIGNER

Preocupado com as implicações da simetria
Gostava de trabalhar na fronteira-disciplinar

Bardeen não estava seguro se daria certo a
orientação ` **Wigner era muito
formal, pedia licença até para
tirar seu paletó** ` Bardeen

Também Conyers Herring decidiu trabalhar com
Wigner



Tese : Work function of metals

- Férias com Seitz em Chicago ...tinha que aprender muito sobre sólidos...interação elétron-elétron, elétron-rede...
- Resolveu passar `full time` na biblioteca ...o que sabemos sobre materiais ?
- **Wigner me ensinou a atacar um problema... primeiro decomponha -o em problemas**

Wigner me disse que raramente se comunicava com Bardeen, mas sempre que o fazia ficava admirado pelas questões que trazia.

Seitz, Bardeen e Herring os três primeiros estudantes de Wigner... Todos na área de estado sólido.

No início dos anos 30 só havia dois programas de pós em estado sólido MIT --- Slater

Bristol- Mott, Jones e Lennard-Jones

Herring sabia mais física de estado sólido que qualquer outro que conheci

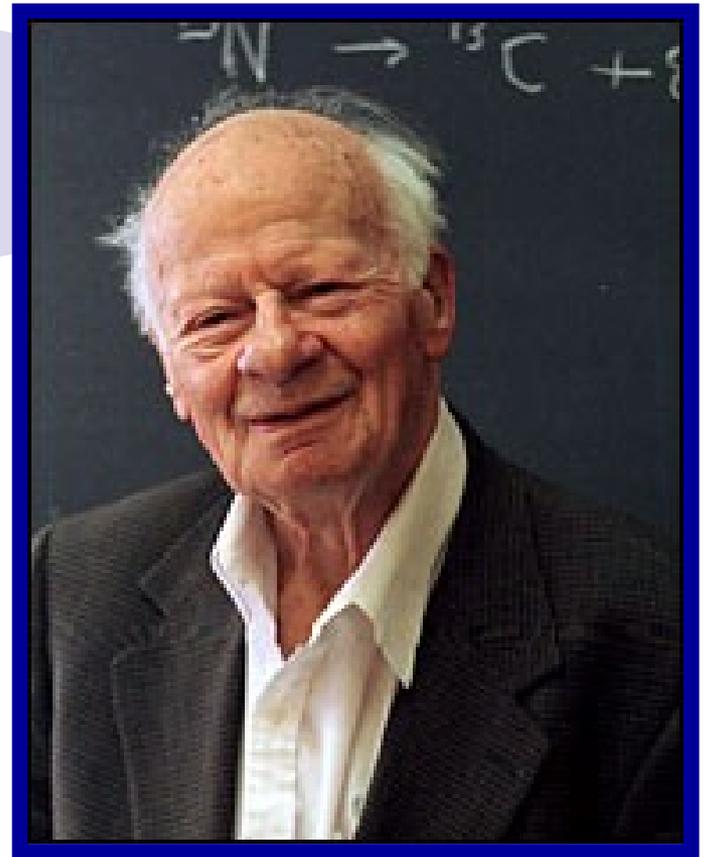
Semicondutores existem ?

Isolantes tem bandas completamente preenchidas e metais tem bandas parcialmente preenchidas, nas parcialmente preenchidas elétrons podem fornecer corrente... Semicondutores...

Alan Wilson (1931)



HANS BETHE e ARNOLD SOMMERFELD
publicam um grande artigo de revisão
com mais de 300 páginas em 1933



Bethe

Método de Wigner-Seitz...

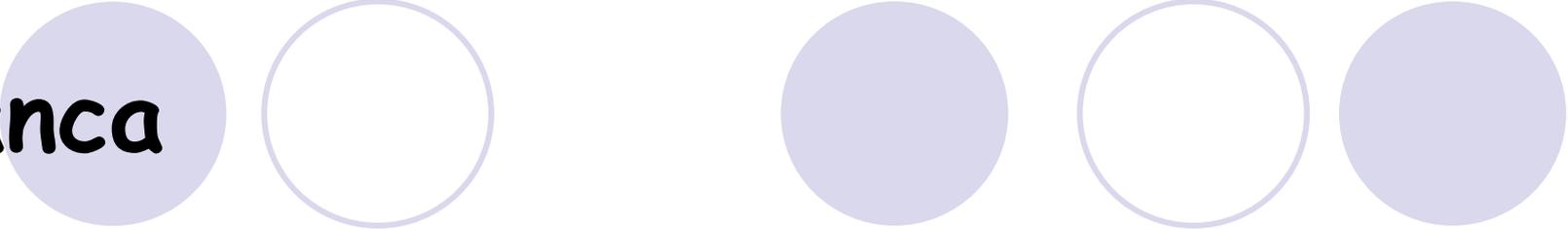
- 1933- Seitz defende a tese!
- Primeiro cálculo realístico de um sólido: energia de coesão, constantes elásticas, condutividade térmica e elétrica

Trabalho de Seitz e Wigner abriu uma nova área

1934- Seitz prepara notas de seminários para muitos alunos, e Bardeen frequenta

Pronto para escrever a tese -- início de 1935 !

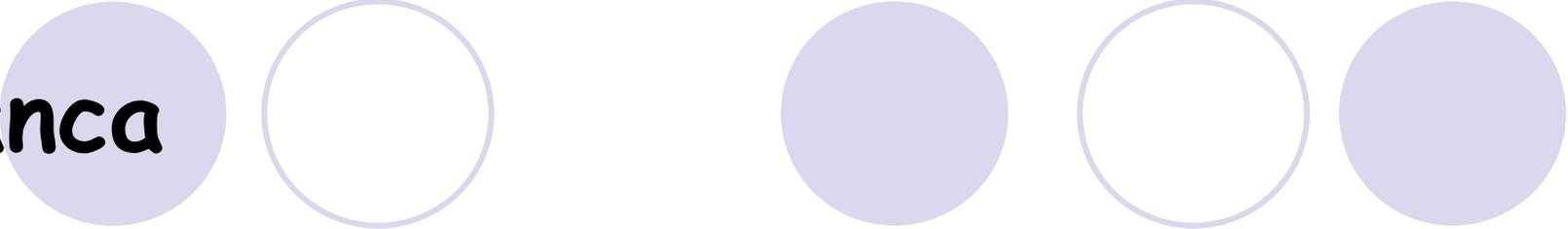
- Publica um trabalho com Wigner. Usando método de HF ...modela distribuição eletrônica na superfície do metal.
- Foi selecionado para Harvard`s Society of Fellows
- A entrevista `I think I was too scared to hardly say a word`



banca

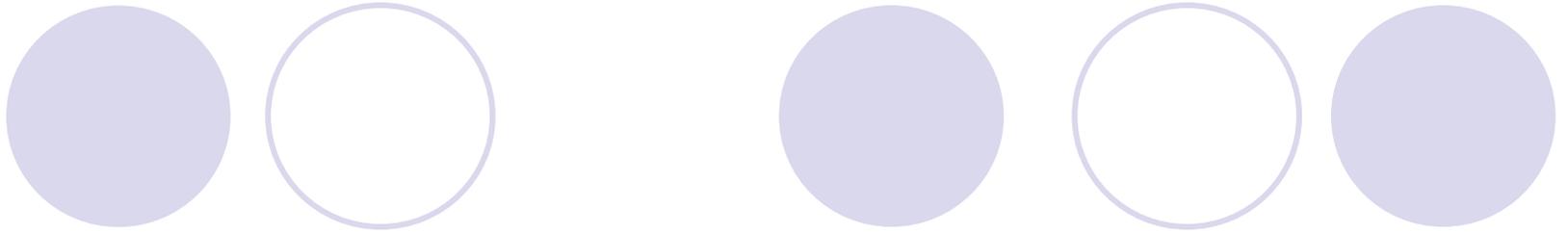
- **Nort Alfred Whitehead(filósofo/matemático)**
- **Samuel Eliot Morison(historiador)**
- **Lawrence J. Henderson (biólogo)**

I'm sure it was Van Vleck that got me in` (Bardeen)



banca

- **Nort Alfred Whitehead (filósofo/matemático)**
- **Samuel Eliot Morison(historiador)**
- **Lawrence J. Henderson (biólogo)**

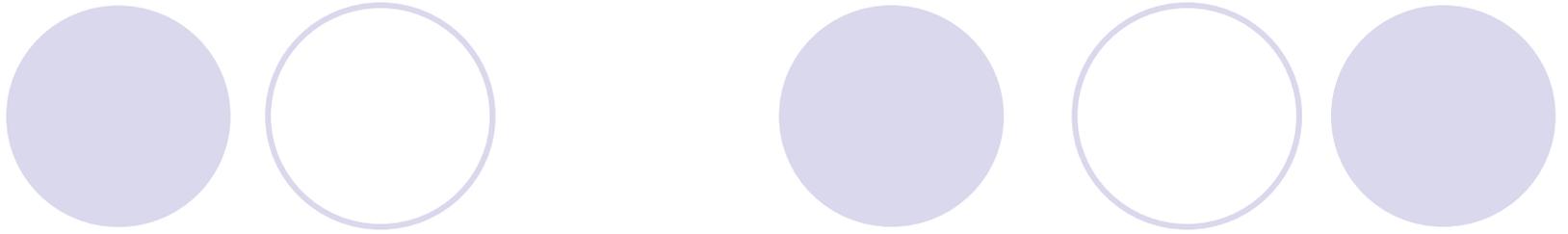


Bardeen terá de entregar a tese até o final do ano(1935). Seu pai fica muito doente e é interrompido para escrever a tese .O pai morre em junho.Wigner viaja para Europa.

...e a tese não fica pronta ...

E novamente...

PhD – JANEIRO-1936



Bardeen terá de entregar a tese até o final do ano(1935). Seu pai fica muito doente e é interrompido para escrever a tese .O pai morre em junho.Wigner viaja para Europa.

...e a tese não fica pronta ...

E novamente Van Vleck participa...

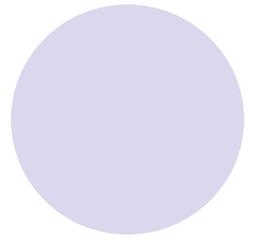
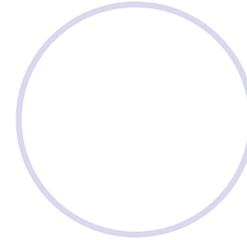
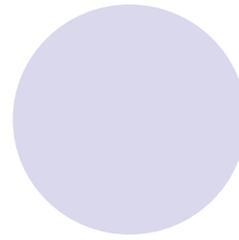
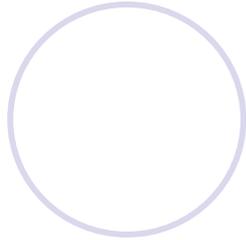
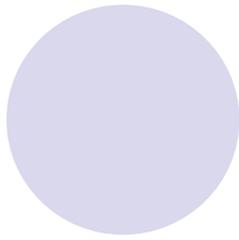
PhD – JANEIRO-1936



O PARAÍSO DOS PÓS-DOC

HARVARD

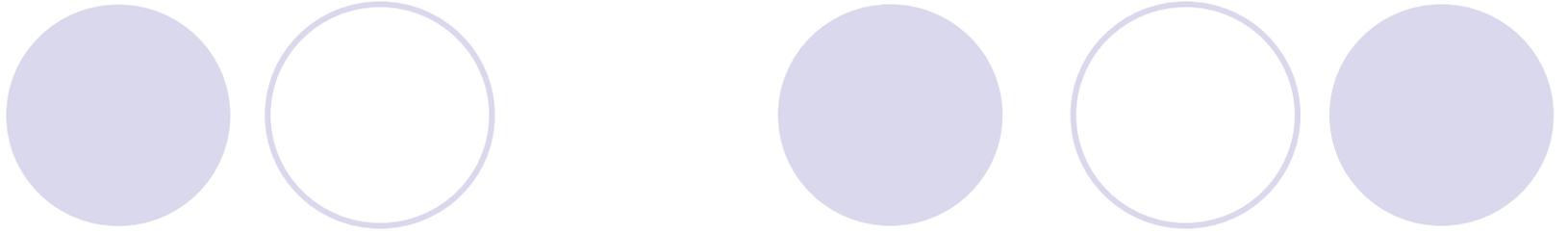




- **`The idea was to give promissing young students free time to do whatever they wanted in their research...there were no obligations`**



.



- **`The idea was to give promissing young students free time to do whatever they wanted in their research...there were no obligations`**
- Mas, Bardeen resolve dar um curso de Relatividade Geral.

Início em Harvard (1936)

- Famoso físico de altas pressões **Percy W. BRIDGMAN**
- Hans Bethe(Cornell) convida Bardeen
- Escreveu um artigo com Van Vleck, método tight-binding
- `Eu tive mais interação com Van Vleck que qualquer outro in Harvard` Bardeen
- **Visitava frequentemente o Slater e seus estudantes no MIT**

Slater terminou seu PhD em 1923 em Harvard -Primeiro teórico / Bridgman!!!

Slater ...

Herring foi pós-doc do Slater por 2 anos

1937-1939 no MIT.

Não gostava da forma que Slater trabalhava,

E sua maior interação era com Bardeen

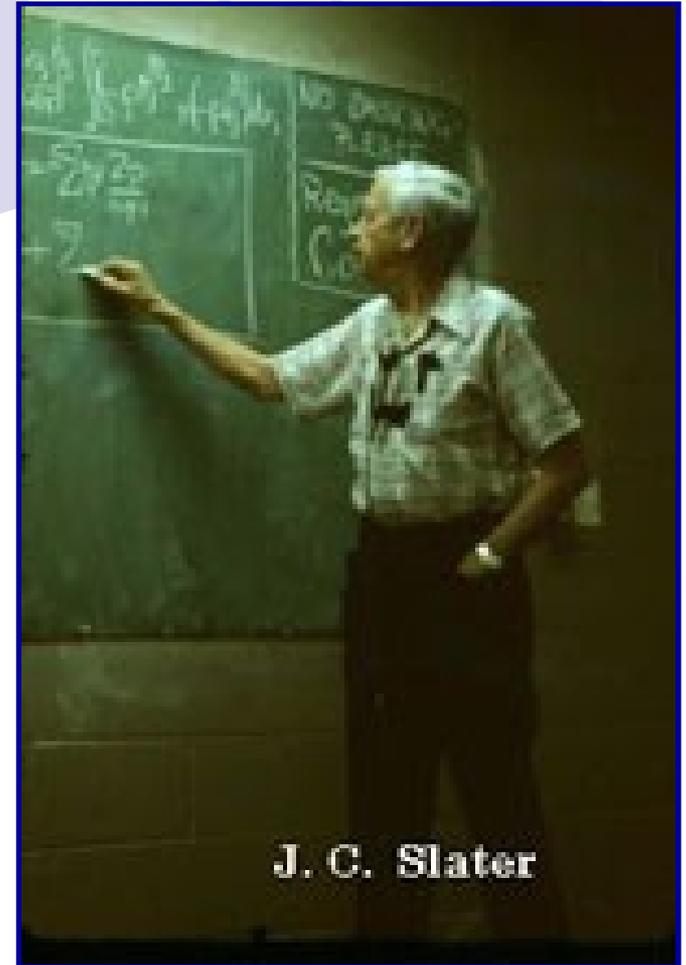
`Eu ía constantemente a Harvard discutir com Bardeen.(Herring)

...OPW

...estudante do Slater que estava terminando o PhD

-William Shockley(grande amigo de Seitz) discutiam muito superfícies de metais...rede vazia.

Shockley ...Bell Labs , july 1936



Herring

ALTAS PRESSÕES- BRIDGMAN

- TRANSIÇÃO DE FASE DO Cs BCC—FCC
- Bardeen construiu uma teoria semi-empírica e previu a pressão que ocorreria a transição
- `...pela primeira vez poderíamos calcular coisas que Bridgman fazia` Edward Purcell
- `John nunca me perdoará por isso !!` Fred Seitz

(Bridgman veio a ser o primeiro físico de Harvard a ganhar o prêmio Nobel 1946)

Sem sucesso

- Many-body, tratar elétron-elétron, elétron-rede, formas da superfícies de Fermi... Weisskopf, Luttinger, Kohn, Migdal ..
- SUPERCONDUTIVIDADE... que não teve sucesso para explicar...
- **`Até agora só tem hipóteses ... nada foi verificado... embora não tenhamos tido sucesso a sua explicação deve ser resolvida nas bases da mecânica quântica (Bethe 1933)**
-
- Breakthrough irmãos **London (1933)**

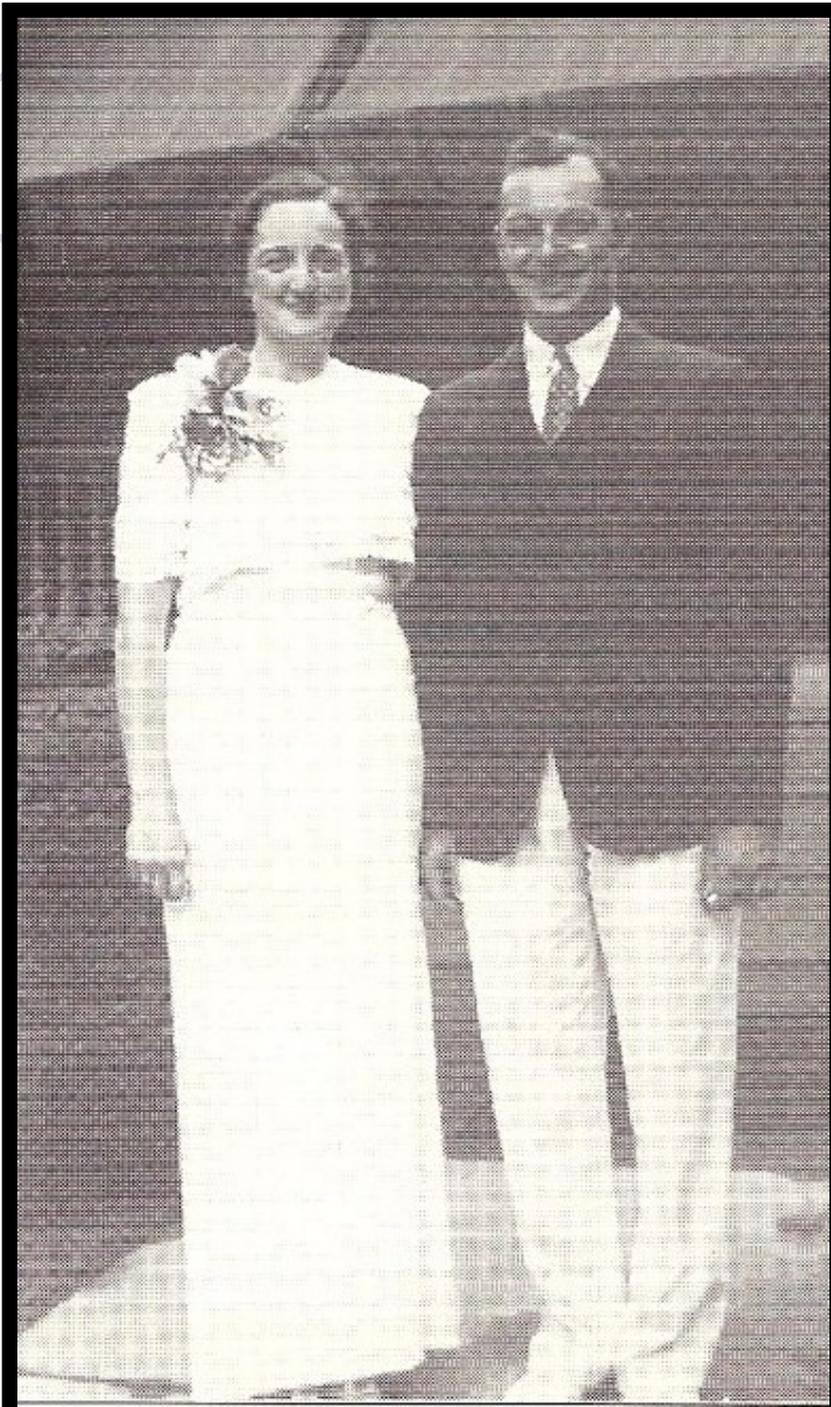


**Bardeen professor assistente na University of
Minnesota março /1938**



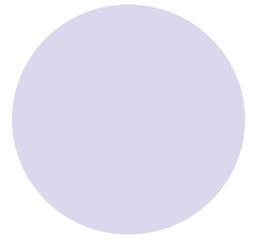
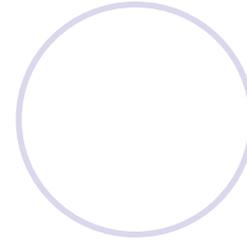
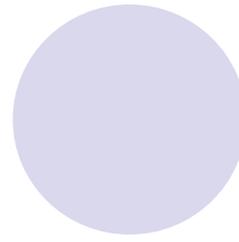
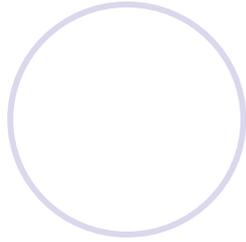
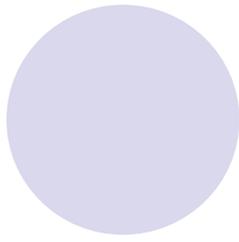
Casamento com Jane maio/1938

JANE

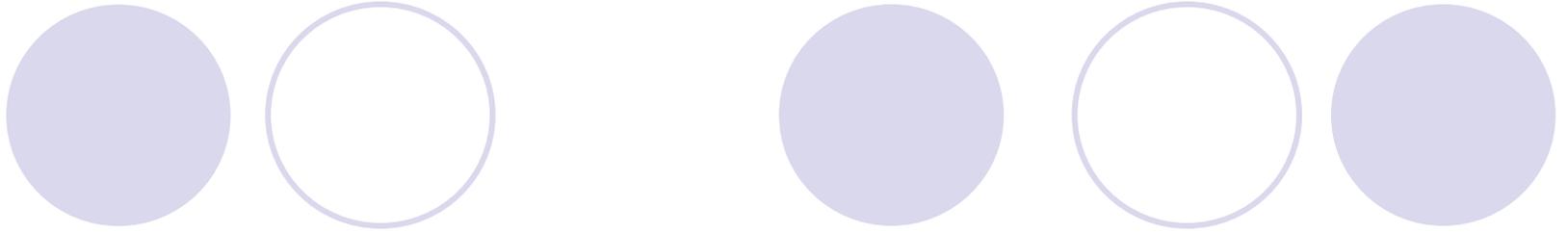


Projeto em Minnessota

- **Artigo de revisão sobre condutividade elétrica**
- **e focar atenção na supercondutividade- gostaria de explicar a teoria de London via primeiros princípios...Suspeitava que o efeito Meissner era uma manifestação de elétrons no supercondutor movendo-se em grandes órbitas...ou seja o diamagnetismo vinha de correntes na superfície de Fermi...**



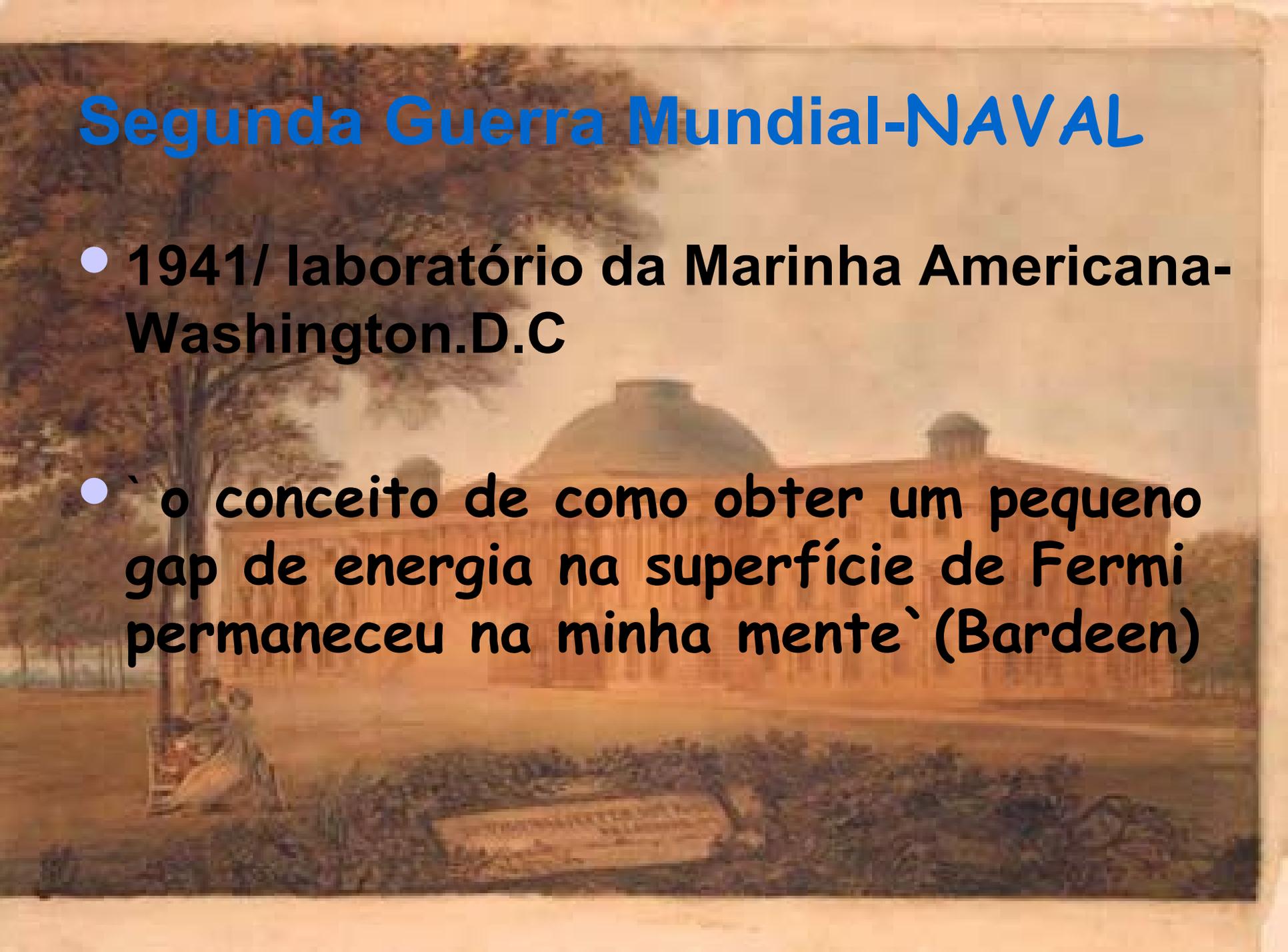
- Bardeen assumiu que pequenos deslocamentos dos íons no supercondutor causa um ganho de energia eletrônica maior que a gasta no deslocamento dos íons...poderia causar um gap eletrônico... Bardeen mandou uma versão de suas idéias ao Seitz para mostrar ao Pauli no *Annual Michigan Summer School*...que viu o artigo

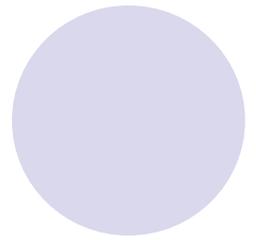
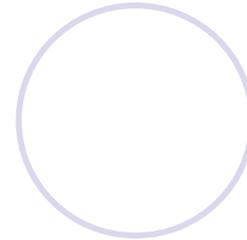
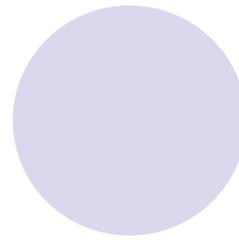
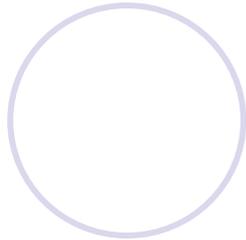
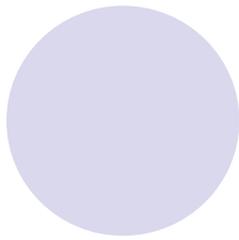


- Bardeen assumiu que pequenos deslocamentos dos íons no supercondutor causa um ganho de energia eletrônica maior que a gasta no deslocamento dos íons...poderia causar um gap eletrônico... Bardeen mandou uma versão de suas idéias ao Seitz para mostrar ao Pauli no annual Michigan Summer School...que viu o artigo e **não** aprovou !!!

Segunda Guerra Mundial-NAVAL

- 1941/ laboratório da Marinha Americana-Washington.D.C
- `o conceito de como obter um pequeno gap de energia na superfície de Fermi permaneceu na minha mente` (Bardeen)



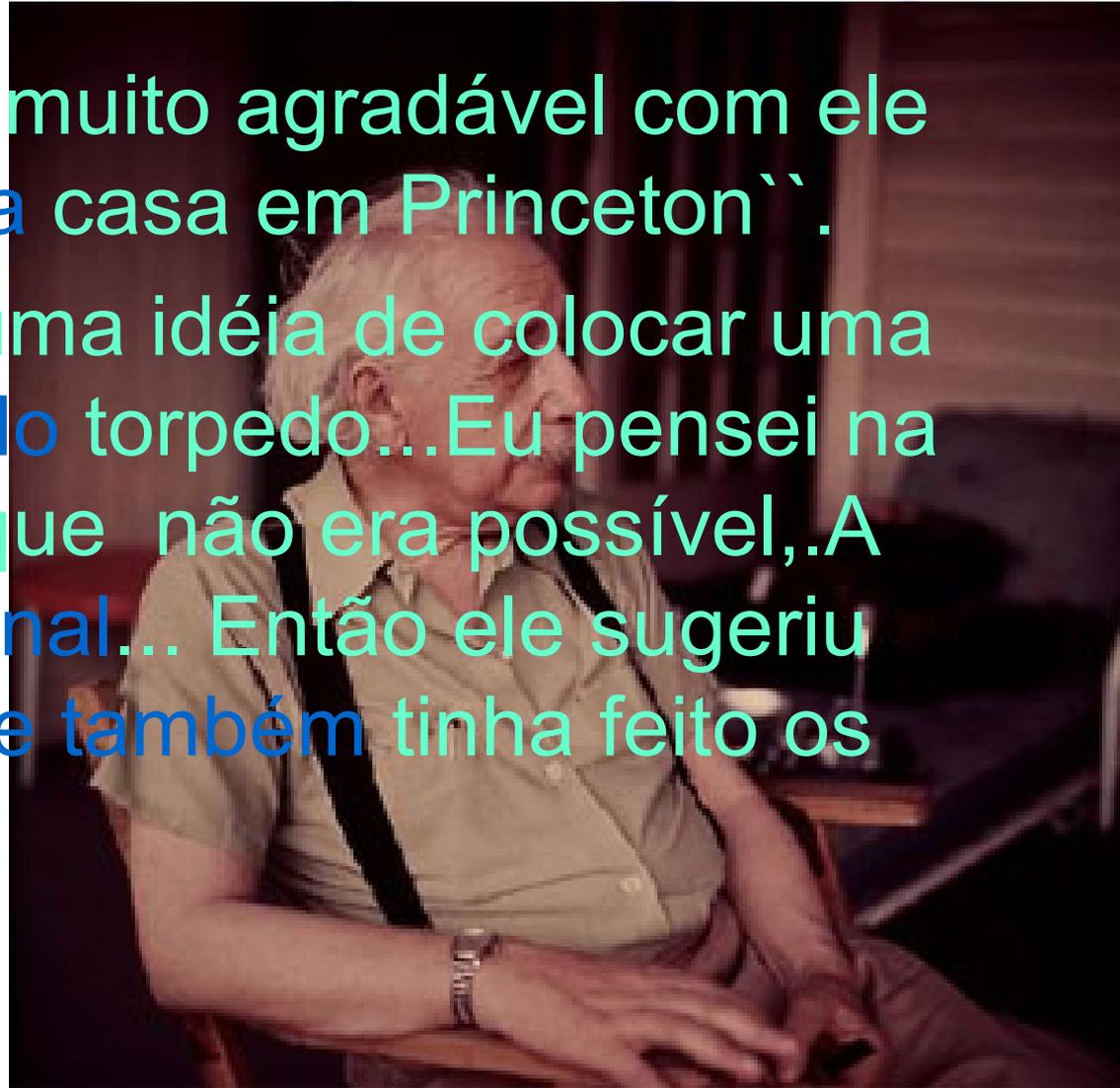


- Carta de Jane para sua mãe.
- `` John e eu, ambos sentíamos que seria por um período curto que nosso país estará envolvido. -que Deus do céu nos abençoe. Não poderíamos deixar de fazer um protesto em um mundo dominado por nazistas, fascistas e comunistas``

- **O grupo (e o escritório)do Bardeen era compartilhado por 5 físicos ,um deles era Charles Kittel com quem fez uma grande amizade.**
- **Com sua capacidade analítica e pragmática de encarar os problemas era o membro mais valioso da Naval Ordnance Laboratory(NOL)**
- **Costumava visitar todos os especialistas**
- **Oceanógrafos,matemáticos,físicos ... No verão de 1943 visitou Einstein...**

O contato com Einstein

- “Foi uma tarde muito agradável com ele em sua modesta casa em Princeton”.
- Einstein tinha uma idéia de colocar uma bobina dentro do torpedo... Eu pensei na idéia dele e vi que não era possível, a atenuação do sinal... Então ele sugeriu um plástico ...ele também tinha feito os cálculos ...



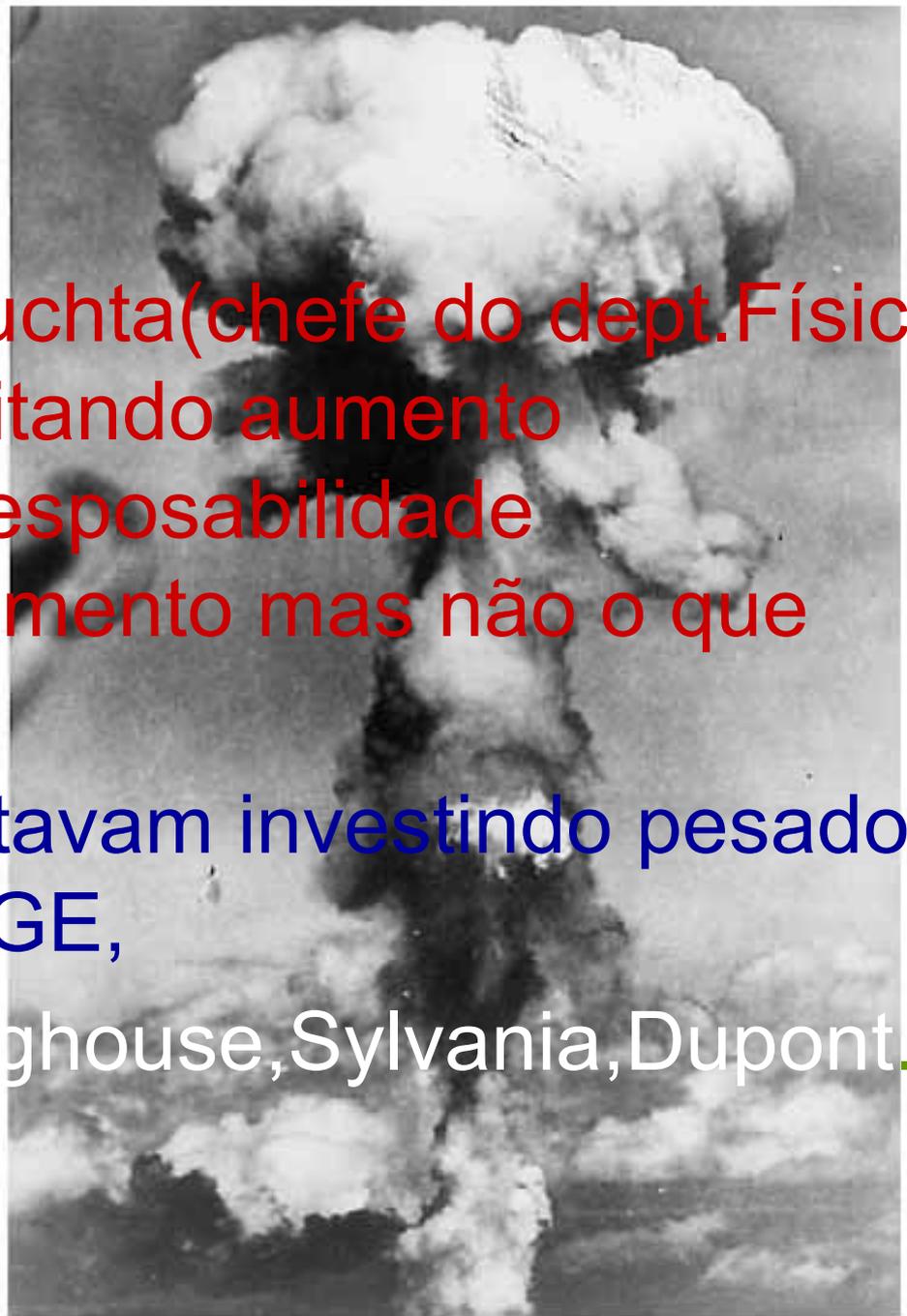
PROJETO Manhattan



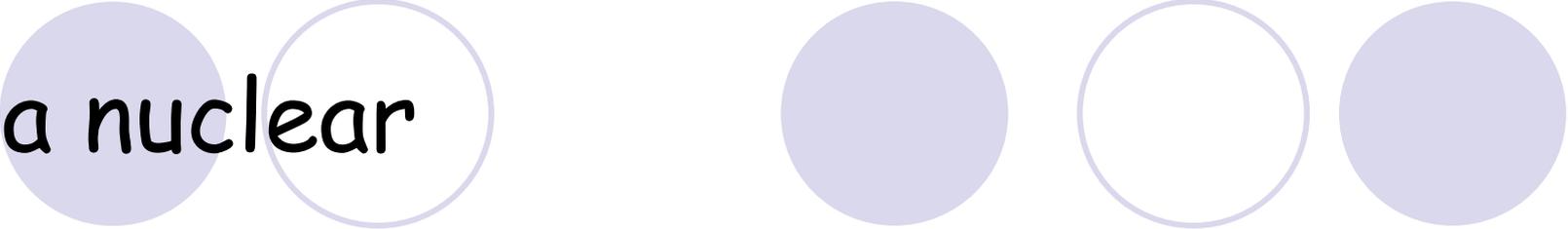
- **Bardeen e Seitz são convidados a participar do projeto Manhattan no grupo de Wigner(reator nuclear-primavera /1943)**
- O terceiro filho está vindo ...e problemas familiares
- **A burocracia na NAVAL.**
- **Próximo do fim da guerra,planeja voltar a vida acadêmica- Escreve um memorando para Capitão Schindler oficial-Chefe da divisão...seria mais útil pesquisando...**

Estado Sólido

- Escreve para Jay Buchta (chefe do dept. Física em Minnessota) solicitando aumento salarial...alegando responsabilidade familiares...tem o aumento mas não o que esperava. (1945)
- Muitas indústrias estavam investindo pesado em ciência básica...GE,
- ...GE, Sperry, Weatinghouse, Sylvania, Dupont... and Bell Com.



Era nuclear

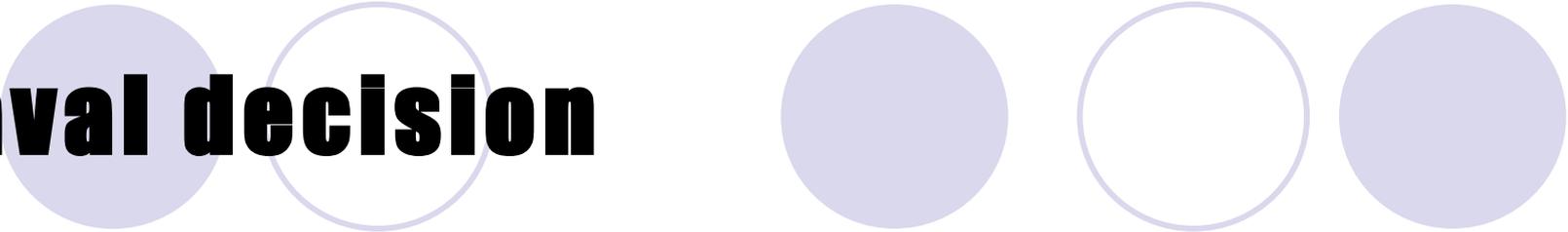


- A universidade ainda focada na Física Nuclear não reconheceu a importância que a pesquisa em Estado Sólido tinha para a economia da nação(Al Nier).
- Mervin Kelly(vice-presidente executivo)- Bell Labs,faz uma proposta para Bardeen.
- Kelly criou as novas estruturas de Lab.

Decisão

- ` É uma escolha difícil porque eu gosto da vida universitária em Minissota mas a Bell Labs parece oferecer melhor oportunidade para um desenvolvimento profissional...na Bell estarei ligado na Física de Estado Sólido e na universidade está muito centrado em física nuclear. Também o salário...` (Bardeen para Bucha)

Naval decision



- ` I consider Dr. Bardeen`s request to be sound and reasonable and hope that he will find his new work pleasant, productive and most satisfactory. I feel that the Lab is loosing one of its best men but the Navy will continue to benefit from his work wherever he may be`

Primeiro dia na BELL labs

- 09 /OUTUBRO/ 1945 –deixa Fairfax Village-DC
- 15/outubro/1945—primeiro dia na Bell Labs-Murray Hill

lembrete

- 1833 **Michael Faraday** - descobre materiais cuja resistência diminua com a temperatura.(não se sabia nada a respeito da condução)
- 1839 **Becquerel** observou a geração de uma fotovoltagem quando iluminava um dos eletrodos de uma célula eletrolítica.
- 1876 **Adams and Day** observam a fotovoltagem em selenium.
- 1873 **Warren Smith** descreve um fenômeno alternativo iluminando o Se `fotocondutividade`.
- 1874 **Carl Ferdinand Braun** descreve a retificação!!! Contatos de metal-PbS(galena)FeS(piritas).Corrente –Voltagem tem caráter não linear.Observou que a corrente fluia em uma direção e na voltagem reversa era quase nula

Antes do final do século XIX 4 fenômenos eram conhecidos característicos de semicondutores

- 1) Coeficiente de temperatura negativo
- 2) Fotocondutividade
- 3) Fotovoltagem
- 4) Retificação

Não havia nenhuma teoria para explicar esses fenômenos !!!

NOBEL 1909 compartilhado com Marconi



Ferdinand Braun

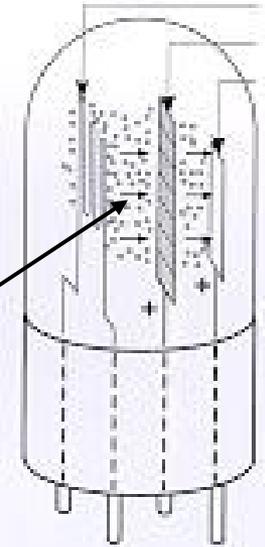
Válvulas ganham a batalha

- 1883 Thomas Edison patenteia o diodo-tubo.
- 1906 Lee de Forest inventa o triôdo-tubo
- 1912 dispositivos a valvula são utilizados pela Bell...As válvulas ganharam a batalha

Evolução da Eletrônica

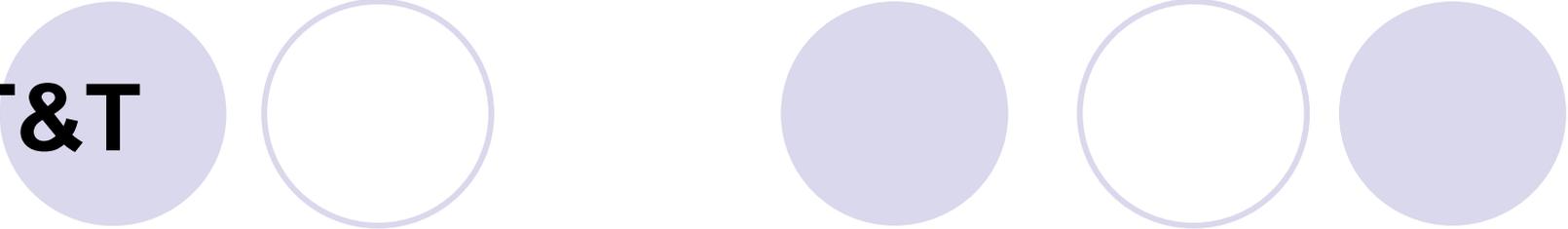
(1906) De Forest inventa a válvula triodo

elétrons emitidos pelo catodo são acelerados para a placa por um campo elétrico



(1913-1918) Armstrong desenvolve o rádio receptor

(1920-1950) Inúmeros equipamentos eletrônicos são inventados, porém a eletrônica de válvulas tem muitas limitações

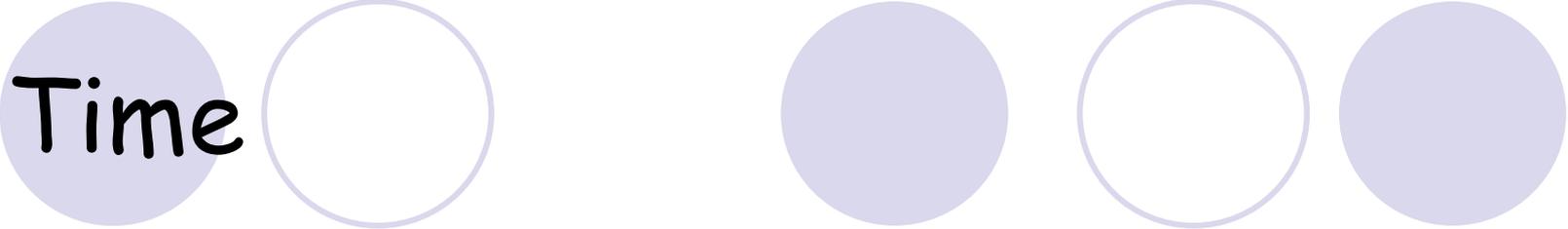


AT&T

- **Precisava de uma nova tecnologia para amplificar sinais telefônico**
- **A válvula de tubo - triôdo:**
 - consumo de energia**
 - durabilidade**
 - custo**
 - fragilidade**

Filosofia na Bell Labs

- Kelly tinha projetado novos Labs...um sub grupo de Semicondutores do qual Bardeen faria parte-- uma unidade do departamento de Estado Sólido—Todos os sub-grupos seriam **multidisciplinar**.
- `Ele (Kelly) achava que essas pessoas trabalhando juntos era melhor que individualmente e isso se mostrou verdadeiro` (Bardeen)



O Time

- **Shockley(chefe)- físico teórico Est. Sólido**
- **Bardeen –físico teórico est.sol.**
- **Walter Brattain- físico experimental**
- **Gerald Pearson –físico experimental**
- **Robert Gibney –químico**
- **Hilbert Moore –eng. de circuitos**
- **Philip Foy –técnico**
- **Thomas Griffith -técnico**

O PRIMEIRO INTERESSE DE BARDEEN;

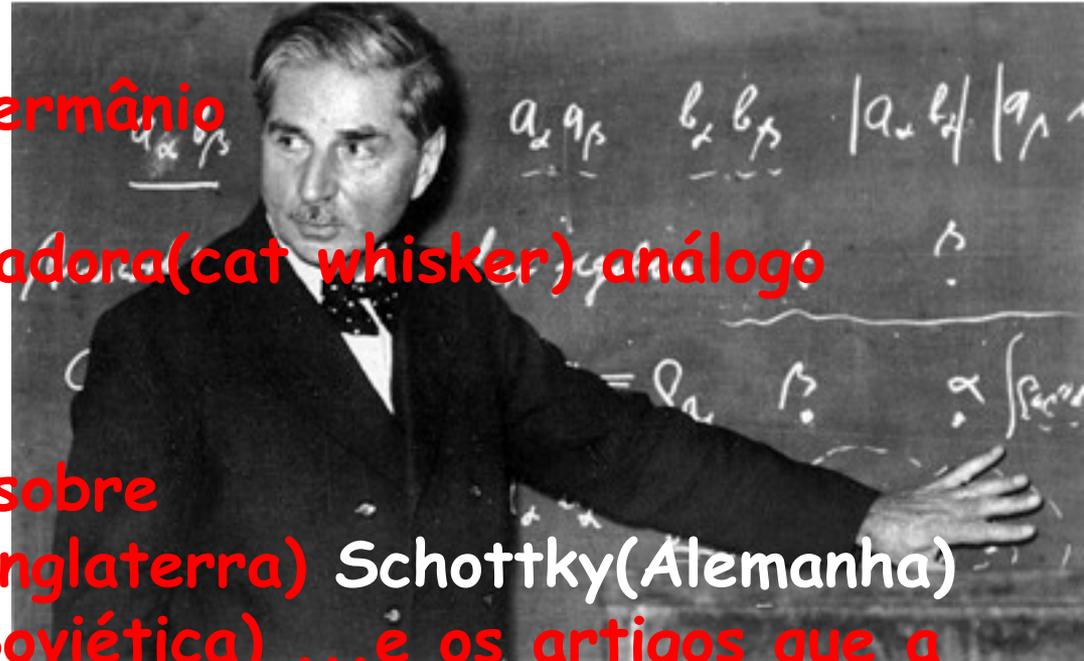
- o que acontece em uma interface metal-semicondutor e semicondutor-semicondutor.

- Foco - Silício e Germânio

- Interface retificadora (cat whisker) análogo diodo de tubo

- Releu os artigos sobre retificador: Mott (Inglaterra) Schottky (Alemanha) e Davydov (União Soviética) ... e os artigos que a Bell tinha sobre retificadores de Hans Bethe e sobre Si de Seitz.

` Agora eu sei o que voce fez durante a guerra
` (Bardeen falou para Seitz)

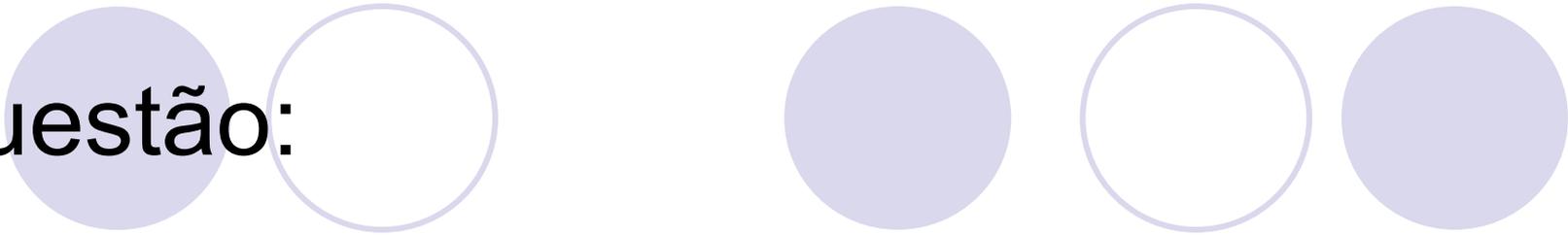


INÍCIO DO TRANSISTOR: 22/OUTUBRO/1945

- Shockley solicita a Bardeen para dar uma olhada em suas notas sobre efeito de campo para amplificar. Um campo elétrico aplicado perpendicularmente a um filme de Si. Ele achava poder causar uma troca substancial de carga disponível na superfície. O campo poderia fazer o papel da grade...
- Bardeen depois de ler o artigo de Igor Tamn... Viu que muitos elétrons eram armadilhados ...Propõe experimento a temperatura menores...

(Igor Tamn-Nobel 1958)





Questão:

- Se adicionando uma grade no tubo-diodo transforma em um tubo-triôdo capaz de amplificar um sinal. Poderia o análogo, diodo semicondutor, transformar-se em um amplificador ?
 - Brattain e Shockley vinham pensando nessa questão há muitos anos

Uma busca antiga...

- Mott relata em sua autobiografia que seu pai, Charles Mott, tentava observar o efeito juntamente com J.J. Thomson no Cavendish Lab. entre 1902-1904 logo depois de Thomson ter descoberto o elétron (1897). O experimento falhava porque tentavam modular a corrente em um metal, onde a concentração de elétrons é muito alta...

Viagem pela Europa com Shockley (junho de 1947)

- **Inglaterra—Bristol** ,conferência onde Shockley estava interessado em discordâncias.
- **Holanda** –visita várias universidades Delft,Amsterdam,Eindhoven...Bardeen estava interessado em supercondutividade.
- Londres—**Leeds** visitaram Stoner para discutir magnetismo.
- **Cambridge**– Shoenberg (e seu estudante Brian Pippard) que escreveu um dos textos favoritos de Bardeen.Também discutiu com Heinz London.
- **Paris**—Néel conversar sobre experimentos em Magnetismo(`ele teve uma atitude pouco razoável...quando na França, falem francês` (Bardeen)
- Suíça-**Zurique**-visita Wolfgang Pauli

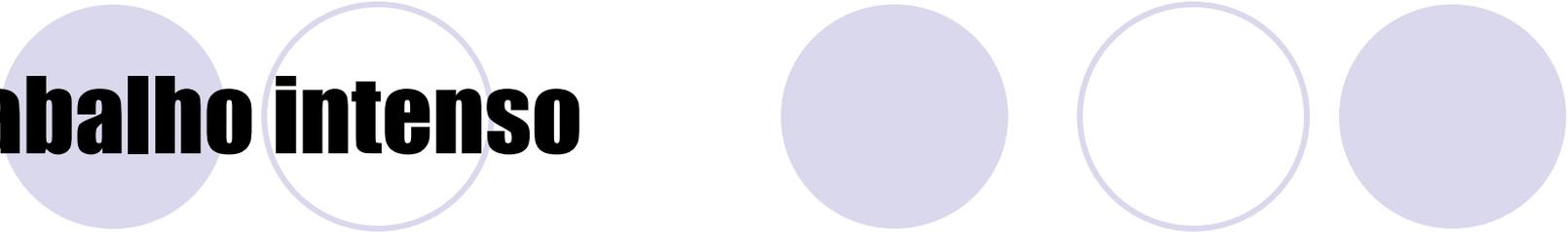
Carta para Jane

- `` aprendi muito durante essa viagem, obtive informações importantes que podem ser úteis no Lab. **Se isso é o suficiente para pagar esta viagem é difícil de julgar.** Foi um trabalho duro, cansativo, mas foi uma grande experiência .Na próxima semana estarei em casa e feliz de estar aí ``John

Novembro 1947...I`m a lazy physicist(Brattain)

- Gôtas de Água...Bardeen e Gibney observaram que a água formava uma camada positiva de um lado da superfície e negativa de outro...
- **Nesse período Shockley começa a se comportar de forma estranha...**
- E Bardeen, Brattain e Gibney trabalhavam intensamente em novos desenhos de circuito

Trabalho intenso



- Bardeen gostava de acompanhar Brattain no laboratório (ver sua habilidade)
- Fazia os projetos e depois Brattain e Gibney montavam o experimento.
- A proposta de 21/ Novembro. **A geometria era essencialmente a mesma...**

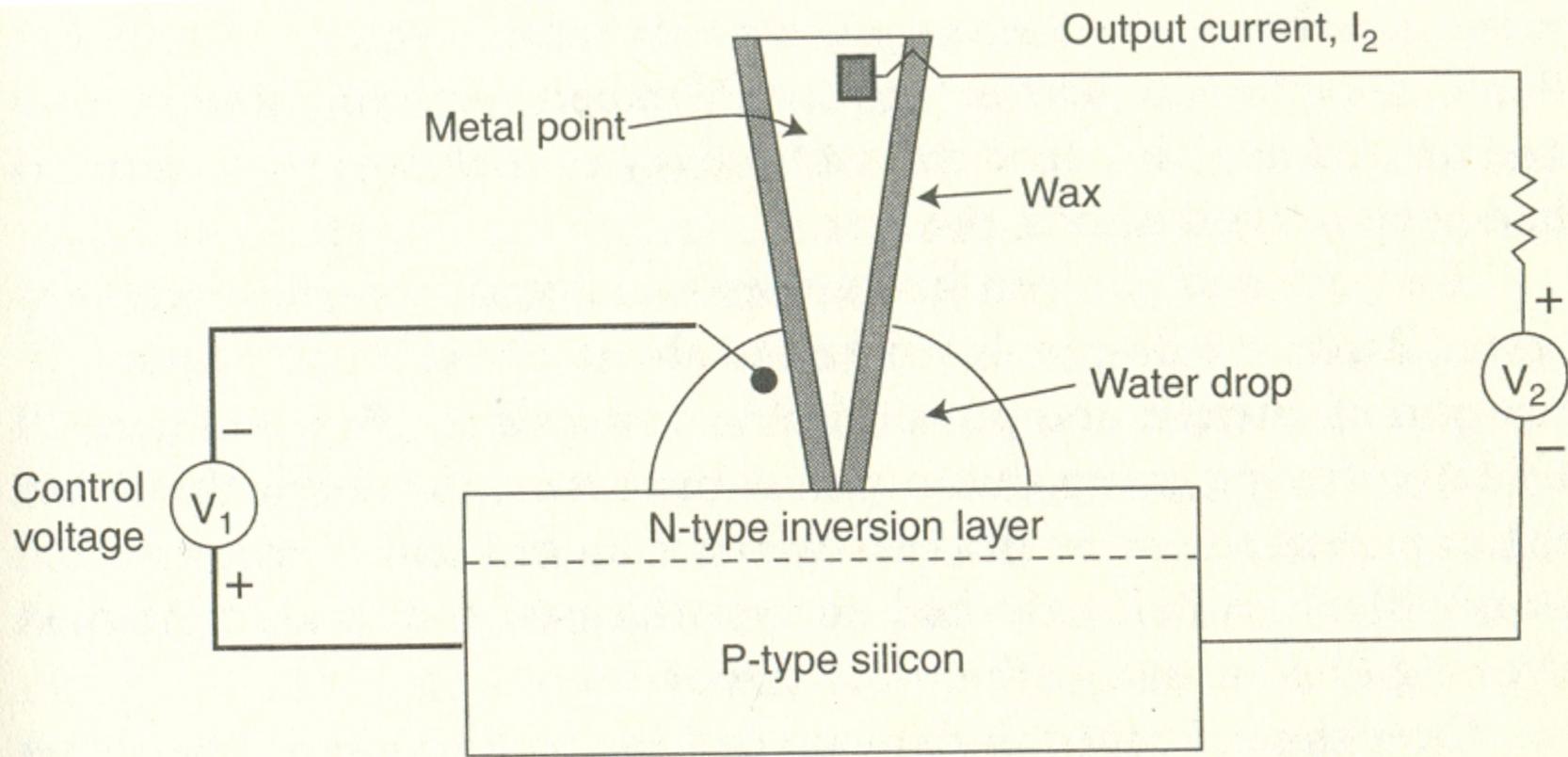


FIGURE 8-3 Bardeen's proposed field effect amplifier, November 21, 1947.

Segunda proposta 11/Dezembro/1947

- **Bardeen e Brattain entendiam completamente o comportamento dos buracos nos experimentos de dezembro/47? Sabiam que o fluxo de buracos não vinham somente da superfície mas tb do bulk? Bardeen havia estudado muito trabalho de Davidov.**
- **Trocar Si por Ge**
- **Muita cautela antes da invenção !**

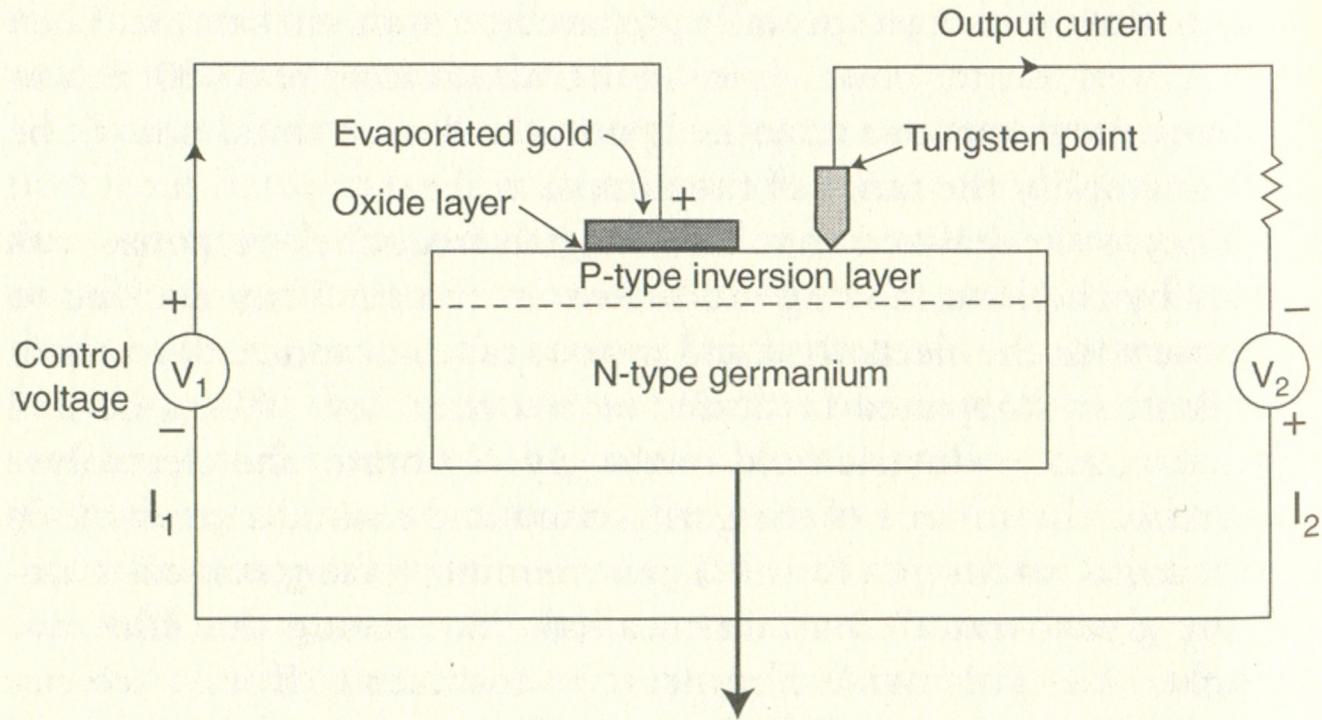
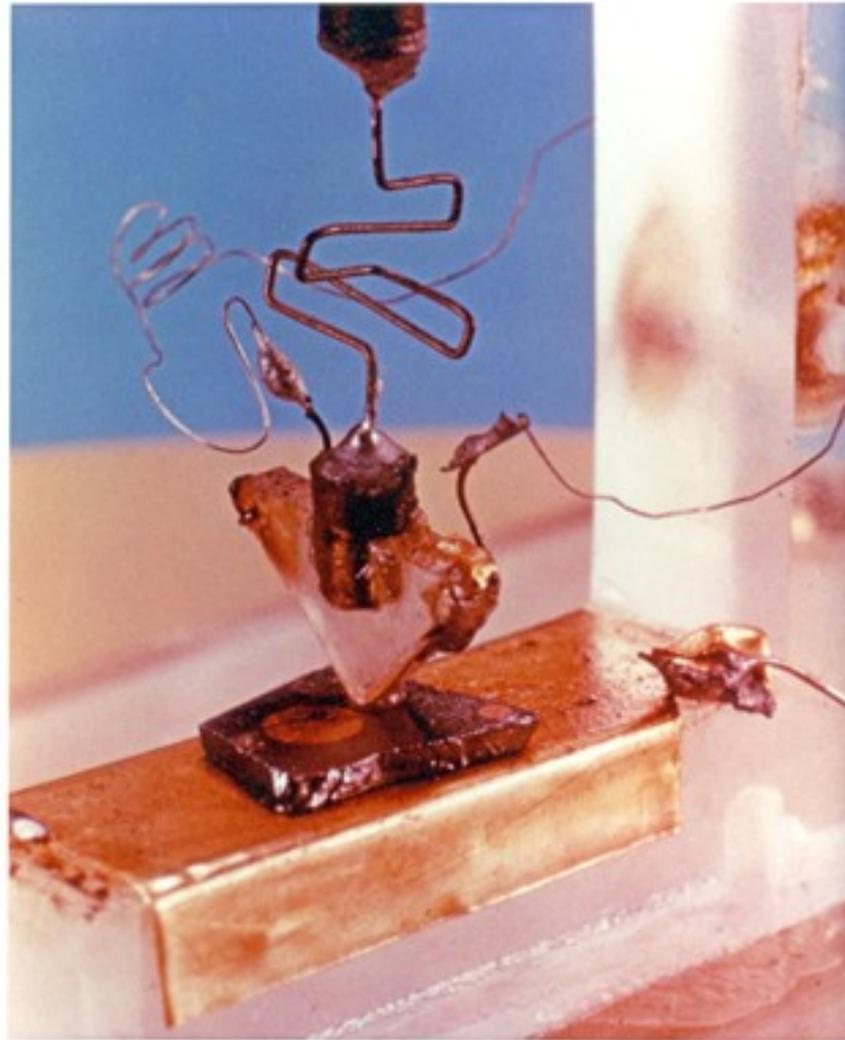
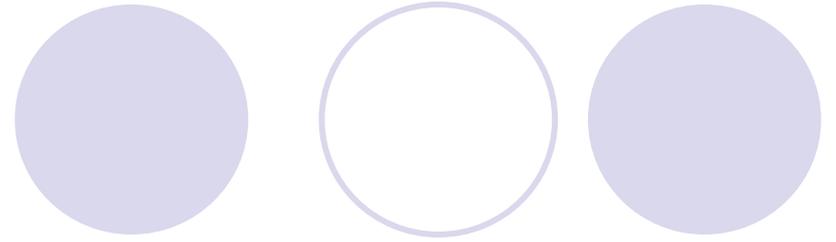
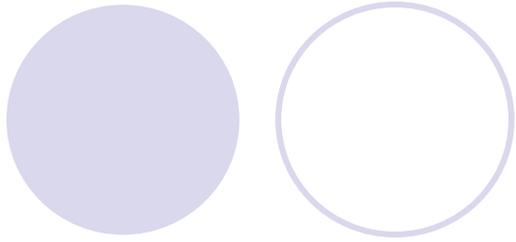


FIGURE 8-4 Bardeen's and Brattain's field effect model of December 11, 1947.

16/ dezembro/1947

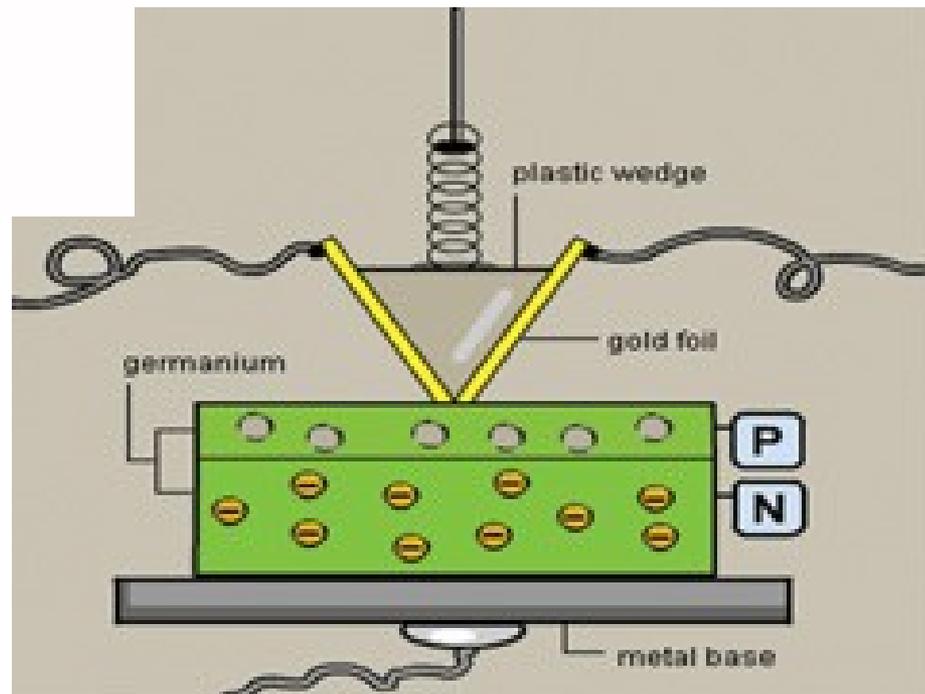
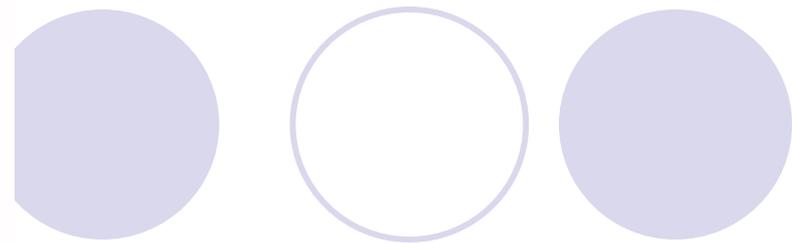
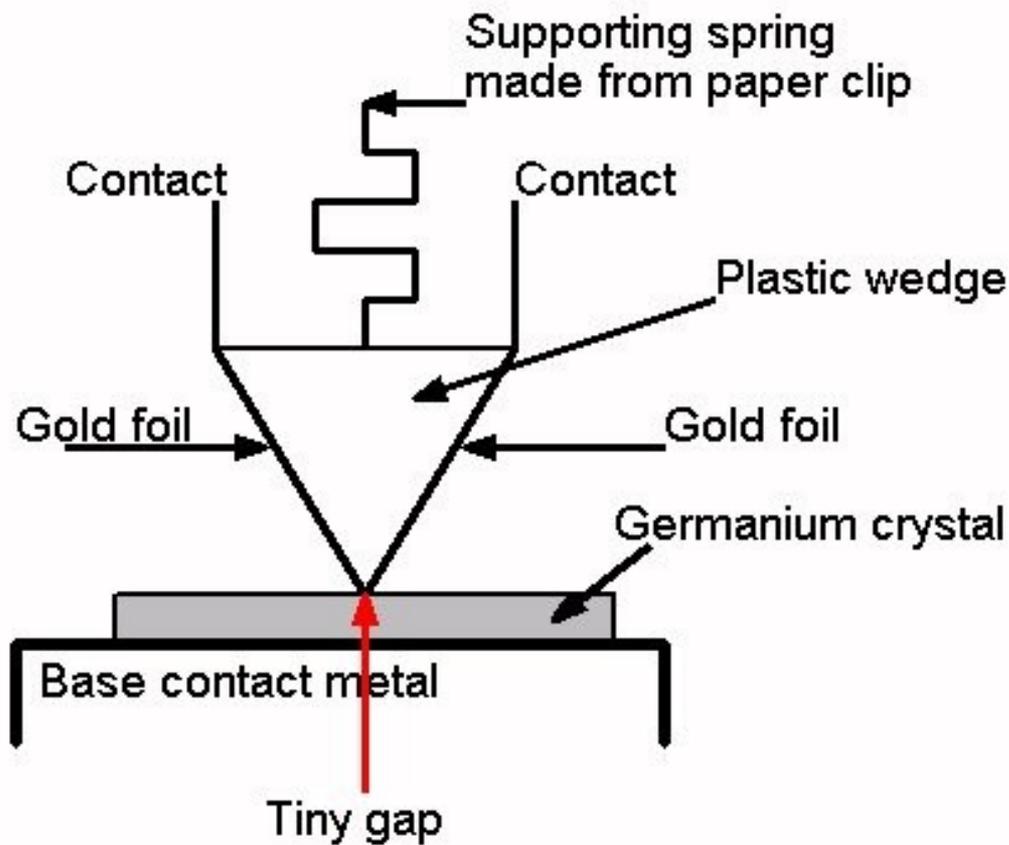




- Video_Transistor\Point Contact Transistor.
ivr

A MAIOR INVENÇÃO DO SÉCULO XX

- Na tarde de terça-feira 16/dezembro/1947
- Diálogo relatado pela esposa quando chegou em casa:
 - As crianças estão lá em cima !(Jane)
 - Descobrimos alguma importante hoje(Bardeen bem baixinho)
 - Isso é ótimo!(Jane)
- Ela só foi saber o que era muito tempo depois

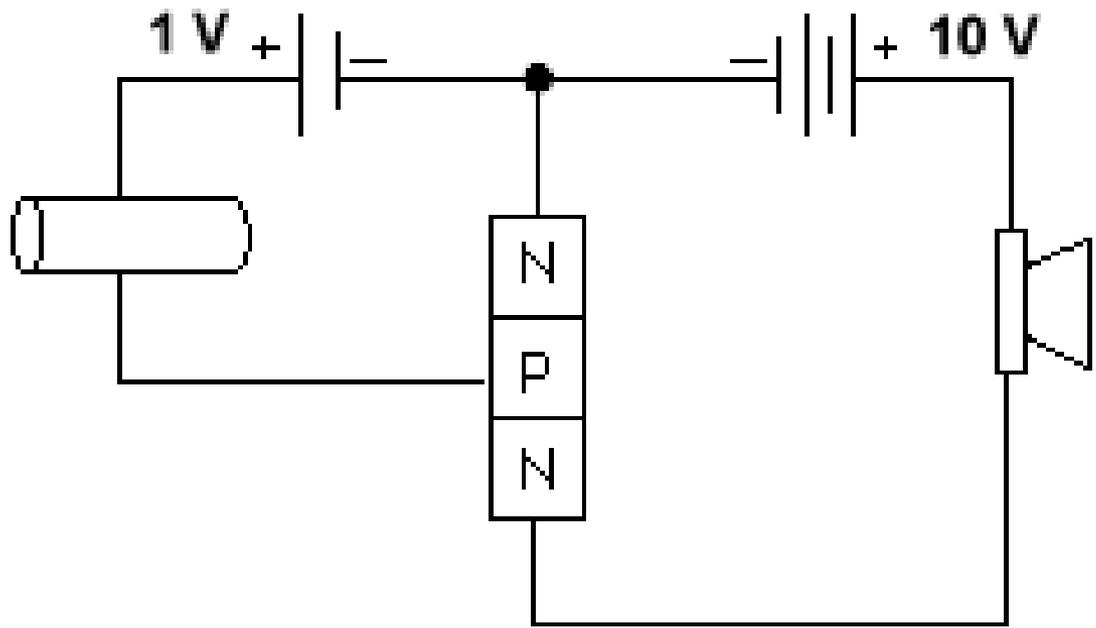


O relacionamento entre Shockley, Bardeen e Brattain

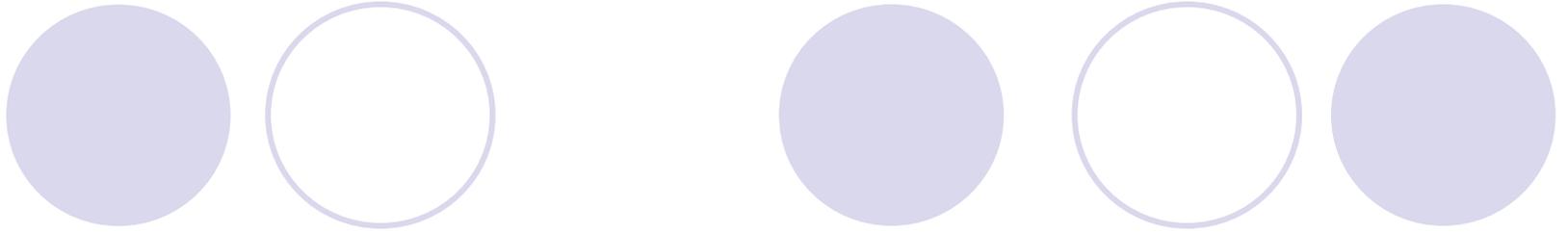
- Shockley ficou transtornado em saber que eles haviam descoberto algo importante-revolucionário e ele não participou!
- Shockley queria a patente de efeito de campo...**mas**

O relacionamento entre Shockley, Bardeen e Brattain

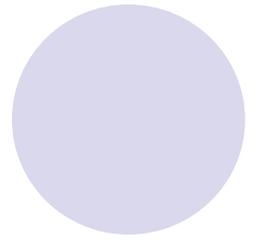
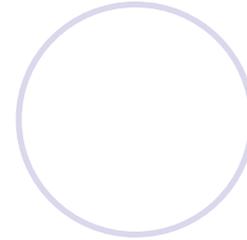
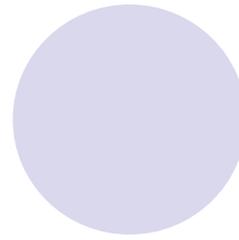
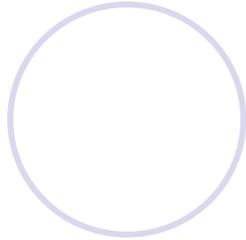
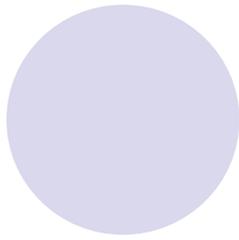
- Shockley ficou transtornado em saber que eles haviam descoberto algo importante-revolucionário e ele não participou!
- Shockley queria a patente de efeito de campo...mas essa idéia já havia sido patenteada 1930 por inventor polonês-americano Julius Lilienfeld
- Shockley em 18 de fevereiro/48 veio com o transistor n-p-n bipolar !



BIPOLAR TRANSISTOR



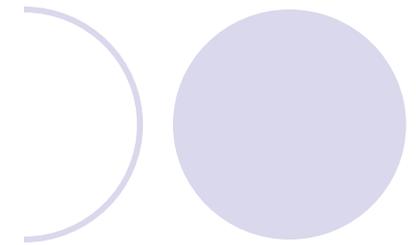
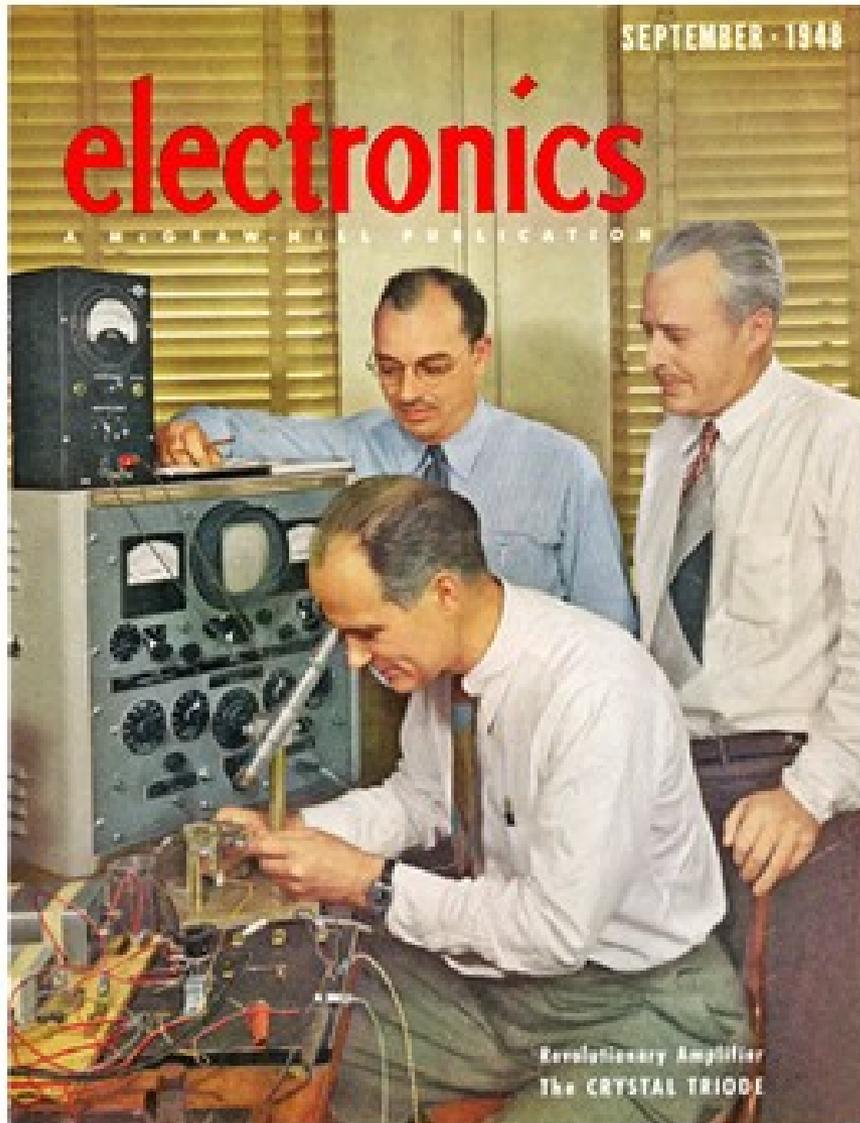
- **A substituição da válvula pelo transistor aconteceu muito lentamente...na década de 50 ainda a válvula prevalecia.O primeiro computador puramente solid-state foi o TRIDAC construído pela Bell em 1954 para US Air Force**



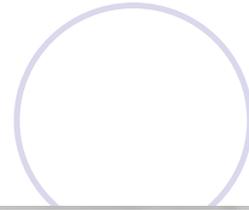
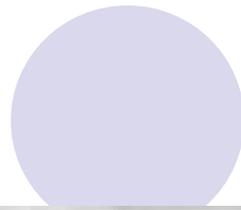
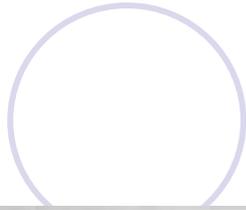
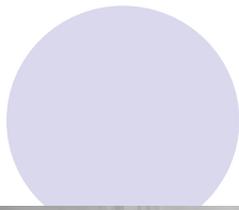
- Enviaram o artigo para o PR, depois pediram para o editor esperar autorização da Bell(material classificado).
- A invenção foi comunicada ao público em 30 de junho de 1948.
- Que nome colocar?

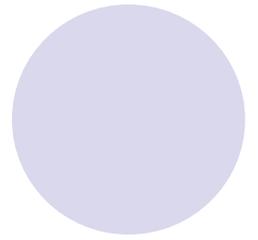
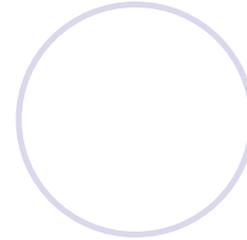
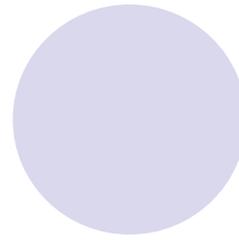
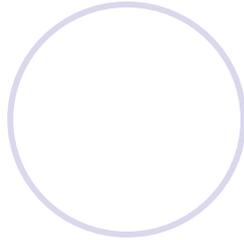
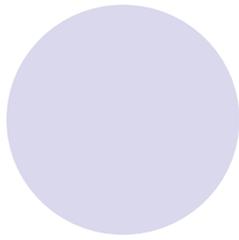
T-R-A-N-S-I-S-T-O-R

- **Porque é um resistor, transferindo e amplificando sinais....(John Pierce)**
- **`um dispositivo chamado de transistor ,que tem várias aplicações, como faz a válvula, foi inventada na Bell `(Times)**
- **... Engenheiros acreditam que este dispositivo irá revolucionar a indústria da eletrônica `(New York Herald Tribune)**



Setembro de 1948





- `Shockley desejava um reconhecimento que era o mais brilhante da Bell...` (Herring)
- tirou Bardeen e Brattain da pesquisa em junções de semicondutores.
- Recebeu muitas ofertas. Oak Ridge...
- **`o sentimento anti-intelectual cresce em qualquer serviço do governo exercido por professor ou cientista ,é um trabalho de risco...a intolerância liderada pelo senador McCarthy. Espero que não caminhemos para o fascismo` (Jane)**
- O clima na Bell piorava e nesse tempo fez alguns trabalhos com Herring sobre ligas...

Início de 1950 Bardeen deixa de trabalhar nos problemas de Shockley

- `Vou estudar supercondutividade, desde 1941 que não penso no problema. Pegou suas notas antigas e...`
- ***‘Serin came to me very excited’***
(Bardeen) Estudando isótopos de Hg verificou o efeito isotópico. No dia seguinte Bardeen falou que interação elétron-fonon são importantes... Deve ser incluídos no cálculo da energia livre dos elétrons.

O velho amigo Seitz

- ``estou convencido que eu desejo voltar a vida acadêmica. Qual a situação de trabalho lá ?``
- ...dez dias depois...28/ABRIL/1951 aceita a proposta .
- Fisk e Kelly tentam mudar a decisão de Bardeen.
- June 1951 University of Illinois (Champaign-Urbana)
- Antes ministra um curso em Wisconsin cujo livro era Eléctrons and Holes – Shockley.
- que tinha uma dedicatória. **``Para John Bardeen, Aquele que fez este livro ser necessário``** Bill Shockley dez.50



Junho /1951 Urbana-Illinois

Curso sobre semicondutores: Elétrons and Holes



AULAS DE SEMICONDUTORES

- Quando desenhava no quadro uma barreira metal-semicondutor, ele soltava um pequeno sorriso dizendo ` **Se Schottky tivesse olhado o que o buracos estavam fazendo ,o transistor teria sido inventado antes.** `
- Trabalhando na Siemens em 1938, Schottky explicou a retificação...também Mott...
- No departamento de Engenharia Elétrica continuava trabalhando com semicondutores Holonyak e Sirrine foram seus primeiros estudantes de pós.

Holonyak e Schrieffer

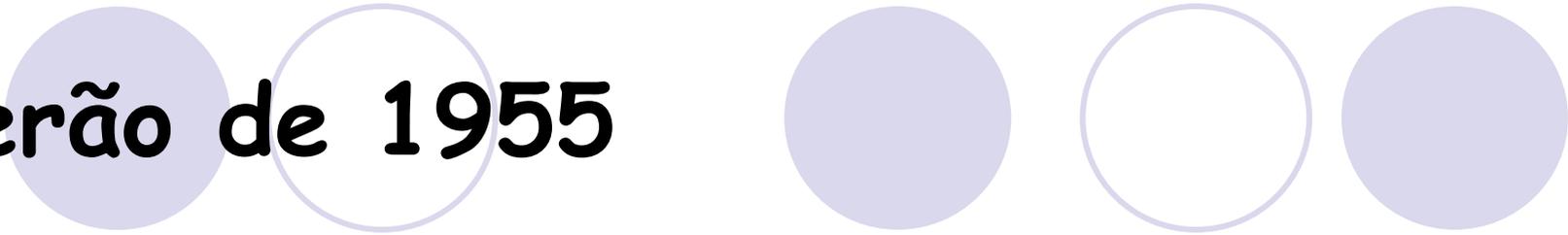


- ``Voces tem que escolher qual o assunto de tese.Tenho duas opções 1) Semicondutor 2)Supercondutividade
- **Semicondutor** é garantido termos resultado se trabalharmos duro!
- **Supercondutividade** pode levá-lo a um trabalho fantástico,mas tem o risco de não levar a nada``

Holonnyak terminou a tese em semicondutor

- J.R. Schrieffer veio do MIT chegou no final de 1953 em Urbana, escreveu o trabalho final da graduação sob orientação de Slater sobre estrutura de multipletos de MT. Ele não estava feliz em trabalhar com Slater...e ficou feliz quando recebeu um convite da Universidade de Illinois convidando-o a trabalhar com Bardeen.

Verão de 1955



- Depois de trabalhar com Bardeen por 18 meses , fazendo curso e frequentando o laboratório de semicondutor...Schrieffer perguntou sobre o tema da tese.Bardeen abriu uma gaveta com uma lista.O primeiro assunto **Porque um metal com impurezas magnética apresenta um mínimo na resistividade...(solved 1960 - Kondo)**

Why don't you think about it ?

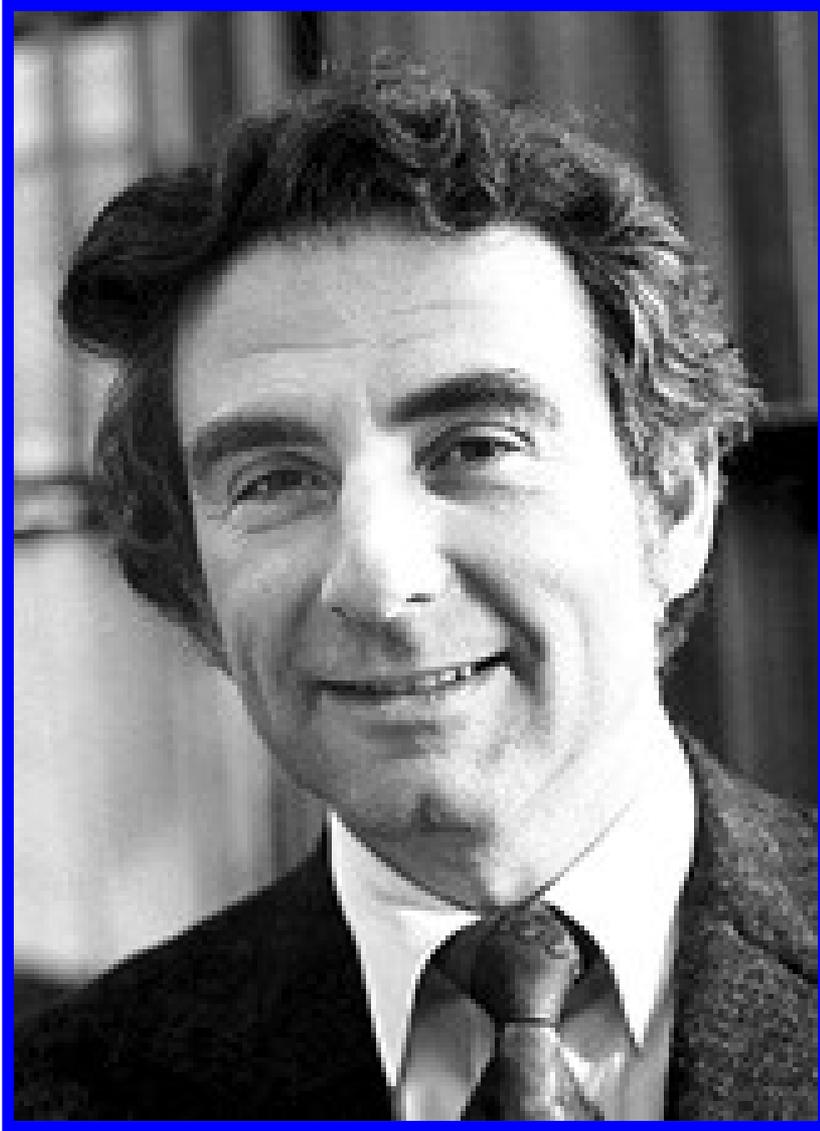
- Supercondutividade ! Era um risco !!!
- A maioria dos físicos famosos tinham trabalhado no problema e ...falharam..
- **`Qual sua idade?** (perguntou FrancisLow)
- **`24 !** (respondeu Schriefer)
- **`Bem, voce pode perder um ano da sua vida,para ver o que vai dar`** (Low)
- **O.K fine !!!**

-**Leon Cooper** estará unindo-se ao grupo. é um jovem teórico da Universidade de Columbia, com formação em teoria de campo e foi orientado por James Rainwater. E Pines deverá sair do grupo e irá para Princeton .

-**Bardeen** tinha telefonado para **Ning Yang** professor do IA de Princeton, solicitando uma recomendação de alguém que tivesse grande familiaridade com teoria de campo. Foi recomendado o pós-doc **Cooper**.

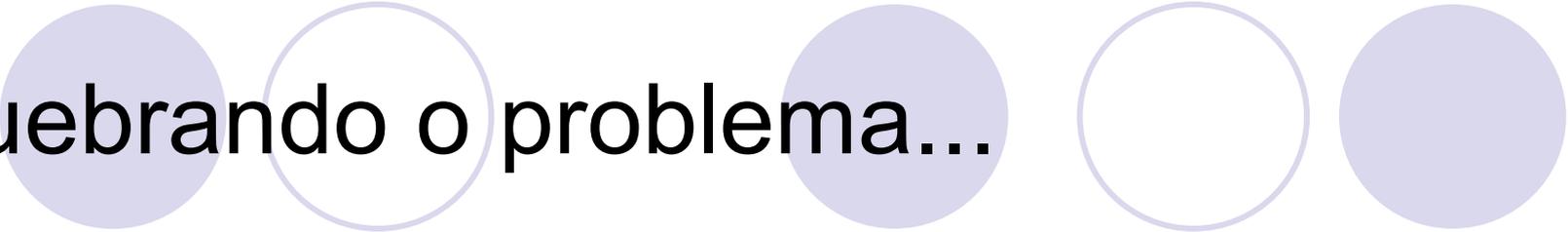
SEMINÁRIOS DE MANY- BODY

(Chen N. Yang Nobel 1957)



**Eu não sei nada de
supercondutividade!**

Leon Cooper



Quebrando o problema...

- Schrieffer estuda os trabalhos de Bruckner...
- Cooper... trabalhos de Bohm-Pines e Bardeen-Pines
- ``Institute for Retarded Study``
- Cooper daria seminários sobre many-body

Pines

A Collective Description of Electron Interaction in Metals: 1952-54

*In Urbana, I continued to work by correspondence with David Bohm (Sao Paolo) on writing up my Ph.D. thesis work that established plasmons as the dominant long wavelength excitation in metals (and most other solids) and subsequently made it possible to justify the widespread use of the independent electron model and calculate the corrections to its electronic properties coming from the screened Coulomb interaction

*I then started work on extending that description to the coupled system of electrons and phonons with the goal of explaining how, in the face of a much larger Coulomb interaction--L.D. Landau--"you cannot repeal Coulomb's law"--it was their coupling to phonons that determined the superconducting transition temperature

*The "aha" moment with John Bardeen that led to our derivation of the interaction responsible for superconductivity

The 1954 Solvay Congress



*I reported on my work with Bohm, my justification of the independent electron model of metals, and my work with Bardeen in the opening talk at the Solvay Congress on "The Electron Theory of Metals"

*In the audience were Lawrence Bragg, Christian Moeller, Neville Mott, Lars Onsager, Wolfgang Pauli, John Van Vleck, Herbert Frohlich, Charlie Kittel, Bernd Matthias, Pierre Aigrain, C.J. Gorter, Ilya Prigogine, Brian Pippard, Jacques Friedel

*I began by noting that our results showed that Heisenberg's attempt to use the long range part of the Coulomb interaction to get superconductivity could not work, and that the interaction responsible for superconductivity was a combination of the direct screened Coulomb interaction and the screened electron-phonon induced interaction.

*Pauli's reaction—during and after my talk

O grupo trabalhava em harmonia

- **Cooper:** O que acontece se eu tenho um sistema altamente degenerado com interação atrativa? Ele examinou o caso mais simples dois elétrons fóra da superfície de Fermi...se dois elétrons apresentarem uma ...obtem-se um estado ligado com um gap separando-o do contínuo.(março/56)

Letters to the Editor

PUBLICATION of brief reports of important discoveries in physics may be secured by addressing them to this department. The closing date for this department is five weeks prior to the date of issue. No proof will be sent to the authors. The Board of Editors does not hold itself responsible for the opinions expressed by the correspondents. Communications should not exceed 600 words in length and should be submitted in duplicate.

Bound Electron Pairs in a Degenerate Fermi Gas*

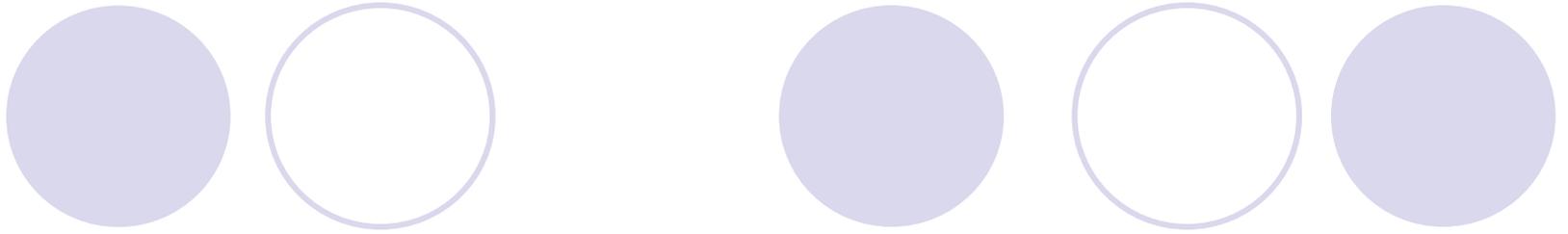
LEON N. COOPER

Physics Department, University of Illinois, Urbana, Illinois

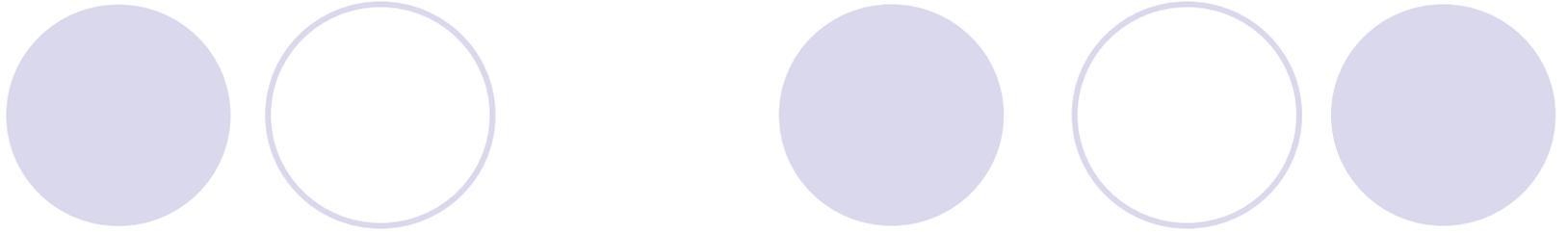
(Received September 21, 1956)

01/Novembro/1956

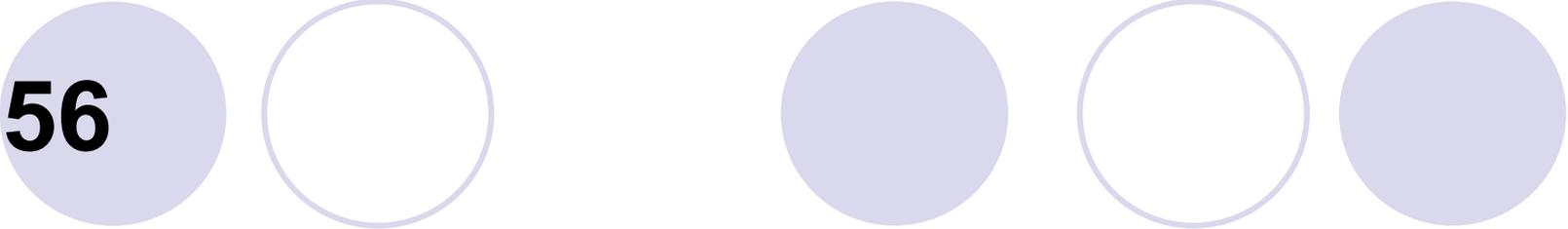
- ``Oi, eu gostaria de dizer que **ganhei o prêmio Nobel**`` (falou para Schrieffer).
- ``estava na cozinha fritando um ovo quando meus filhos assistiram na CBS...``
- Midia ...



- Eu não sei como dizer o quanto eu estou orgulhoso ...(Wigner)
- É uma grande satisfação pra mim...eu lembro que voce e o Brattian estudaram quântica comigo...(Van Vleck)
- **Muitas homenagens...mas não podiam parar com a supercondutividade...Feynman, estava nessa direção...Tinha dado uma conferência sobre superfluides e supercondutividade**



- Bardeen trabalhava dia e noite, mesmo no dia da viagem para Estocolmo.
- Schrieffer pergunta a Bardeen se ele gostaria de mudar o problema da tese, talvez ferromagnetismo ...
- **Espera mais um mês ou um mês e meio, talvez alguma coisa aconteça`**
(Bardeen)



1956

- **Mrs. Bardeen , do you have children ?
(Gustav VI Adolf).**
- **Yes, we do (Jane)**
- **And why didn't bring them?**
- **A Grande cerimônia 10/dezembro(morte de Alfred Nobel)...somente 175 convidados...invasão da Hungria**

Cooper e Schrieffer na APS-NY

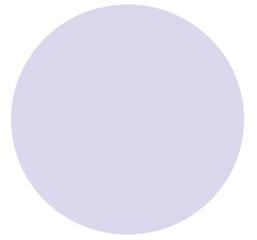
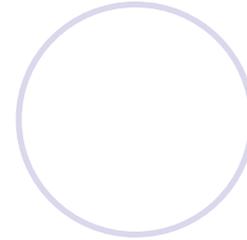
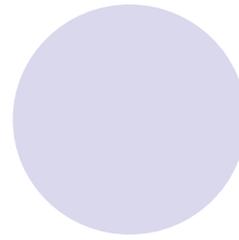
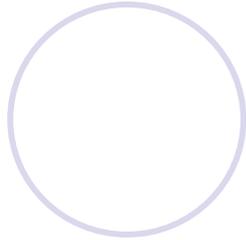
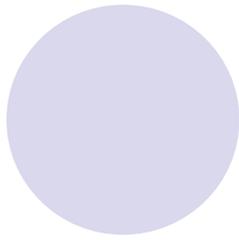
30/01 a 02/02/1957

- Schrieffer indo para a casa de um amigo amigo -quando atravessa o Rio Hudson

Cooper e Schrieffer na APS-NY

30/01 a 02/02/1957

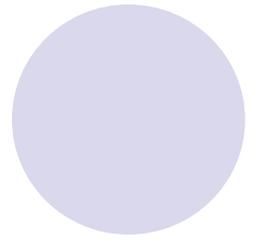
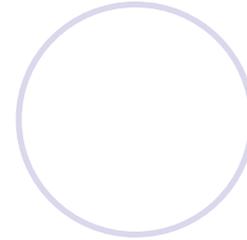
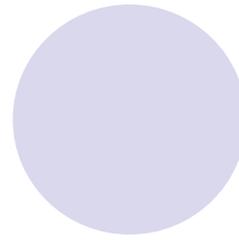
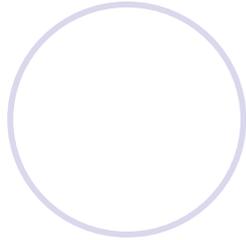
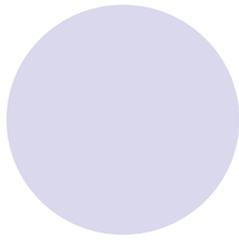
- Schrieffer indo para a casa de um amigo amigo -quando atravessa o Rio Hudson ele escreveu a função de onda do estado fundamental de um supercondutor!
- Na casa do amigo ``I solved the gap equation for the cutoff potential.It was just a few hours work ``



- Voltou no mm vôo que Cooper para Urbana-Champaign,
- `` This is marvelous, elegant... just take the pairs, put them together so they satisfy the Pauli principle .Let's go and talk to John in the morning`` (Cooper)

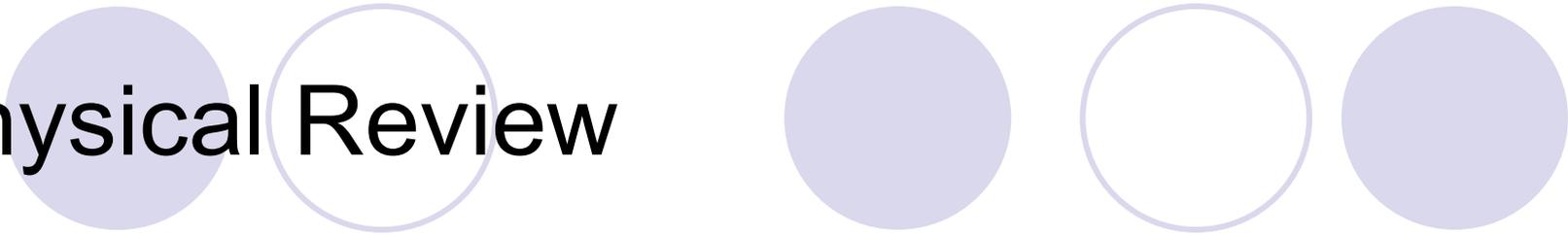
...rápido ...Feynman está trabalhando no problema .Vamos ganhar tempo...dividir

- **Schrieffer** :propriedades termodinâmicas
- **Cooper** :propriedades eletrodinâmicas
- E **eu** fico com transporte e propriedades de não equilíbrio
- `` foi o período de maior concentração , mais intenso e de trabalho frutífero .Foi a maior experiência de minha vida`` (Cooper)
- Ainda depois de 2 semanas não haviam derivado a transição de fase de segunda ordem...



- **1911 – A DESCOBERTA
SUPERCONDUTIVIDADE**

Physical Review



- 15/fevereiro enviam para o PR-letter to editor.
- ``Eu sei que você não gosta de receber carta mais este trabalho representa a maior contribuição no entendimento da supercondutividade`` (Bardeen para Goudsmit- editor)
- 18 de fevereiro é recebido

Microscopic Theory of Superconductivity*

J. BARDEEN, L. N. COOPER, AND J. R. SCHRIEFFER

Department of Physics, University of Illinois, Urbana, Illinois

(Received February 18, 1957)

February/18

PHYSICAL REVIEW

VOLUME 108, NUMBER 5

DECEMBER 1, 1957

Theory of Superconductivity*

J. BARDEEN, L. N. COOPER,[†] AND J. R. SCHRIEFFER[‡]

Department of Physics, University of Illinois, Urbana, Illinois

(Received July 8, 1957)

July/08

Newton Bernardes

PHYSICAL REVIEW

VOLUME 107, NUMBER 2

JULY 15, 1957

Theory of the Specific Heat of Superconductors Based on an Energy-Gap Model*

NEWTON BERNARDES†

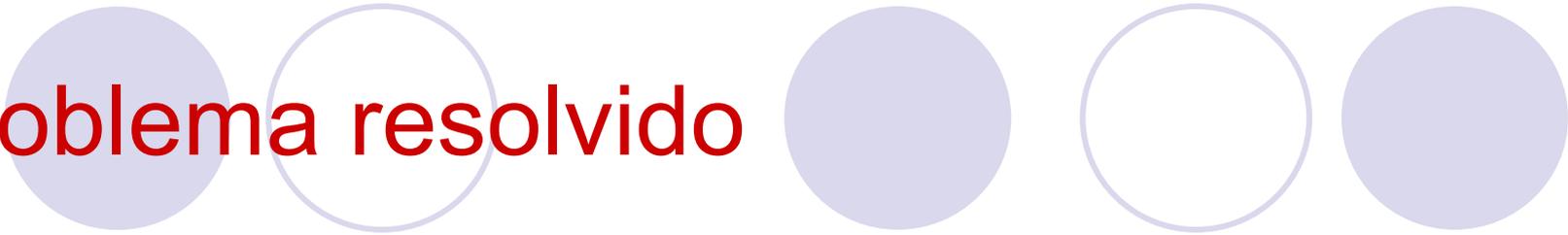
Department of Physics, University of Illinois, Urbana, Illinois

(Received March 28, 1957)

A two-fluid model of a superconductor is proposed, based on an approximation in which one-electron states within a range of the order of kT_c from the Fermi level are forbidden. It is assumed that the corresponding energy gap decreases with temperature and vanishes at the transition temperature; such an assumption is necessary in order to have a second-order transition. Assumptions are also made concerning the behavior of the electrons in a superconductor, and general formulas are developed involving two parameters which describe the approximate shape of the gap. Detailed calculations are presented for two different sets of values of these parameters, and our results for the electronic specific heat predict the general exponential dependence on temperature which agrees with recent experimental data for Sn and V.

APS –March meeting março/1957

- O NYtimes anuncia a teoria BCS
- Filadélfia 21-23/março Seitz telefona p/ o secretário da APS...Breakthrough...dois post-deadline um para Schrieffer e outro para Cooper...mas apresentou os dois.
- Bardeen deseja que os jovens obtivessem o crédito.



Problema resolvido

- **Muitos tentaram:**
- **F.Bloch**
- **N.Bohr**
- **L.Brillouin**
- **J.Frenkel**
- **W.Heisenberg**
- **R.de L. Kroning**
- **W.Pauli**
- **R.Feynman**
- **D.Bohm**
- **...A.Einstein**

Maio-agosto 1958 Schrieffer/Peierls

- Foi a Copenhagen falar sobre a teoria com Niels Bohr ...
- `` It just can't be true. I don't believe it .It's an interesting idea, but Nature isn't that simple`` (Bohr falou para Schrieffer).

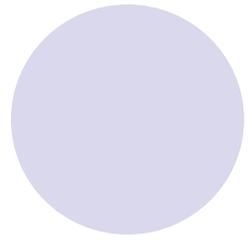
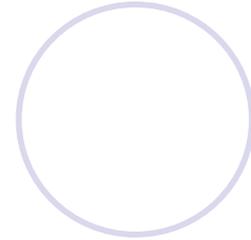
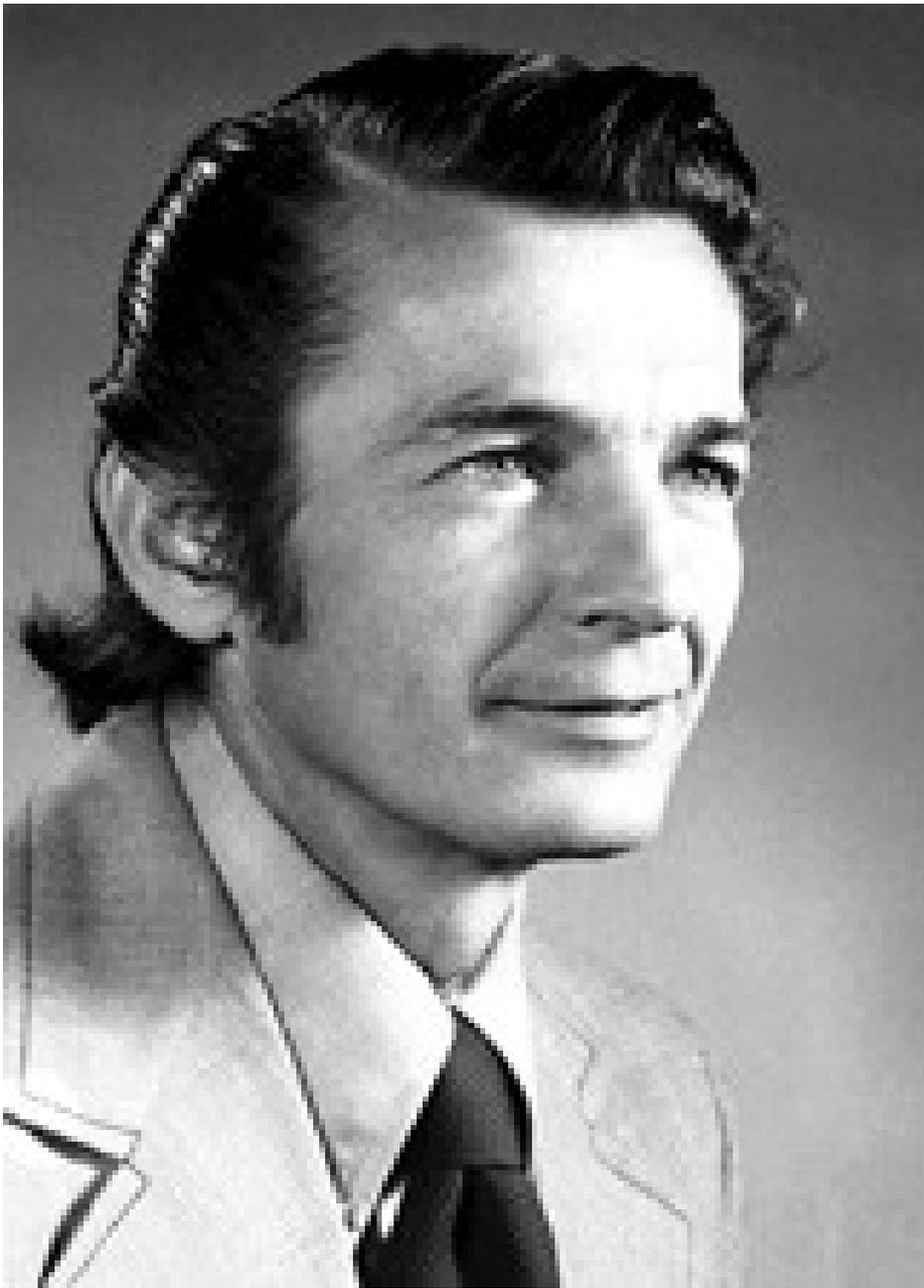
A decorative header consisting of five circles in a row. From left to right: a solid light purple circle, a white circle with a light purple outline, a solid light purple circle, a white circle with a light purple outline, and a solid light purple circle.

`1959-...Um time fantástico !

- Pines (retornou)
- Leo Kadanoff
- Gordon Baym

Pergunta de Einstein-março/1926

- “Uma questão de interesse é se uma junção de supercondutores também é um supercondutor” (Einstein)
- A resposta a essa questão veio 36 anos depois.



I. Giaever

Engenheiro mecânico Norueguês

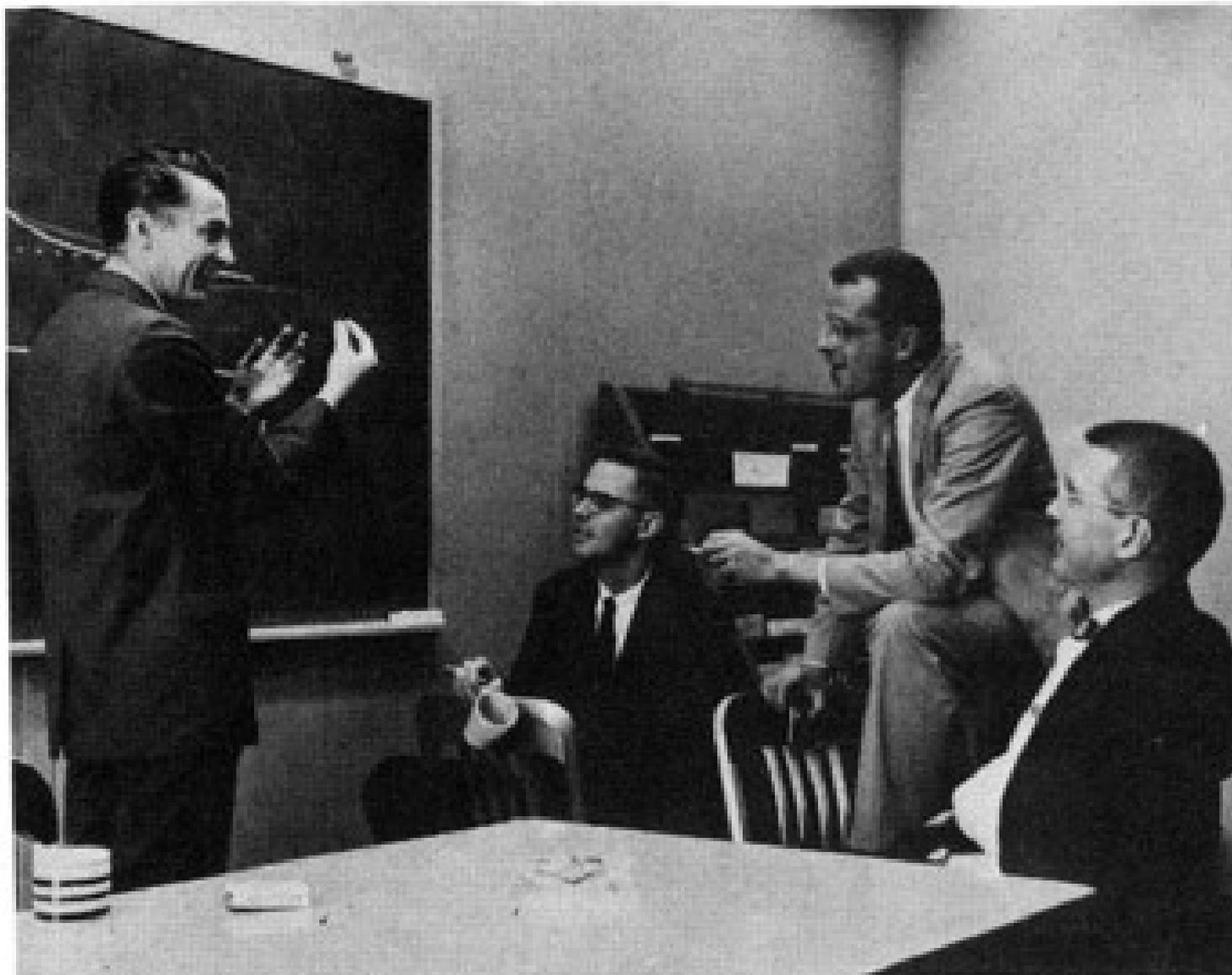
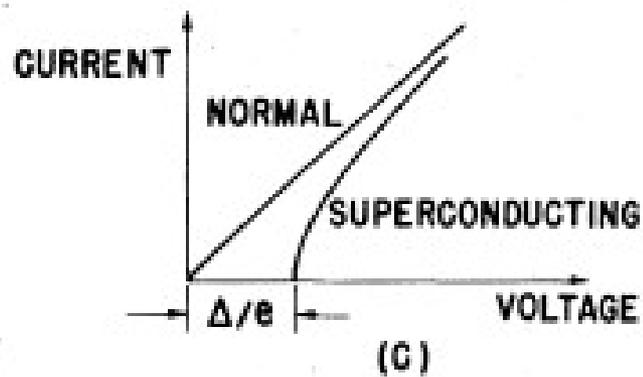
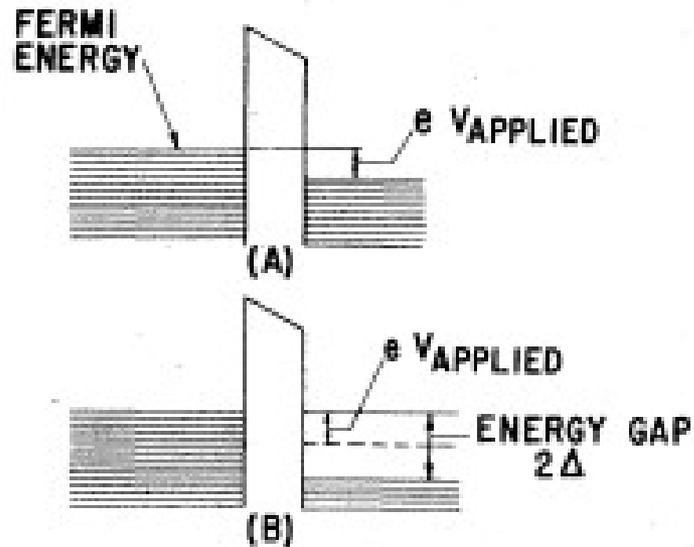


FIG. 9. Informal discussion over a cup of coffee. From left: Ivar Giaever, Walter Harrison, Charles Bean, and John Fisher.

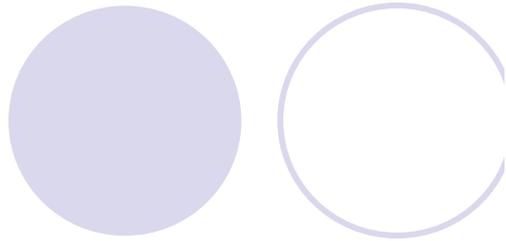


Brian Josephson

- 22 anos
- Estudante de pós de Pippard
- Fazia curso de many-body com P.W.Anderson em Cambridge (1961-62)
- **`` tudo na aula tinha que estar absolutamente certo. Se não tivesse ele vinha depois da aula me explicar. Foi uma experiência desconcertante.`` (P.W.Anderson)**



Brian Josephson



Josephson Effect

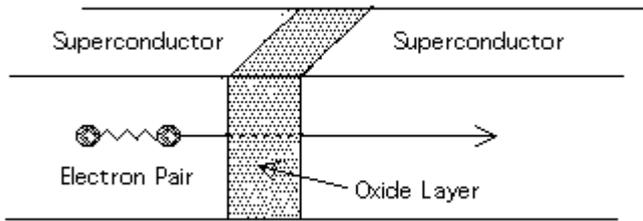


Fig. 13

Josephson Junction

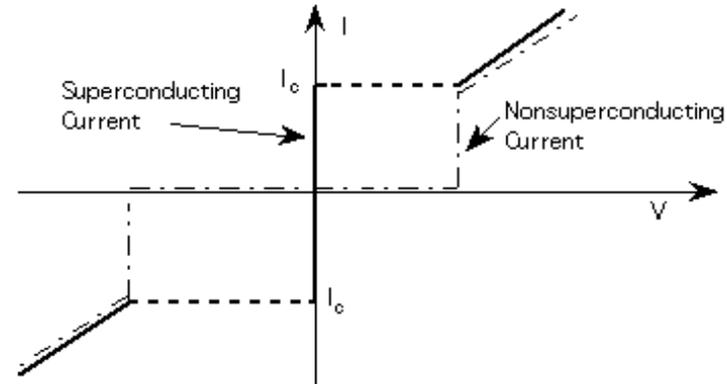


Fig. 14

Envia artigo para Physics Letters em 08 /junho/1962

Duas semanas depois Bardeen envia um artigo ao Physical Review

Letters ...desafiando a teoria de Josephson

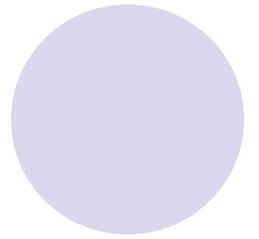
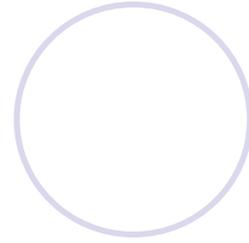
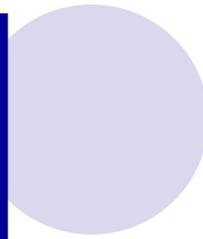
C.N. Yang --- Felix Bloch em 1962

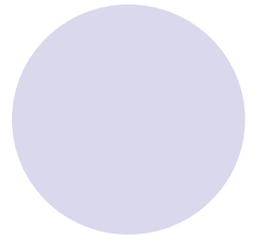
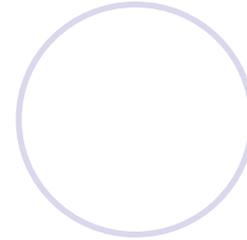
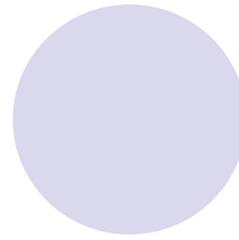
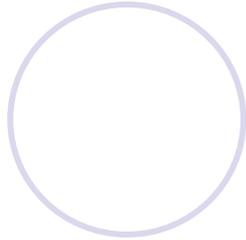
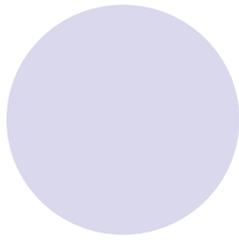
- `` Yang me falou que não entendia isso e me perguntou se eu entendia. E eu honestamente disse que também não entendia. Então fizemos um trato quem entendesse explicava para o outro. `` (F. Bloch)

THE NOBEL LAUREATE
VERSUS
THE GRADUATE STUDENT

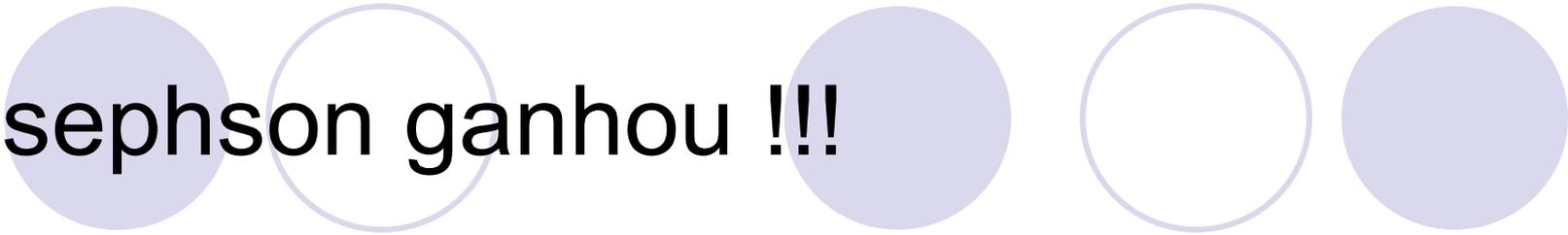


**8th Low Temperature Physics Conference
16-22/setembro/1962 Londres**



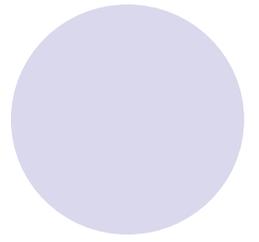
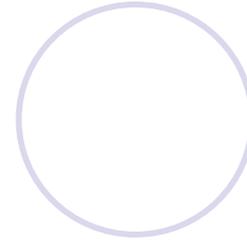
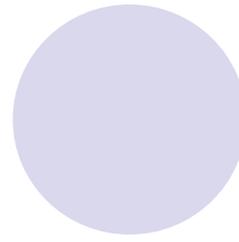
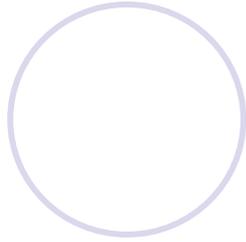
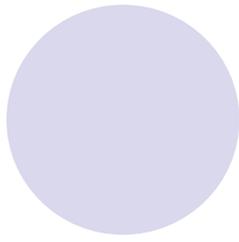


- **Antes do debate eu apresentei Bardeen ao Josephson. Quando Josephson começou a explicar a sua teoria Bardeen movimentava sua cabeça com uma reprovação. Acho que voce está errado, porque eu pensei bastante sobre o problema. Bardeen foi embora deixando Josephson muito ...**

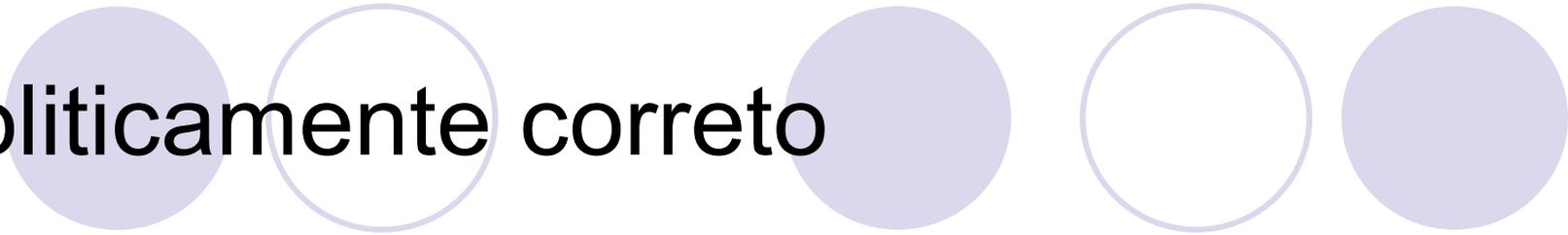


Josephson ganhou !!!

- **“Did you calculate it ?No? I did !”(J)**
- **Bardeen passou a mão no ombro de Josephson e retirou-se da sala.**
- **O erro de Bardeen foi ignorar a não-localidade apresentada por Gor'kov, e assumiu local a conexão entre o potencial e o par! (Josephson)**



- Anderson-Rowell Physical Review Lett. 2 meses depois...
- ``Sua evidência , particularmente sobre o efeito do campo magnético sobre o supercondutor é impressionante!
``(Bardeen p/ Anderson)
- Dois anos depois Josephson aceita um convite de pós-doc do Bardeen (1965-66)



Politicamente correto

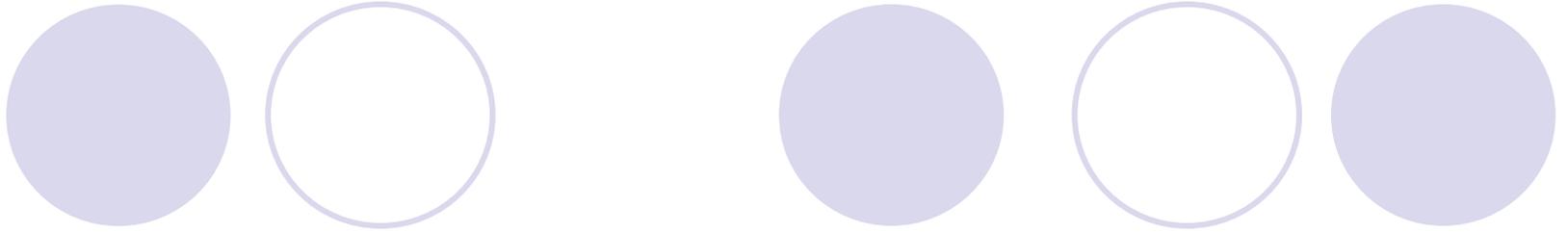
- Sugere para o comite do prêmio Nobel os nomes de Josephson ,Esaki e Giaever sobre tunelamento...
- **Gostaria de ver Cooper e Schrieffer com o Nobel.(Bardeen)**

Telefonema de um jornalista suéco

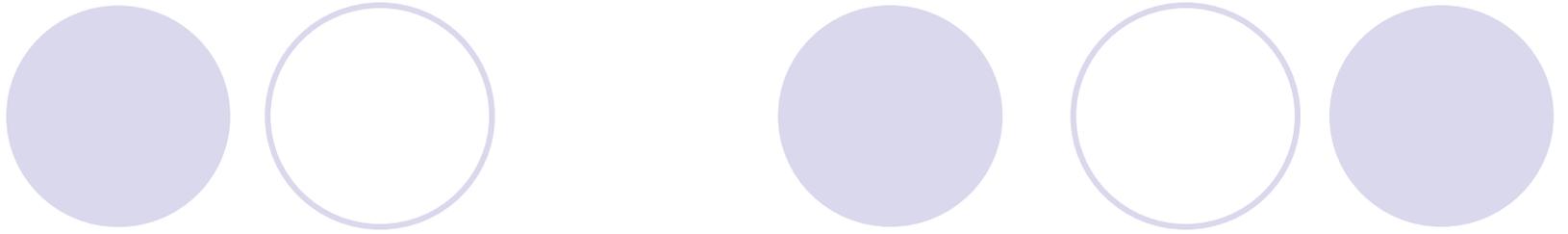
- **19/OUTUBRO DE 1972 .`I didn't quite believe him`...**
- **Segundo Nobel !!!!**







- TTF-TCNQ Alan Heeger
- Charge density waves and spin density waves...
- James Bray and David Allender terminam a tese em 1974 –seus últimos alunos antes de se aposentar.



Ions uniformly spaced

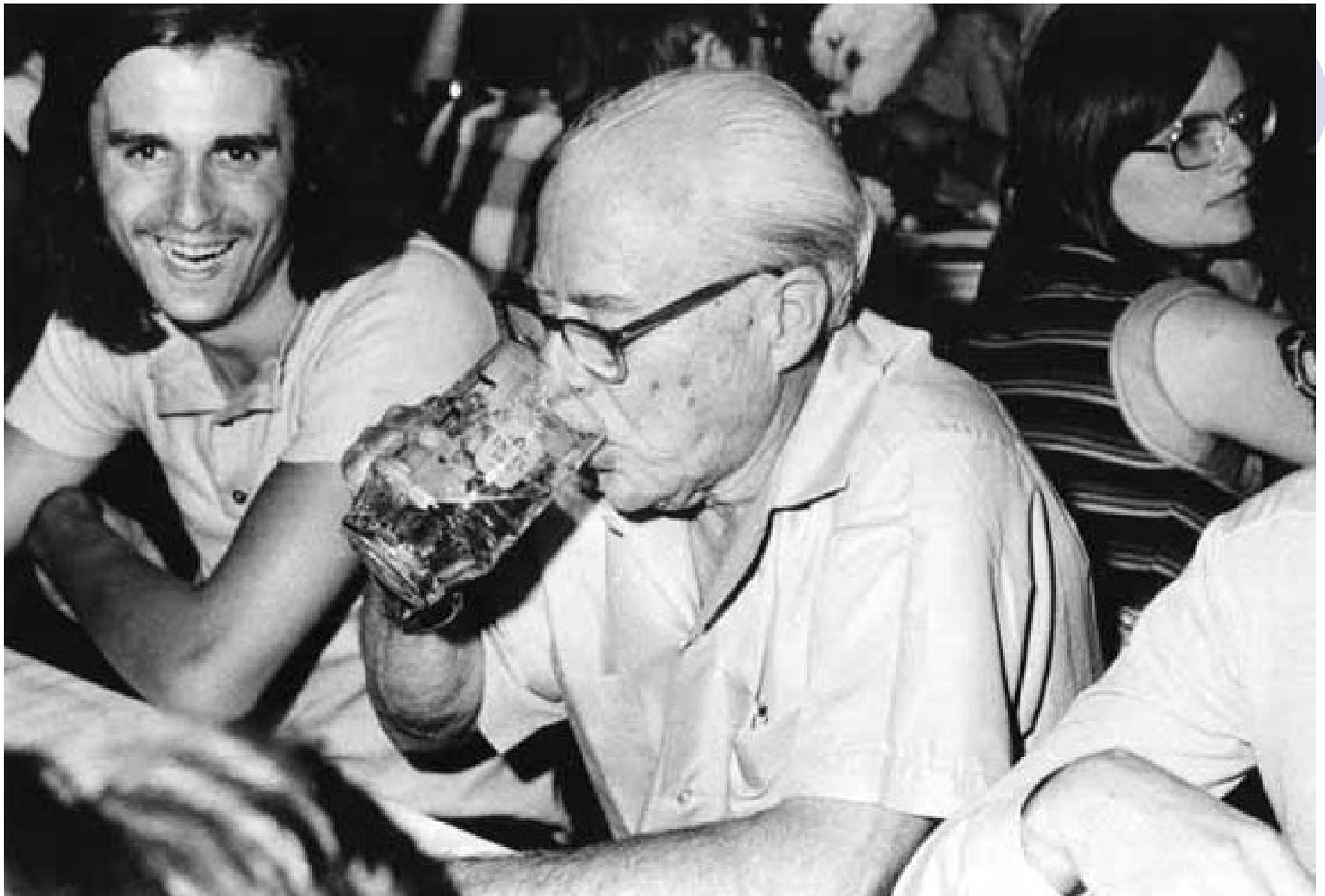


uniform electron density

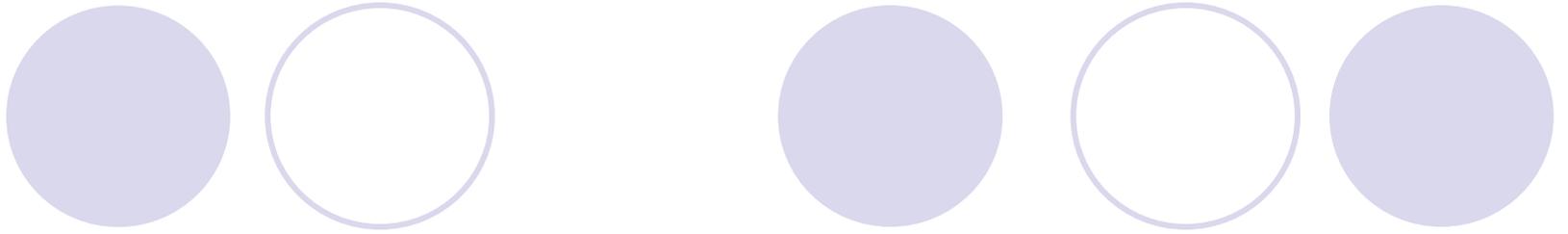
Ions develop static periodic distortion



electron density modulated (charge density wave)



Brattain morre 1987

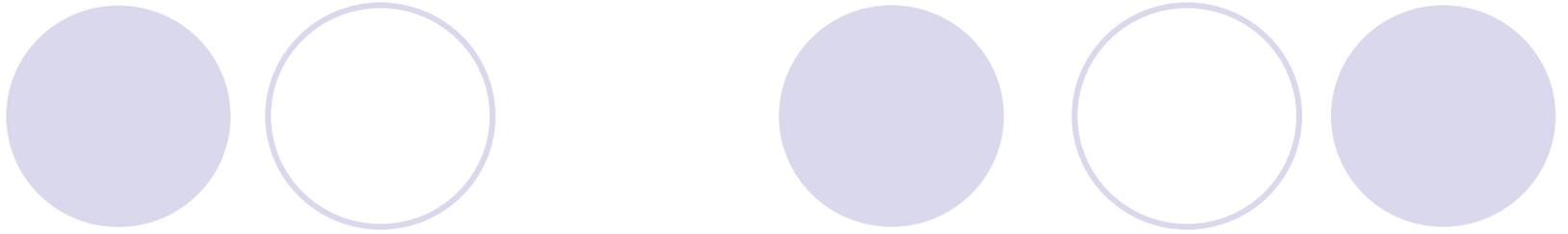


- Brattain morre(Alzheimer) 1987
- Shockley morre(câncer) 1989

- `Serei o próximo !

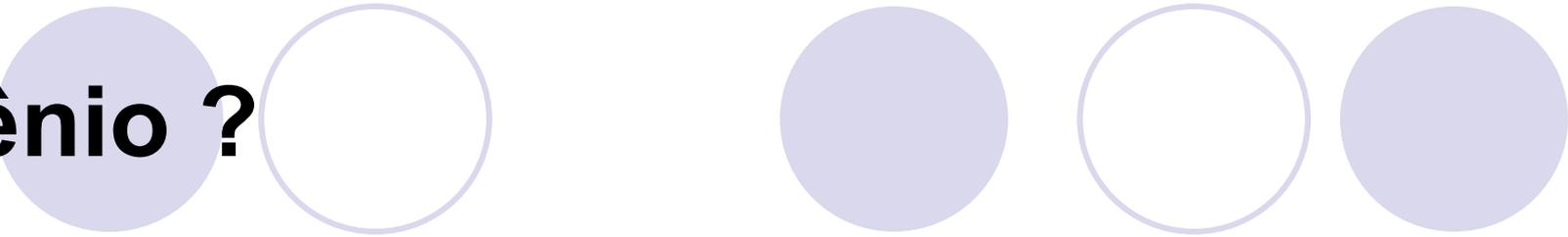
Último encontro com Seitz

- “Logo que terminou o almoço ,estava claro que João deseja falar comigo em seu escritório.Passamos muitas horas discutindo coisas do passado e ele começou a falar de sua saúde.Ele disse que estava colocando em ordem uns artigos porque sentia que logo iria perder a visão.Lembrando agora, está claro que ele queria dizer que era o nosso último encontro.E isso aconteceu...” (Seitz)



- Brattain morre(Alzheimer) 1987
- Shockley morre(câncer) 1989
- **Bardeen morre na manhã de janeiro/1991 às 8:45 –ataque cardíaco...**

Gênio ?



- O gênio científico não é tão fácil de apontar como o gênio artístico. Este vem de uma combinação de fatores, mas não é só isso, como: intuição, imaginação, visão ampla, ter iniciativa, habilidade para desafiar o convencional... Talvez o mais importante do gênio científico dependa do instinto para invenção, saber focar o problema do momento e persegui-lo ...

David Pines

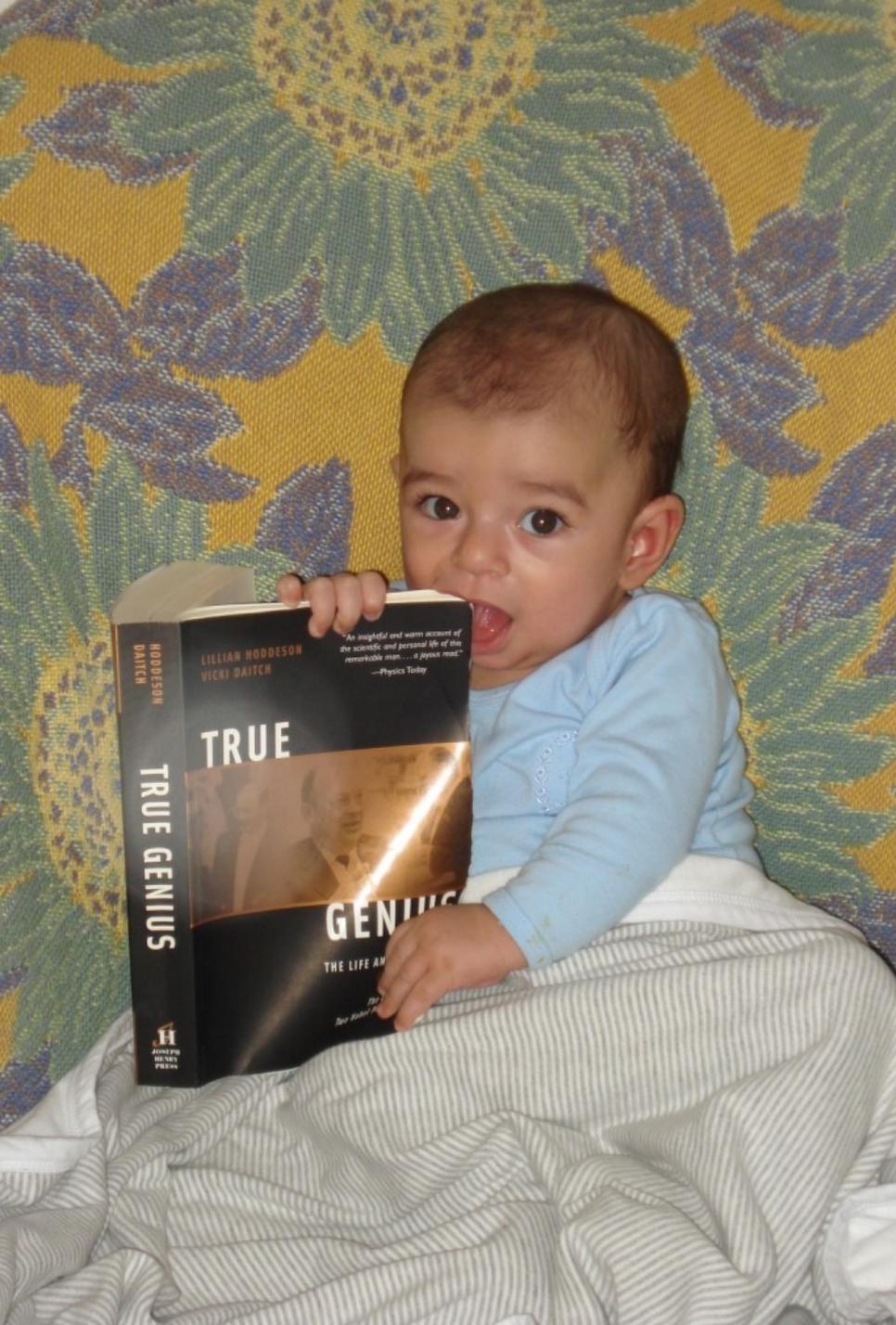
RÉPUBLIQUE DE GUINÉE
OFFICE DE LA POSTE GUINÉENNE

750F



1972

JOHN BARDEEN



MATHEUS FAZZIO

8 meses