



**Instituto de Física
da Universidade de São Paulo**



TÓPICOS DE HISTÓRIA DE FÍSICA MODERNA

PROFESSOR: LUIZ CARLOS MENESES

DOS RAIOS X AOS QUARKS, DE EMILIO SEGRÉ

**O MARAVILHOSO ANO DE 1932: NÊUTRON, PÓSITRON,
DEUTÉRIO E OUTRAS DESCOBERTAS (CAPÍTULO IX)**

ENRICO FERMI E A ENERGIA NUCLEAR (CAPÍTULO X)

ALUNOS: CARLOS, SERGIO, MAURÍCIO E WELTON

PARTE 1

A BOMBA ATÔMICA



O PROJETO MANHATTAN

Albert Einstein
Old Grove Rd.
Massau Point
Peconic, Long Island
August 2nd, 1939

F.D. Roosevelt,
President of the United States,
White House
Washington, D.C.

Sir:

Some recent work by E.Fermi
ted to me in manuscript, lead
y be turned into a new and in
e future. Certain aspects of
l for watchfulness and, if ne
Administration. I believe th
r attention the following fac
In the course of the last fo
n the work of Joliot in Franc
a - that it may become possi
large mass of uranium, by whic
of new radium-like elements v
certain that this could be a
This new phenomenon would al
is conceivable - though much
bs of a new type may thus be
carried by boat and exploded
le port together with some of the surrounding territory. However,
ombs might very well prove to be too heavy for transportation by



LEÓ SZILÁRD
HUNGRIA
1898-1964



EDWARD TELLER
HUNGRIA
1908-2003

-2-
The United States has only very poor
quantities. There is some good ore in Canada,
while the most important source of uranium

In view of this situation you may thi

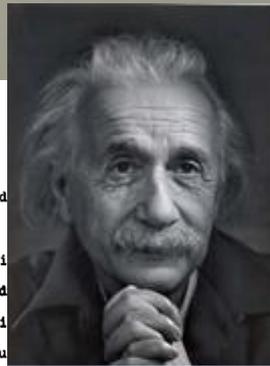
maintained between the Ad
rking on chain reactions i
might be for you to entru
idence and who could perha
k might comprise the follo
ach Government Departments
t, and put forward recomm
attention to the problem
ited States;

up the experimental work,
e limits of the budgets of
if such funds be required, through his contacts with
o are willing to make contributions for this cause,
y obtaining the co-operation of industrial laboratories
ecessary equipment.

l that Germany has actually stopped the sale of uranium
lovakian mines which she has taken over. That she should
rly action might perhaps be understood on the ground
e German Under-Secretary of State, von Weizsäcker, is
iser-Wilhelm-Institut in Berlin where some of the

American work on uranium is now being repeated.

Yours very truly,
A. Einstein
(Albert Einstein)



ALBERT EINSTEIN
ALEMANHA
1879-1955
NOBEL 1921



FRANKLIN
ROOSEVELT

MAR DO NORTE

MAR BÁLTICO

ALEMANHA

Dantzig

Setembro 1939

ALEMANHA

Março 1938

Outubro 1938

POLÓNIA

Pais dos Sudetas

Março 1938

CHECOSLOVÁQUIA

ÁUSTRIA

— Limite máximo da expansão alemã em Setembro de 1939

0 200 km

0

O PROJETO MANHATTAN

- 21-10-1939 - Roosevelt autoriza a criação do Comitê Consultivo do Urânio, que foi a origem do projeto Manhattan;
- Em 1940, o governo americano cria o NDRC, a Comissão Nacional de Pesquisas de Defesa (jurisdição sobre o problema do urânio);
- Criado o projeto Manhattan, ele foi dirigido pelo General Leslie Groves;
- Enquanto a parte da pesquisa ficaria a cargo do físico americano Robert Oppenheimer;



**JULIUS ROBERT
OPPEMHEIMER**
EUA
1904-1967



**GENERAL
LESLIE GROVES**

O PROJETO MANHATTAN

- O projeto envolveu pesquisa e produção em 13 locais diferentes dos EUA (Colúmbia, Berkeley e Chicago);
- Depois criaram-se laboratórios especiais, em escala intermediária entre o estágio de pesquisa e o estágio de produção (Argonne, Oak Ridge, Richland);
- As cidades científicas secretas mais importantes foram Hanford em Washington, Oak Ridge no Tennessee (enriquecimento do urânio) e Los Alamos, no Novo México;

O PROJETO MANHATTAN

Alguns cientistas que conhecemos e participaram do projeto:

- Hans Bethe,
- Niels Bohr, (consultor em LA),
- Aage Niels Bohr,
- James Chadwick,
- Arthur Compton,
- Einstein (consultor do projeto em LA),
- Emilio Segré (líder do grupo de radioatividade em LA),
- Enrico Fermi (Los Alamos),
- Leo Szilard, Edward Teller, Richard Feynman e outros



16-07-1945

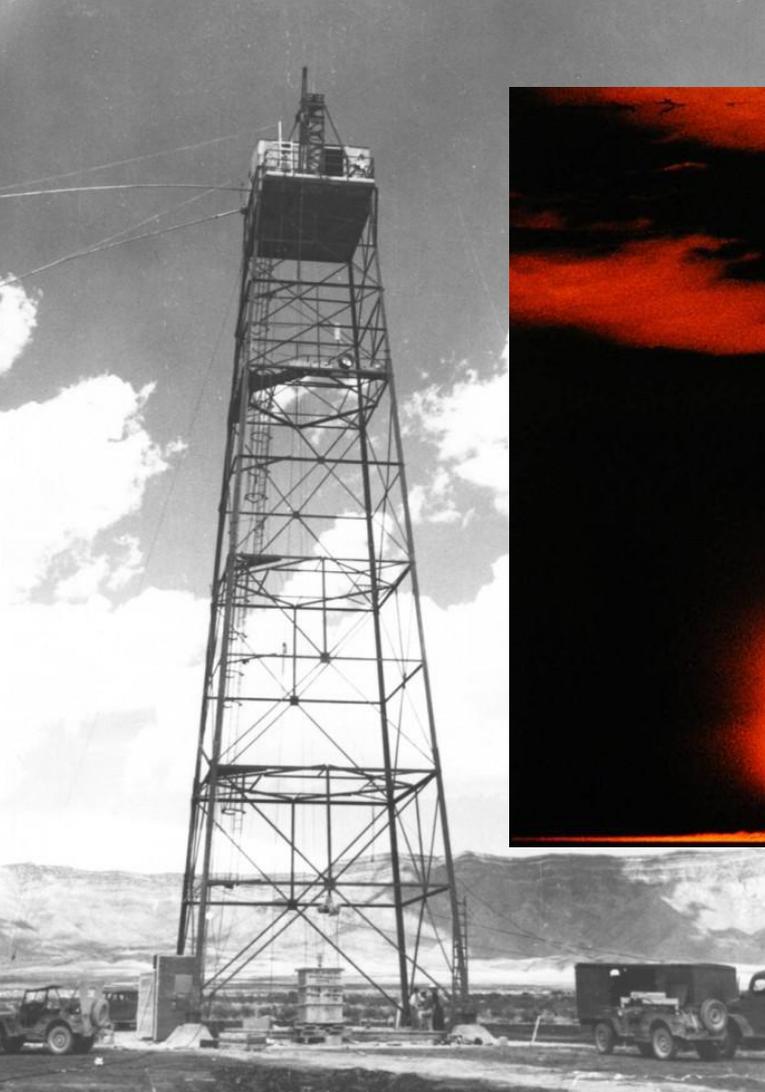
Alomogordo, Novo México

1º teste nuclear

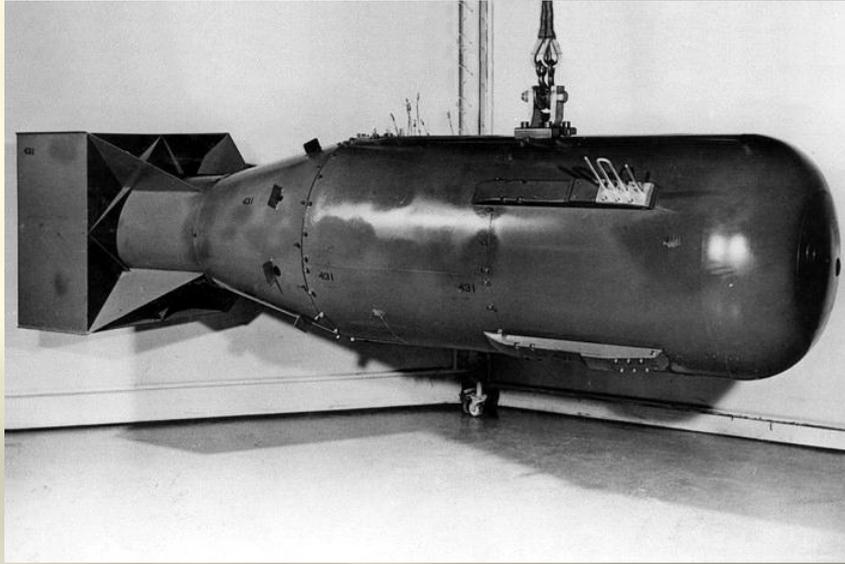
TRINITY

20 kton,

Plutônio



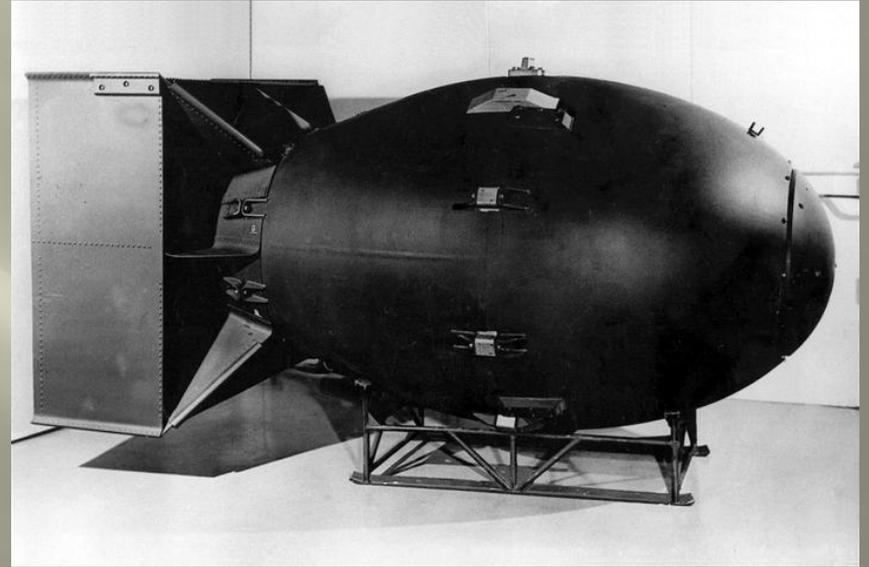
LITTLE BOY



URÂNIO (15 KTON)

HIROXIMA (06.08.45)

FAT MAN



PLUTÔNIO (25 KTON)

NAGASAKI (09.08.45)

Às 08h15min da manhã de 6 de agosto de 1945, um avião americano B-29 lançou a bomba Little Boy. A bomba explodiu a 580 metros do solo, no centro a cidade. O enorme cogumelo nunca antes visto pela humanidade matou instantaneamente 90 mil pessoas.

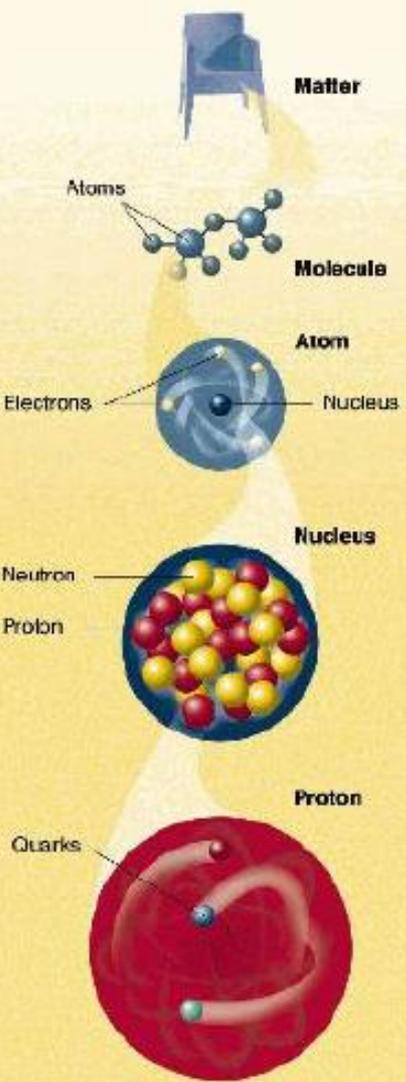
Uma segunda bomba foi lançada em Nagasaki três dias depois matando mais 40 mil pessoas. Mas as vítimas continuaram morrendo.

Estima-se que por conta da radioatividade, o total de mortes nos meses seguidos à detonação chegou a quase 150 mil pessoas.

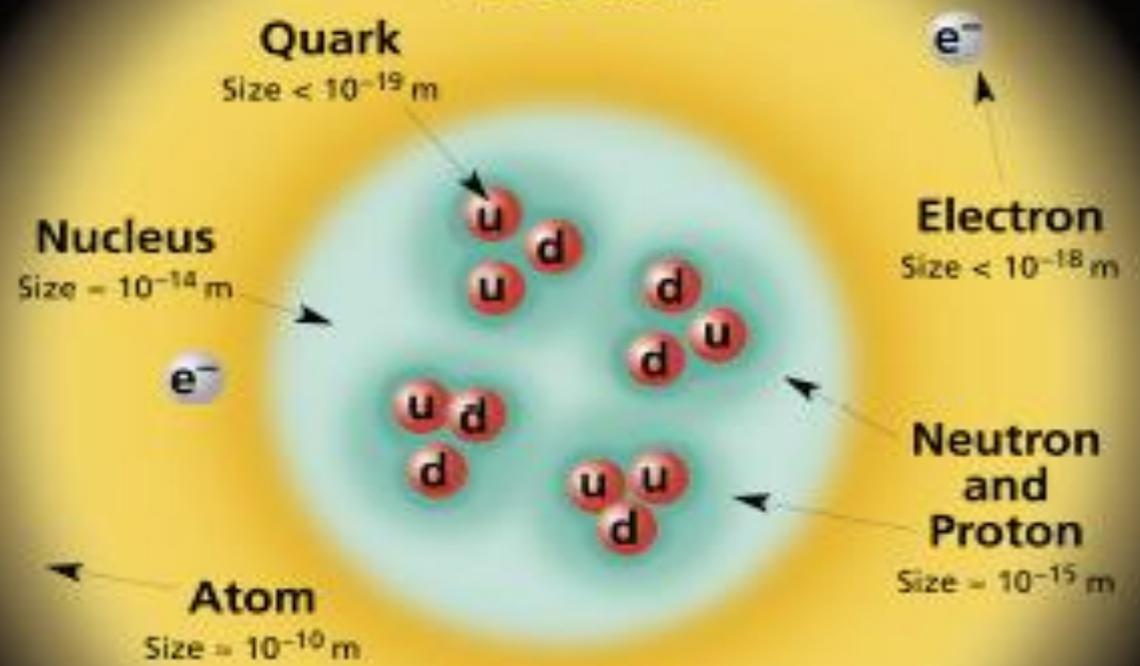


O PROJETO MANHATTAN





Structure within the Atom



If the protons and neutrons in this picture were 10 cm across, then the quarks and electrons would be less than 0.1 mm in size and the entire atom would be about 10 km across.

PARTE 2

A DESCOBERTA DO NEUTRON, DO DEUTÉRIO E DO PÓSITRON

- **Prof. Corbino** era diretor do Instituto de Física da Universidade de Roma. Sua **palestra em 1929** aborda que novas descobertas estaria no núcleo do átomo e essa seria a Física do futuro;
- O seu núcleo atômico era composto por prótons (núcleos de hidrogênio) e elétrons;
- 4 prótons para formar um núcleo de hélio evidencia que a massa do composto é menor que a massa dos 4 prótons. Chama-se “defeito da massa do núcleo”;
- Pela teoria da relatividade, essa redução de massa deve ser acompanhada da liberação de uma enorme quantidade de energia;
- Para cada grama de hélio formado devem ser produzidos cerca de 1,5 milhão de grandes calorias, ou seja, 2 milhões de kWh. E o inverso também;
- O núcleo atômico revela-se o campo mais atrativo par os futuros físicos. Mesmo que a Física tenda a um nível de saturação, o estudo de sua aplicação a outras disciplinas, como a biologia, se conduzido por verdadeiros especialistas, mestres de todos os recursos da física moderna, poderá trazer resultados do maior valor prático e científico;

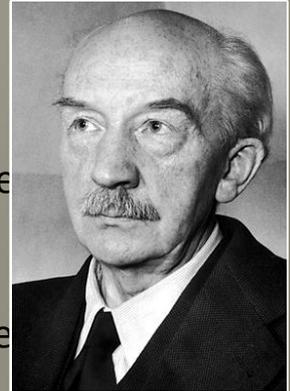


ORSO MARIO
CORBINO
ITÁLIA
1876-1937

- Inicia-se uma nova era onde uma nova geração de físicos passariam a se dedicar ao estudo dos núcleos atômicos;
- Paris e Cambridge deixam de monopolizar a ciência até então e novos físicos aparecem. Os EUA passam a investir em pesquisas com a mecânica quântica e em Roma é criado um novo centro experimental;
- Como consequência no ano de 1932 ocorrem 4 grandes descobertas (o nêutron, o isótopo de hidrogênio ou deutério, o pósitron e a radioatividade artificial), um ano para lembrar o ano de 1895 quando também ocorreram 4 grandes descobertas (os raios X, o elétron, o efeito Zeeman e a radioatividade);
- Além disso, o ano de 1932 testemunhou o início de um bom desempenho de aceleradores de partículas, que iriam transformar a física nuclear;

WALTER BOTHE

- Nasceu em 1892 em Oranienburg, próximo de Berlim e morreu em 1957;
- Walter Bothe tinha sido aluno de Max Planck e foi orientado por Geiger;
- Aprisionado pelos russos na 1ª Guerra Mundial foi levado à Sibéria, onde estudou matemática com uma russa;
- No final da guerra, volta para Berlim e aperfeiçoa o método de contagem por cintilação de Rutherford e Geiger;
- O método foi utilizado para resolver muitos problemas da física nuclear, inclusive o efeito Compton;
- Era um físico muito respeitado pelos colegas, embora tivesse um gênio difícil. Gostava de pintura e tocava piano muito bem;



WALTER BOTHE
ALEMANHA
1891-1957
NOBEL 1954

IRÉNE CURIE

- Nasceu em 1897 e viveu até 1956;
- Era filha de Marie e Pierre Curie;
- Perdeu o pai aos 9 anos de idade;
- Desde criança ficava com sua mãe no laboratório;
- Foi Ministra de Pesquisas Científicas do Gabinete Francês;
- Morreu jovem devido ao uso rotineiro com substâncias radioativas;



**IRENE JOLIOT-
CURIE
FRANÇA
1897-1956
NOBEL 1935**

FRÉDÉRIC JOLIOT

- Nasceu em 1900 e viveu até 1958;
- Veio trabalhar com a madame Curie e acaba se casando com sua filha, Irene Curie, em 1926;
- Durante a 2ª Guerra Mundial entrou para a resistência francesa e após a guerra foi nomeado Comissário para Energia Atômica, mas foi demitido depois devido à sua orientação política esquerda;
- Morreu jovem devido ao uso rotineiro com substâncias radioativas;



**JEAN FRÉDÉRIK
JOLIOT-CURIE
FRANÇA
1900-1958
NOBEL 1935**

O TRABALHO DE IRÉNE CURIE E FRÉDÉRIC JOLIOT E A DESCOBERTA DO NÊUTRON POR CHADWICK

- Usaram uma amostra forte de polônio para estudar a radiação penetrante vista por Walter Bothe;
- Verificaram que a radiação podia ejetar prótons, o que era muito estranho;
- Tentaram explicar o fenômeno usando o efeito Compton, mas a energia dos raios gama incidentes e a seção de choque não condizia com o esperado;
- O casal publica seu trabalho em 1932 e James Chadwick informa Rutherford sobre essas descobertas;
- James Chadwick no laboratório de Cavendish, repetiu as experiências usando polônio e berílio como fonte fazendo a radiação emergente colidir no hidrogênio, no hélio e no nitrogênio;
- Ao comparar os desvios, verificou que a radiação tinha um componente neutro de massa aproximadamente igual à do próton;
- James Chadwick chamou essa partícula de nêutron e publicou sua descoberta em 17 de fevereiro de 1932 e então o casal Curie-Joliot perderam a oportunidade de fazer a descoberta do nêutron.

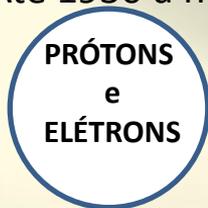
JAMES CHADWICK

- Nasceu em 1891 e viveu até 1974
- O sucesso de Chadwick foi por que ele já aceitava o nêutron como partícula do núcleo do átomo e já o tinha procurado por diversas vezes em vários experimentos diferentes. Com a dica do casal Curie-Joliot, ficou fácil detectar o nêutron;
- A descoberta do nêutron removeu muitas descobertas inconvenientes abrindo caminho para uma nova compreensão da matéria mais ainda não solucionava o decaimento beta;



**JAMES
CHADWIK
INGLATERRA
1891-1974
NOBEL 1935**

- Até 1930 a hipótese era de que o núcleo atômico fosse formado por PRÓTONS e ELÉTRONS;



- Observava-se que as massas nucleares eram aproximadamente múltiplos inteiros da massa do próton;
- Assim o nitrogênio de massa 14 deveria conter 14 prótons e 7 elétrons;
- Então sua massa seria de 14 (14 prótons) já que a massa do elétron é desprezível (1860 vezes menor que o próton);
- E 7 dos prótons do núcleo neutralizaria a carga dos 7 elétrons;

DIFICULDADES DESSA HIPÓTESE:

- O princípio da incerteza exigia uma barreira de potencial muito grande para conter uma partícula leve como o elétron no volume do núcleo e ninguém sabia que forças poderiam produzir tal barreira;
- Esperava-se que no núcleo deveria existir um número par de férmions;
- Prótons e elétrons são férmions, mas nessa hipótese temos 21 férmions (14 prótons + 7 elétrons), que é ímpar;
- Agora com o nêutron, teríamos 7 prótons + 7 nêutrons (número de massa 14) e 7 prótons para neutralizar os 7 elétrons

A DESCOBERTA DO DEUTÉRIO

- Um dia depois da publicação da descoberta do nêutron por James Chadwick, Harold C. Urey e F. G. Brickewedde enviam artigo para uma revista americana relatando a descoberta de um isótopo de hidrogênio, de massa 2;

HAROLD UREY

- Nasceu em 1893 e viveu até 1981
- Teve infância pobre mas recebeu o diploma de bacharel em química em 1917;
- Em 1929 foi nomeado professor de química da Universidade de Colúmbia, onde ali descobriu o deutério;
- Durante a 2ª Guerra Mundial encarregou-se da preparação do isótopo pelo processo de difusão para o Projeto Manhattan;
- O Deutério é um isótopo de rara importância na física nuclear e chega mesmo a ter aplicações práticas em alguns reatores nucleares;



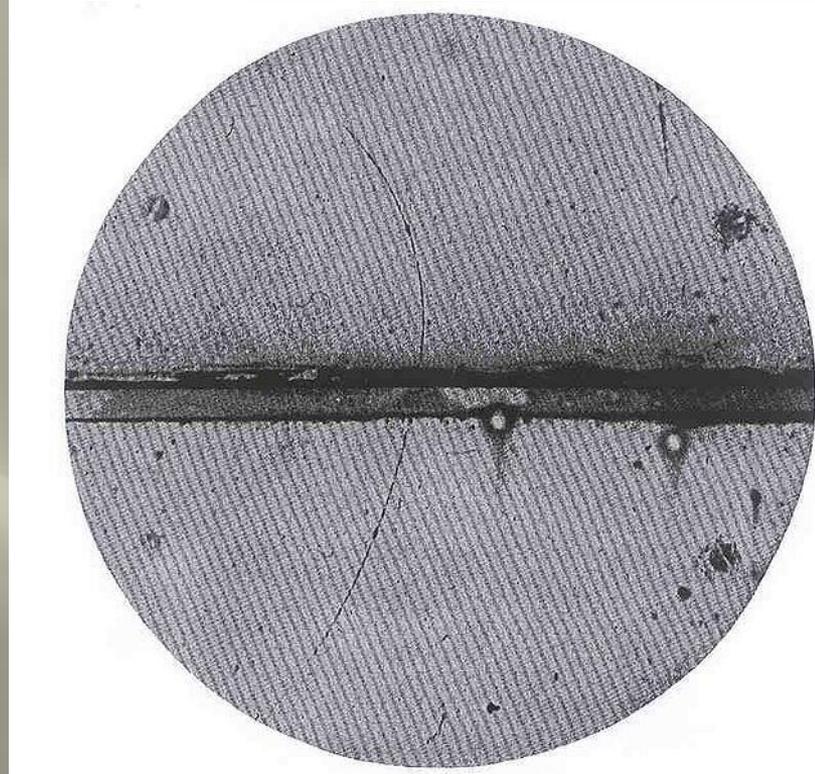
HAROLD UREY
EUA
1893-1981
NOBEL 1934

A DESCOBERTA DO PÓSITRON

- Os raios cósmicos eram conhecidos desde 1912 quando V. F. Hess (1883-1964) através de vôos de balões media a descarga espontânea de eletroscópios de várias altitudes. Assim foi possível distinguir a ionização produzida por substâncias radioativas contidas da Terra da ionização produzida por radiação penetrante de origem extraterrena;
- Conclusão: uma radiação isotrópica (igualmente em todas as direções) se espalha por todo o universo;
- Pressupôs-se que essa radiação consistia de elétrons e de raios gama de alta energia;
- Os pesquisadores dos raios cósmicos floresceram em torno de Robert Millikan (1868-1953);
- Em 2 de agosto de 1932, Carl D. Anderson, aluno de Millikan, fez um elétron passar por uma chapa de chumbo para uma câmara de nuvens sob campo magnético;
- Ao passar pela placa de chumbo, o elétron perde momento e sua trajetória se amplia. Mas devido ao sentido do campo magnético o elétron tem um sentido contrário ao esperado. Então a carga desse elétron é positiva, não negativa;

A DESCOBERTA DO PÓSITRON

- Então trata-se de um elétron positivo, o que hoje chamamos de pósitron;
- Dirac já havia previsto teoricamente a existência do pósitron, mas Anderson não conhecia seu trabalho;
- A descoberta de Anderson confirmaria a teoria de Paul Dirac;
- Após a descoberta do pósitron, muitos outros cientistas descobriram vestígios dessa partícula elementar em seus experimentos, inclusive o casal Curie-Joliot, mas não o identificaram como sendo o pósitron. Assim o casal de cientistas além de perder a descoberta do nêutron, também deixou de descobrir o pósitron;



SURGE A NOVA FÍSICA NUCLEAR

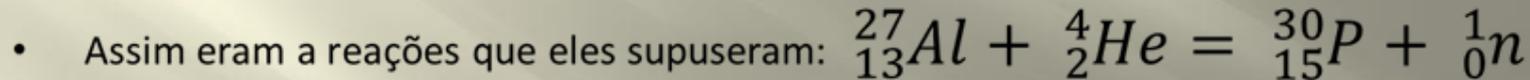
- O sétimo Conselho Solvay foi realizado entre os dias 22 e 23 de outubro de 1933 e foi dedicado totalmente ao núcleo do átomo, que era o ponto central de interesse da Física;
- Alguns problemas já estavam sob controle ou tinha soluções à vista, mas outros estavam imersos em um caos completo. O maior quebra-cabeça era o decaimento beta, que parecia questionar a conservação de energia;
- Os elétrons do decaimento beta têm um espectro contínuo de energia, mas os estágios final e inicial são perfeitamente definidos;
- Para onde vai a energia, se os elétrons do decaimento não têm uma energia igual à diferença de energia entre o estágio final e o estágio inicial?
- A radiação gama poderia compensar a energia faltante?
- Foi Wolfgang Pauli em 1930 que sugeriu que os elétrons no decaimento beta eram acompanhados por partículas neutras leves que escapavam à observação, mas restabeleciam a conservação de energia, carregando a energia que faltava;

O DECAIMENTO BETA A FORÇA NUCLEAR FRACA, OU INTERAÇÃO DE FERMI

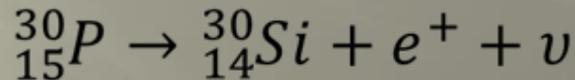
- Mas foi em 1933 que Enrico Fermi formulou uma teoria do decaimento beta baseada nessa partícula. Fermi o chamou de neutrino (neutrino em italiano), em oposição a neutrone (neutrão em italiano);
- Mas para desenvolver essa teoria, Fermi teve que estudar o trabalho de Paul Dirac de 1927 sobre a teoria quântica da radiação e estudar os operadores matemáticos de criação e aniquilação que haviam sido inventados por O. Klein, P. Jordan, E. Wigner e outros. Esses operadores criam ou aniquilam partículas. Diferem quanto a férmions e bósons e exigem uma técnica que Fermi não dominava;
- Estudando os operadores e montando sua teoria para explicar o decaimento beta, Fermi introduziu uma nova interação fundamental, a força de interação fraca ou interação de Fermi como ficou conhecida;
- Assim essa nova força veio se somar às outras duas existentes até então: a força gravitacional e a força eletromagnética. É descoberta por Fermi, então a 3ª força fundamental do universo;
- A nova teoria de Fermi explica a forma do espectro beta, a meia-vida do decaimento beta e muitas outras características de tais decaimentos. É a obra prima de Fermi e é de fundamental importância para a Física das partículas;

FINALMENTE UM PRÊMIO NOBEL PARA O CASAL JOLIO-CURIE

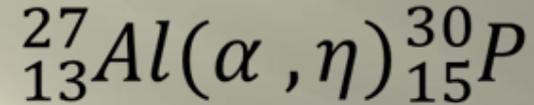
- Como já haviam apresentado no Conselho Solvay, Curie e Joliot relataram um espectro contínuo de pósitrons emitido por algumas substâncias sob bombardeamento alfa;
- Em 19 de janeiro de 1934: “ quando uma lâmina de alumínio é irradiada sobre uma preparação de polônio, a emissão de pósitrons não para logo que a preparação é removida. A lâmina permanece radioativa e a emissão da radiação decai exponencialmente como um radioelemento ordinário;
- Eles descobriram a radioatividade artificial e foram laureados com o Prêmio Nobel, depois de terem perdido o nêutron e o pósitron;



- Onde o isótopo radioativo do fósforo tem meia-vida de cerca de 3 minutos e decai de acordo com a reação:



- Essas reações são expressas também usando uma forma mais concisa introduzida por Walter Bothe. A formação do fósforo seria expressa pelo símbolo:



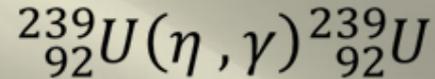
- Nessa notação o primeiro símbolo indica o alvo; o primeiro entre parênteses, o projétil; o segundo entre parênteses, a partícula que sai; e o último símbolo, o produto da reação;

O CAMINHO FINAL PARA A BOMBA ATÔMICA

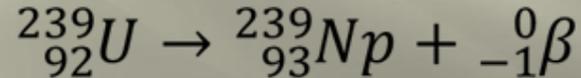
- Em 1933, Enrico Fermi consegue solucionar um problema teórico fundamental, o decaimento beta;
- Fermi introduz o nêutron como projéteis no estudo da radioatividade artificial;
- Curie e Joliot conseguiam cerca de uma desintegração para cada milhão de partículas alfa colidentes sobre o alumínio;
- O rendimento é baixo pois o núcleo do alumínio repele as partículas alfa por ação eletrostática e impede-as de entrar em contato com o núcleo alvo;
- Fermi teve a ideia de usar nêutrons pois com eles não ocorre a repulsão elétrica e o rendimento deve aproximar-se da unidade. A partir do uso de nêutrons como projéteis, a Física tomaria rumos inesperados;
- Fermi tentou irradiar vários elementos mas não teve sucesso com o hidrogênio, lítio, berílio, boro, carbono, nitrogênio e oxigênio até ver a radioatividade do flúor;

O CAMINHO FINAL PARA A BOMBA ATÔMICA

- Em 1934, Fermi e Segré conseguiram irradiar o urânio, até então o elemento mais pesado que se conhecia;
- Observaram reações (nêutron, alfa), (nêutron, próton) e (nêutron, gama) além de descobrirem os elementos transurânicos:



- Que por sua vez, por decaimento beta produzia



- O regime fascista pressiona Fermi, então membro da Academia Italiana, para dar aos novos elementos descobertos nomes que lembravam o fascismo, tais como o litório (oficial romano que tinha fasces como insígnia de seu trabalho);
- Mas Corbino, argumentou que os novos elementos tinham vida muito curta e que assim, não serviam para celebrar o fascismo italiano;

O CAMINHO FINAL PARA A BOMBA ATÔMICA

- Também descobrem que os nêutrons filtrados através de parafina eram muito mais efetivos para produzir reações nucleares do que aqueles que emergiam diretamente de uma fonte de radônio e berílio;
- Fermi então explica que os nêutrons tinham sua velocidade reduzida por colisão elástica ao passarem através da parafina e que os nêutrons lentos eram muito mais efetivos do que os nêutrons rápidos para produzir reações nucleares. Era a chave da energia nuclear;
- Roma adquire reputação e transforma-se em importante centro mundial de física experimental e teórica. Mas em 1935 coincidindo com os eventos precursores da Segunda Guerra Mundial (Guerra da Etiópia, Guerra Civil Espanhola), o grupo de Roma se dispersa;
- Rasetti migra para os EUA, Segré consegue uma cátedra de Física na Universidade de Palermo, na Sicília, Pontecorvo migra para Paris para trabalhar com Joliot, enquanto Arnaldi e Fermi permanecem sozinhos em Roma, enquanto Corbino morre em 1937;
- Conforme nos conta Segrè: a escravização da Itália à Alemanha pela formação do eixo Roma-Berlim, a promulgação de leis anti-semitas na Itália e outras diretrizes tornam a situação insustentável;

A DESCOBERTA DA FISSÃO

- Em 1938, Enrico Fermi recebe o prêmio Nobel de Física em Estocolmo e de lá ele segue diretamente para Nova Iorque, para trabalhar na Universidade de Colúmbia, abandonando definitivamente a Itália e os fascistas;
- No mesmo momento Hahn e Strassmann revelam a descoberta da fissão nuclear. Eles descobrem o bário radioativo entre os produtos do bombardeamento de urânio por nêutrons;
- Hahn era seguidor de Rutherford no Canadá, enquanto Fritz Strassmann era seu aluno e embora não fossem nazistas, trabalhavam no Instituto Kaiser Wilhelm;
- Lise Meitner também trabalhou com eles mas teve que fugir da Áustria após o Anschluss de Hitler e se asilou na Suécia;
- Agora só faltava a reação em cadeia;

A REAÇÃO EM CADEIA

- Os nêutrons resultantes da fissão nuclear, os nêutrons secundários podem ser usados para produzir novas fissões e, se são em número suficiente, produzirão mais nêutrons do que na primeira geração;
- Se a reação em cadeia ocorrer com muita rapidez e de forma descontrolada, segue-se uma violenta explosão e tem-se uma bomba atômica;
- Por outro lado, se a reação puder ser controlada e contida em um estágio estacionário, obtém-se uma fonte de energia;
- Os cientistas começam a se dividir: alguns pensam em registrar patentes, outros achavam que deviam guardar segredos e alguns mesmo a impedir seu desenvolvimento por medo das possíveis consequência;
- Estava-se tornando evidente que a possibilidade de explosivos nucleares de capacidade nunca vista não era um produto de ficção científica, mas algo a ser levado extremamente a sério, sobretudo se um dos possíveis contendores fosse Adolf Hitler;

A BOMBA ATÔMICA

- Entram em cena os físicos que estavam estudando os problemas da energia atômica: os húngaros Leó Szilard, E. Wigner e Eduard Teller, o austríaco V. Weisskopf e acima de tudo o italiano Enrico Fermi;
- Em agosto de 1939, Leó Szilard e outros ativistas húngaros que se preocupavam com a lentidão com que progrediam os trabalhos planejaram ir diretamente ao Presidente Roosevelt. Einstein foi induzido a assinar uma carta ao presidente na qual explicava a situação e suas implicações;
- Niels Bohr apresentara bases teóricas para supor que o U-238 só sofria fissão se bombardeado com nêutrons de uma energia maior do que cerca de 1 MeV, enquanto que os nêutrons lentos só podiam produzir fissão no raro isótopo U-235, que aparece no urânio natural no total de cerca de 1 parte em 137;
- Então para se construir uma bomba atômica de urânio, seria necessário separar os isótopos 235 e 238;
- Fermi e Segré formulam a hipótese para a existência de um núcleo de número atômico 94 e massa 239, mais tarde chamado de Plutônio 239. Eles ficaram intrigados com sua possível vida longa e com a possibilidade de sofrer fissão sob bombardeio de nêutrons lentos. Se fosse esse o caso, tal núcleo poderia oferecer uma alternativa para o U-235 e evitar a necessidade de separar isótopos;

A BOMBA ATÔMICA

- Mas para isso seria necessário construir um reator nuclear onde o urânio natural se transformasse no plutônio-239;
- Essa seria uma melhor alternativa do que separar isótopos de urânio que seria difícil e cara;
- No início de 1941, Segré e outros cientistas prepararam cerca de um micrograma de Pu-239 com o ciclotron de Berkeley e mostrou que se podia usá-lo como combustível nuclear;
- Duas formas de construir a bomba atômica:
 - 1) a separação de isótopos de urânio ou
 - 2) a formação de uma quantidade suficiente de plutônio;
- No primeiro caso se poderia separar por difusão gasosa;
- No segundo caso se poderia produzir plutônio através de um reator nuclear que o produzisse e depois iria ser necessário uma indústria química para purificá-lo;
- Não havia maneira de produzir plutônio suficiente por bombardeamento nuclear usando partículas carregadas aceleradas artificialmente;

A BOMBA ATÔMICA

- Em junho de 1940, nos EUA, surgiu a National Defense Research Committee (NDRC) para estudar o caso do urânio;
- Em 1942 o exército americano é encarregado de algumas responsabilidades no projeto e em setembro de 1942 é criado o distrito de Manhattan sob o comando do General L. R. Groves que também era o diretor do Pentágono;
- O Projeto Manhattan começa nas universidades americanas, Colúmbia, Berkeley e Chicago. Mais tarde criaram-se laboratórios especiais, em escala intermediária entre o estágio de pesquisa e o estágio de produção:
 1. Argonne, em Illinois;
 2. Oak Ridge, no Tennessee,;
 3. Richland, em Washington;
 4. E outros.
- Fermi ficou encarregado da reação em cadeia necessária para a produção do plutônio;

A BOMBA ATÔMICA

- O problema era juntar uma quantidade suficiente de urânio natural e de moderadores de nêutron adequados para obter uma reação auto-sustentada, ou montagem crítica;
- Essa montagem crítica seria uma fonte de um excesso de nêutrons que, quando absorvidos em U-238, primeiro formariam U-239 e depois, por decaimento beta, Np-239 e finalmente o Pu-239;
- Este último isótopo tem uma meia-vida de 24 mil anos e pode ser separado quimicamente do urânio; é o explosivo nuclear;
- As substâncias escolhidas para os reatores foram o urânio ordinário e grafite para o moderador;
- Era difícil obter uma reação em cadeia, mas os cientistas queriam evitar qualquer enriquecimento ou separação de isótopos, o que, na época, apresentava problemas técnicos sem solução e de enorme dificuldade;

O PROJETO MANHATTAN

- A **separação de isótopos** de urânio **por espectrógrafo de massa** foi inicialmente empreendida em Berkeley, sob a chefia de Lawrence, auxiliado por R. L. Thornton, W. Brobeck e outros;
- Depois a produção se transferiu para a Eastman Company em Oak Ridge;
- A **separação de isótopos** de urânio **por difusão gasosa** foi chefiada por J. R. Dunning, H. Urey e outros em Oak Ridge;
- Uma vez disponíveis, os explosivos nucleares tinham de ser fabricados e montados em uma bomba. O estudos sobre a bomba não podiam ficar à espera dos materiais. O método de montagem tinha de estar pronto no momento em que os materiais estivessem disponíveis;
- Agora era necessário um laboratório especial para a construção da bomba, e o general Groves, então encarregado do projeto Manhattan escolheu Robert Oppenheimer para ser seu diretor;
- Robert Oppenheimer escolheu construir o laboratório no Novo México, em Los Alamos reunindo vários cientistas sob seu comando, como Emile Segré, Enrico Fermi, H. A. Bethe, H. Staub, Victor Weisskopf e outros;

O PROJETO MANHATTAN

- Segré nos conta sobre uma crise que abalou temporariamente o projeto: “Eu e meu grupo estávamos estudando a fissão espontânea de Pu-239. Descobrimos que o isótopo Pu-240, que era formado em reatores, junto com o Pu-239 sofria fissão espontânea a uma taxa tão alta que teria impedido a montagem de uma bomba pelos meios então analisados: a bomba teria pré-detonado e resultado em fiasco;
- A primeira bomba foi detonada em Los Alamos no dia 16 de julho de 1945

AS CONSEQUÊNCIAS DA BOMBA

- Segundo a Constituição dos EUA, ao Presidente, na qualidade de Comandante-em-Chefe das Forças Armadas, cabia a palavra final sobre o uso da bomba. O Presidente Truman consultou vários grupos de sua assessoria, inclusive de cientistas, e chegou a algumas conclusões com plena consciência das alternativas e consequências. A sabedoria de sua decisão de aquela época tem sido posta em dúvida, mas é difícil imaginar a possibilidade de ele ter tomado um outro rumo de ação;
- Com frequência surge a indagação sobre até que ponto os alemães teriam avançado no aperfeiçoamento da bomba até o fim da guerra e sobre se havia realmente o risco de se anteciparem aos EUA. Só conseguimos obter informações dignas de confiança sobre as atividades nucleares na Alemanha depois que os Aliados invadiram o país;
- A missão Alsos, que coletou informações sobre as atividades nucleares, concluiu que o projeto alemão, embora tendo-se iniciado pouco depois da descoberta da fissão, tinha feito um progresso relativamente pequeno. Os alemães ainda não tinham produzido uma reação em cadeia, nem tinham preparado o plutônio ou separado isótopos de urânio em medida apreciável;

- Entre as várias consequências dos usos militares das ciências, algumas benéficas para as próprias ciências, outras não, Segré realça um uso extremamente pernicioso, que é a introdução do sigilo;
- O sigilo envenenou o ambiente científico e até hoje esse veneno ainda não foi totalmente eliminado;
- O sigilo militar obviamente é necessário e o sigilo industrial é uma prática estabelecida e justificável, mas o sigilo científico é uma proposição autocontraditória;
- Por definição, as ciências devem repartir os conhecimentos e revelar suas descobertas a todo mundo;

Anos depois, perguntaram a Oppenheimer se ele tinha sentido remorsos pelo fato de que tantos civis tinham sido mortos ou feridos com a explosão da bomba, e ele comentou: “Terríveis!” E acrescentou: “Os físicos sentiram uma responsabilidade particular pelo fato de terem minuciosamente sugerido, apoiado e, por fim, tornado possível a realização das armas atômicas. Falando sem meios termos, sem nenhum exagero, os físicos conheceram o pecado, e esse é um conhecimento que ficará neles para sempre”.

Anos mais tarde, Einstein lamentou o papel que teve no desenvolvimento dessa arma destrutiva: “Eu cometi o maior erro da minha vida, quando assinei a carta ao Presidente Roosevelt recomendando que fossem construídas bombas atômicas”.



REFERÊNCIAS:

- DOS RAIOS X AOS QUARKS, FÍSICOS MODERNOS E SUAS DESCOBERTAS. DE EMÍLIO SEGRÉ, EDITORA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 1980;