

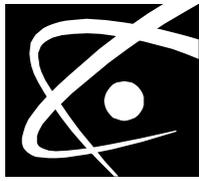


# História da Energia Nuclear



**CNEN**

Comissão Nacional  
de Energia Nuclear



**CNEN**

Comissão Nacional  
de Energia Nuclear

Apostila educativa

*A História da  
Energia Nuclear*

## 1) HISTÓRICO

A Teoria Atomística foi edificada inicialmente no quinto século antes de Cristo pelos filósofos gregos Leucipo e Demócrito<sup>(1)</sup>

Na sua Teoria Atomística, Demócrito afirma que o Universo tem uma constituição elementar única que é o átomo, partícula indivisível, invisível, impenetrável e animada de movimento próprio. As vibrações dos átomos provocam todas as nossas sensações. Lito Lucrécio Caso, célebre poeta romano (95-52 AC), reproduziu em seus poemas as idéias de Demócrito no seu livro "DE RERUM NATURA", muito divulgado na época do Renascimento<sup>(2)</sup>.



*Leucipo*



*Demócrito*

Somente no início do século XIX, os pesquisadores em química retornaram à hipótese atômica. Esta hipótese foi proposta por John Dalton em 1803 e a teoria atômica apresentada no livro "A NEW SYSTEM OF CHEMICAL PHILOSOPHY". Os postulados fundamentais de Dalton são os seguintes:

I ) Os elementos químicos consistem de partículas discretas de matéria, os átomos, que não podem ser subdivididos por qualquer processo químico conhecido e que preservam a sua individualidade nas reações químicas.

II ) Todos os átomos do mesmo elemento são idênticos em todos os aspectos, particularmente em seus pesos; elementos diferentes têm átomos diferentes em peso. Cada elemento é caracterizado pelo peso dos seus átomos.

III ) Os compostos químicos são formados pela união de átomos de diferentes elementos em proporções numéricas simples, isto é: 1:1, 1:2, 2:1, 2:3, etc.

Com a finalidade de interpretar as leis volumétricas de Gay-Lussac (1805-1808), em 1811, Amadeo Avogadro, Conde de Quaregna e Cerreto<sup>(3)</sup>, professor de física de Turim, Itália, estabeleceu a hipótese da existência de moléculas que correspondem ao agrupamento de átomos. Os gases que têm moléculas formadas de um único átomo são monoatômicos, de dois átomos, diatômicos, etc.<sup>(4)</sup>. Após o ano de 1834, a interpretação das leis de Eletrólise, de Michael Faraday, permitiu que se concluísse que os átomos transportavam cargas elétricas. No ano de 1869, o químico russo Dmitri Mendeleev apresentou uma classificação periódica dos elementos na qual os átomos eram distribuídos em função dos seus pesos atômicos.



*John Dalton*



*J. J. Thomson*

O primeiro modelo de átomo foi apresentado por J. J. Thomson (\*1856-+1940). O modelo é conhecido como o do "pudim de ameixas". O átomo é constituído por um núcleo positivo (o pudim) no qual se acham incrustados os elétrons (as ameixas). J. J. Thomson é um dos principais físicos do período de transição entre a Física Clássica do Século XIX e a Física Moderna do Século XX Foi o fundador da Escola Eletrônica de Cambridge e dirigiu o Laboratório de Física dessa universidade até 1918, sendo substituído por seu assistente Rutherford. Dividiu com Lorentz a honra de haver iniciado o estudo do elétron, um dos capítulos da física de maior fecundidade no início do

século, tendo recebido por seus trabalhos o Prêmio Nobel em 1906. Por intermédio da utilização de campos elétricos e magnéticos, determinou a relação entre a carga e a massa das partículas constituintes dos raios catódicos, e identificou que eram feixes de elétrons. Robert A. Millikan, físico americano, professor da Universidade de Chicago, trabalhou durante nove anos (1909-1917) na determinação da carga do elétron na sua célebre experiência da gotícula de óleo. Teve também grande importância para o desenvolvimento da física atômica, as descobertas do RAIOS X e da RADIOATIVIDADE.

Roentgen, em 1895, descobriu um tipo de radiação que atravessava corpos opacos, apesar de serem absorvidos em parte por eles. Esses raios têm a propriedade de excitar substâncias fosforizantes e fluorescentes, impressionam placas fotográficas e aumentam a condutividade elétrica do ar que atravessam. Como eram de natureza desconhecida, foram denominados de Radiação X ou Raios X. H. Poincaré apresentou, em 1896, na Academia de Ciências de Paris e na "Revue Générale des Sciences" os resultados desses estudos.



*Roentgen*

Henri Becquerel (\*1852-+ 1908), entusiasmado com a apresentação de Poincaré, intensificou seus estudos sobre materiais fosforescentes e fluorescentes. Nos seus trabalhos, Becquerel, no mesmo ano de 1896, estabeleceu que os sais de urânio emitem radiações análogas às dos Raios X e que impressionavam chapas fotográficas. Quase trinta anos antes, (1867), Niepce de Saint Victor descobriu que radiações emitidas por um sal de urânio impressionavam uma chapa fotográfica. Infelizmente, os conhecimentos científicos da época não permitiram tirar maiores proveitos da descoberta.



*Becquerel*

Os raios de Becquerel foram estudados, também, por Kelvin, Beattie, Smoluchwski, Elster, Geitel, Schmidt e o célebre casal Curie (Pierre Curie \*1859-+ 1906, e Maria Slodowska Curie \*17+ 1934). Em 1898, Madame Curie, em Paris, descobriu, ao mesmo tempo que Schmidt, na Alemanha, que entre os elementos conhecidos, o tório apresentava características radioativas, do urânio.

O casal Curie já explicava a radioatividade como uma propriedade atômica. Ajudados por Bemont, separaram quimicamente vários elementos radioativos e descobriram, em 18 de julho de 1898, o Polônio, nome que foi dado em homenagem à pátria de Maria Slodowska Curie. O rádio foi descoberto por Madame Curie em 1910 após longo trabalho, já que, para extrair 1 grama do elemento, teve que tratar aproximadamente 10 toneladas de mineral.



*O casal Curie*



*Pierre curie*



*Marie Curie*

No estudo da radioatividade natural, verificou-se a existência de 3 tipos de radiação: RAIOS OU PARTÍCULAS ALFA Partículas positivas são desviadas em um campo magnético em sentido contrário dos raios catódicos. Foi Rutherford, em 1903, que determinou o seu desvio através de um campo elétrico ou um campo magnético, e que as partículas alfa constituem núcleos de hélio. A interpretação da desintegração alfa foi realizada por Gamow em 1927, utilizando a teoria do efeito túnel.

**RAIOS OU PARTÍCULAS BETA** - São mais penetrantes que as partículas  $\alpha$ . São elétrons, e foram estudados inicialmente por Giesel, Meyer, Schweidler, Becquerel, Kaufmann e Bragg. O estudo da desintegração beta, um dos trabalhos mais importantes da física nuclear, foi realizado por Fermi em 1934.

**RAIOS GAMA** São radiações eletromagnéticas emitidas pelo núcleo. Inicialmente foram confundidas com os Raios X.



*Rutherford*

Rutherford verificou que eram radiações eletromagnéticas, pois não sofriam desvio ao atravessar campos elétricos ou magnéticos e não apresentavam massa de repouso.

Ernest Rutherford (nasceu em Nelson, Nova Zelândia, em 1871, e morreu na Inglaterra em 1937) estabeleceu o modelo atual de átomo. Foi um dos físicos mais importantes do nosso século.

Fez seus estudos na Austrália e na Inglaterra. Em 1898, foi nomeado professor em Montreal e, em 1907, em Manchester. Como dissemos anteriormente, ocupou a cátedra deixada por J. J. Thomson em Cambridge, em 1918, e foi Diretor do Laboratório Cavendish. Recebeu o Prêmio Nobel em 1908 e, em 1931, foi tomado nobre pelo Rei da Inglaterra. Sua experiência, para a determinação do modelo de átomo de J. J. Thomson, constituiu um dos capítulos mais interessantes da física nuclear. Foi realizada em 1911, utilizando o espalhamento de partículas alfa por núcleos pesados.

Resultados dos desvios das trajetórias, as partículas alfa permitiram o estabelecimento do seu modelo nuclear, que é análogo ao nosso sistema planetário. O núcleo central é positivo, e em torno dele gravitam partículas negativas: os elétrons.



*Laboratório de Rutherford*

Entre 1913 e 1915, Niels Bohr, em Copenhague, estudando o problema da estabilidade do átomo de Rutherford, estabeleceu uma teoria na qual havia a aplicação de hipóteses quânticas no movimento dos elétrons. Ficaram célebres, em Ciência, os postulados de Bohr relativos às órbitas eletrônicas. O átomo de Bohr apresentou uma perfeita aplicação ao estudo da espectroscopia atômica de núcleos hidrogenóides. Os postulados de Bohr têm os seguintes enunciados:

I ) Um sistema atômico possui um número de estados (órbitas) nos quais os elétrons não emitem radiação. São chamados de estados estacionários do sistema, isto é, a energia permanece constante.

O primeiro postulado contraria as leis da eletrodinâmica clássica.

II ) Qualquer emissão ou absorção de radiação deve corresponder à uma transição entre dois estados estacionários. A variação de energia entre dois estados estacionários é um número inteiro de quanta\*.

III ) O momento angular do elétron em órbita é um número inteiro de  $h$  (constante de Planck) dividido por  $2\pi$ .



*Niels Bohr, estudou o problema da estabilidade do átomo.*

\*Quantum produto da constante de Planck pela frequência da radiação. A ideia original da teoria de quantum é de Max Planck (1901) e foi utilizada no estudo da radiação do corpo negro.

A idéia original de quantização da energia foi apresentada por Max Planck, em 1901, no estudo da radiação do corpo negro. A mecânica quântica ou mecânica ondulatória começou a ser estruturada por L. de Broglie, em 1924, com o seu postulado que resolvia o problema da dualidade onda-corpúsculo: A toda onda está associado um corpúsculo e a todo corpúsculo está associada uma onda. A mecânica ondulatória deve seu desenvolvimento a Schrödinger (1926) e a Heisemberg, com a mecânica das matrizes (1925). A mecânica quântica e a Teoria da Relatividade de A. Einstein (1905) constituem poderosas ferramentas para o desenvolvimento da micro física, tanto no campo da física atômica como da física nuclear.

O problema da constituição do núcleo 'foi um dos capítulos mais importantes e difíceis da física nuclear. Em 1916, Prout sugeriu, como Dalton, que todos os pesos atômicos deveriam ser números inteiros. Como o hidrogênio era o átomo mais leve, os átomos deveriam ser constituídos de átomos de hidrogênio. Posteriormente, como na radioatividade natural, verificou-se a saída de partículas negativas (elétrons) do núcleo, e foi estabelecida uma hipótese da constituição do núcleo por prótons e elétrons. A primeira desintegração artificial foi obtida por Rutherford, em 1919, bombardeando átomos de nitrogênio com partículas alfa. Verificou Rutherford que havia a produção de oxigênio<sup>17</sup> e a saída de um próton. Determinou-se posteriormente, por razões quânticas, a impossibilidade da existência de elétrons no interior do núcleo.

Rutherford propôs existência, no núcleo, de uma partícula neutra, composta de um próton e um elétron, à qual deu o nome de nêutron. Em virtude de problemas relacionados às conservações de momento angular intrínseco e energia, foi proposto a existência de novas partículas: o neutrino e o anti-neutrino. Assim, poderemos escrever que:

nêutron próton + elétron + anti-neutrino  
próton nêutron + positron + neutrino

O neutrino e o anti-neutrino foram evidenciados por R. Davis, em 1955, e Cowan, Reines, Harrison, Kruse e McGuire, em 1956.

O positron, que é uma partícula de massa igual a do elétron e - de carga positiva, foi imaginada por Dirac na resolução da sua equação relativa ao estudo do momento angular intrínseco do elétron (SPIN). O positron foi determinado, experimentalmente, em 1932, por Anderson, no estudo de radiação cósmica. Em 1935, Yukawa apresentou a sua TEORIA DO CAMPO MESÔNICO para explicar o problema das forças nucleares. Em 1947, na Inglaterra, no estudo de raios cósmicos, e em 1948 nos Estados Unidos da América, em laboratório, foi descoberto o MESON 11. Nestas experiências, devemos destacar o nome do brasileiro Cezar Lattes que participou ativamente nesta descoberta. Este acontecimento foi de grande importância para o desenvolvimento da Física no Brasil e motivou a Criação do CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS (C.B.P.F.), atualmente um dos centros de pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (C.N.P.q).



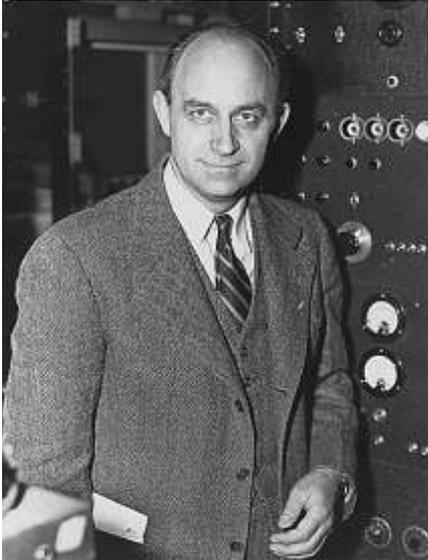
Fotografia tirada na Universidade de Princeton Estados Unidos da América em 1948, um ano antes da Fundação do CBPF.

De Pé da esquerda para direita. Cezar Lattes\*, H. Yukawa\*\*, Walter Schutzer\*\*\*. Abaixados Hervásio G. de Carvalho\*, Leite Lopes\* e Jaime Tiomno\*.

\* Fundadores e pesquisadores do CBPF \*\* Prêmio Nobel de Física em 1949 \*\*\* Pesquisador Brasileiro.

A existência do nêutron foi verificada experimentalmente em 1932, por Chadwick. Hoje, aceitamos como constituintes do núcleo as partículas próton e nêutron: é a hipótese próton-nêutron. Essas partículas constituintes do núcleo são denominadas nucleons.

## 2) A ENERGIA NUCLEAR PEQUENA HISTÓRIA DA VIDA DE FERMI



Fermi

Não poderemos dissociar do desenvolvimento e aproveitamento da energia nuclear o nome de Enrico Fermi, um dos maiores físicos do século. Enrico Fermi nasceu, em Roma, no dia 29 de setembro de 1901. Stefano Fermi, o avô paterno, foi o primeiro de uma família de camponeses a abandonar o trabalho da terra. Alberto Fermi, o 2º filho de Stefano, pai de Enrico Fermi, trabalhava na Companhia Ferroviária "Alta Itália".

Cedo, Enrico Fermi, auxiliado por sua irmã, aprendeu a ler e escrever, e tendo uma memória prodigiosa, guardou trechos longos de "Orlando Furioso". Em 14 de novembro de 1918, fez concurso para a Escola Normal Superior de Pisa. A sua tese de "Laurea" defendida em 1922, foi sobre "Difração de Raio-X em Cristais", tendo recebido da Banca Examinadora a "magna cum laude". Em 1923, recebeu uma bolsa de estudos para trabalhar no Instituto de Max Bom, em Gothing. Bom ensinava Física Teórica, e James Franck, Física Experimental. Encontrou, em Gothing, os físicos (ainda jovens, mas já brilhantes) Werner Heisenberg e Pascual Jordan. Voltando da Alemanha, foi convidado por Corbino para ensinar Matemática para os Químicos da Universidade de Roma. Na Universidade reencontrou Pérsico, um amigo de juventude e um dos maiores matemáticos italianos. No dia 7 de novembro de 1926, a Banca Examinadora do Concurso para Professor de Física Teórica da Universidade de Roma

composta dos Professores Garbasso, Maggi, Cantone, Q. Majorana e Corbino, por unanimidade, apresentou como vencedores: Fermi, o primeiro; Persico, o segundo; e Aldo Pontremoli, o terceiro. Fermi permaneceu como professor em Roma, Persico foi para Florença e Pontremoli para Milão. No ano de 1929, Benito Mussolini nomeou Fermi "Academico d'Italia". A indicação de Fermi como Acadêmico teve a finalidade de atrair para o fascismo a Ciência Italiana.

Todavia, a atuação de Fermi, quer como acadêmico, quer como político, foi praticamente insignificante. A "Academia d'Italia" tinha por finalidade se opor à "Academia dei Lincei" que era composta por uma maioria de cientistas antifascistas.



Fermi visitou os Estados Unidos pela primeira vez em 1930, tendo sido convidado para lecionar em Ann Arbor, onde está situada a Universidade de Michigan. Nessa Universidade, ministrou um Curso de Verão em Física Teórica. Voltou posteriormente, nos anos de 1933 e 1935, e se tomou um grande amigo da América e dos americanos.

A atuação de Fermi como professor da Universidade de Roma foi fundamental para a mudança dos destinos da Física na Itália. Até 1928, não existiam livros de Física Moderna adaptados aos estudos universitários. O único livro utilizado por toda uma geração de física era em alemão: "Atombau und Spektrallinien" de Sommerfeld. Fermi começou a escrever em 1927 e publicou, em 1928, em italiano, uma "Introduzione alla Física Atômica". A sede de toda a modificação científica de Roma, e da própria Itália, era o velho Instituto de Física da Universidade de Roma, situado na rua Panisperna 89a. Neste Instituto, dirigido pelo professor Corbino, Fermi pôde concentrar os melhores estudantes de Física da época. Foram discípulos e colegas de Fermi: Amaldi, Bruno Pontecorvo, Basetti, Majorana e Emilio Segre. Fermi introduziu na velha Universidade o estudo de mecânica quântica e mostrou a importância dos trabalhos de Rutherford na física nuclear.

Corbino, Fermi pôde concentrar os melhores estudantes de Física da época. Foram discípulos e colegas de Fermi: Amaldi, Bruno Pontecorvo, Basetti, Majorana e Emilio Segre\*. Fermi introduziu na velha Universidade o estudo de mecânica quântica e mostrou a importância dos trabalhos de Rutherford na física nuclear. Corbino, apoiando as idéias de Fermi, em 1929, apresentou na "Società Italiana per il Progresso delle Scienze", em Florença, um trabalho profético que viria modificar os destinos da Física Italiana. Poderemos citar alguns trechos desse trabalho:

"A única possibilidade de novas grandes descobertas da Física reside no fato de podermos modificar o núcleo interno do átomo. Este será um trabalho verdadeiramente digno da física futura".

... "O único caminho que poderá permitir a agressão do núcleo do átomo é aquela que permite a aceleração artificial dos projéteis naturais dos elementos radioativos em grande número e com grande velocidade, o que exigirá tubos carregados e alimentados a uma diferença de potencial de dez milhões de volts. Somente dificuldades técnicas e financeiras, não a priori insuperáveis, se opõem a realização deste grande projeto. O objetivo não é somente a transmutação dos elementos químicos em quantidades sensíveis, mas a constatação da grande produção energética que deverá se manifestar na pulverização ou reconstituição dos núcleos atômicos".

Estavam previstas a Fissão e a Fusão nucleares.



*Emilio Segre*

(\*) Emilio Segre. Nasceu em Tivolino a 1º de fevereiro de 1905. Foi o primeiro estudante que se laureou sob a orientação de Enrico Fermi. No ano de 1959, recebeu juntamente com O. Chamberlain, o Prêmio Nobel de Física pela descoberta do antipróton. Grande parte das informações sobre a vida de Fermi, nesta pequena monografia, foram retiradas do seu livro "Enrico Fermi, Físico".

Em 1933, Fermi escreveu uma teoria sobre o decaimento beta. O seu trabalho "Tentativo di una Teoria dell'Emissione dei Raggi Beta" foi rejeitado pela revista "Nature", pois segundo a revista, apresentava muitas hipóteses que estavam longe de uma realidade física. Seu trabalho, que constitui a base das Interações Fracas e do estudo da Desintegração Beta, foi publicado nas revistas "Zeitschrift für Physik" e "Ricerca Scientifica". Em março de 1934, Fermi sugeriu a Rasetti que irradiasse vários elementos com nêutrons de uma fonte Polônio-Berílio, que era muito fraca. Posteriormente, após quase 2 anos de trabalho, Fermi, com o auxílio do Instituto de Saúde Pública, construiu uma fonte de Rádio-Berílio. Com esta fonte mais potente, Fermi bombardeou, sistematicamente, diversos elementos em ordem crescente de peso atômico. Publicou o trabalho em 25 de março de 1934, intitulado: "Radioattività Provocata dal Bombardamento di Neutroni I". O I indicava que haveria uma série de trabalhos sobre o mesmo assunto. Solicitou o auxílio de Amaldi e Segre. Telegrafou a Rasetti, que estava de férias em Marrocos, para que voltasse rapidamente. Por felicidade, ou infelicidade do grupo, chegava à Roma, nesta época, o químico Oscar D'Agostino que recebera uma bolsa para trabalhar no Laboratório de Marie Curie. Feliz ou infelizmente, porque Oscar D'Agostino, se interpretasse bem os resultados das experiências -de Reações de Neutrons com o Urânio, deveria ter chegado, vários anos antes, à descoberta da Fissão. É interessante a carta de Lord Rutherford a Fermi no ano de 1934.

*"Caro Fermi.*

*Agradeço a gentileza de me enviar uma resenha de suas recentes experiências nas quais tem provocado uma radioatividade em muitos elementos utilizando nêutrons como partículas incidentes. Os seus resultados são de grande interesse, e não duvido que obteremos rapidamente maiores informações sobre o verdadeiro*

*mecanismo dessas transformações. Não está claro que em todos os processos as explicações sejam tão simples como as das observações de Juliot Curie. Congratulo-me com você pela sua fuga da esfera da Física Teórica. Parece que você encontrou um bom filão para começar. É bom saber, também, que o Prof. Dirac está fazendo experiências. Isto parece um bom augúrio para a Física Teórica.*

*Congratulações e muitas felicidades*

*Rutherford"*

Nesta época (1934), acreditava-se que a eficiência dos nêutrons para produzir novos núcleos aumentasse com a sua energia. Nesse mesmo ano, foi descoberto que esta idéia estava errada(5).

No verão de 1934, Fermi esteve no Brasil e, em São Paulo, encontrou o Físico de Turim Gleb Wataghin\* e um velho companheiro da Escola Normal de Pisa, o matemático Luigi Fantappie. Wataghin e Occhialini criaram uma fluorescente Escola de Física que muito contribuiu para o desenvolvimento da Ciência Brasileira.

O ano letivo de 1934-1935 foi um dos mais produtivos para o grupo de Fermi. Os trabalhos sobre nêutrons foram reunidos por Rutherford e publicados nos "Proceedings" da "Royal Society" de Londres. No trabalho apresentado à "Royal Society", a atividade produzida nos vários elementos é classificada em: fraca, média e forte. Com a finalidade de otimizar essa classificação um tanto grosseira, Ferrai indicou Amaldi e Pontecorvo para estudar as seções de choque das reações com nêutrons. O elemento escolhido inicialmente para o estudo foi a prata, que apresentava uma meia-vida de decaimento de 2,3 minutos. Verificaram que os resultados obtidos para a radioatividade induzida eram diferentes quando se mudava a mesa que suportava o pesado espectroscópio Hilger(5), isto é, dependia do fato da mesa ser de madeira ou de mármore.

\* O Instituto de Física da Universidade de Campinas é denominado de Instituto Gleb Wataghin.

Verificou-se mais tarde que o fato poderia ser explicado pela moderação de velocidade dos nêutrons no hidrogênio da madeira. No dia 18 de outubro de 1934, para esclarecer este "mistério", começaram a estudar, sistematicamente, este problema. Para evitar a dispersão de nêutrons na experiência, foi constituído um pequeno anteparo de chumbo. Sem que ninguém soubesse o porquê, Fermi substituiu o pesado anteparo por parafina. Muitos anos mais tarde, contou ao astrônomo Chandrasekhar o modo fortuito como são feitas as descobertas científicas: "Desejo contar como fiz a descoberta mais importante da minha vida. Um dia, indo ao laboratório, estava pensando em estudar a absorção de nêutrons por um bloco de chumbo. Quando, finalmente, estava para começar a experiência, eu pensei: não quero um bloco de chumbo mas um de parafina. Foi verdadeiramente uma inspiração improvisada, sem uma razão premeditada".

O certo de tudo isto é que, no dia 22 de outubro de 1934, foi utilizada pela primeira vez parafina na moderação de nêutrons. Numa outra parte do Instituto, enquanto Fermi trabalhava, estava sendo realizado um exame, do qual participavam, como Membros da Banca Examinadora, quase todos os componentes do grupo de Fermi. Persico, em visita a Roma, e Bruno Rossi, assistiam às experiências. Ao meio-dia, Fermi convocou todos os membros do Instituto para verificar um estranho fenômeno: a parafina multiplicava grandemente o efeito dos nêutrons. Todos foram para o almoço ainda confusos com os resultados da parte da manhã. Quando voltaram, às 3 da tarde, Fermi já havia apresentado uma hipótese que explicava a ação da parafina: I os nêutrons lentos eram mais eficazes que os rápidos na produção de reações nucleares em certos elementos; II a parafina agia como moderador, isto é, o choque dos nêutrons com os núcleos de hidrogênio (elementos leves) da parafina perdiam grande parte de suas energias cinéticas.

A noite, na casa de Amaldi, foi preparada uma "lettera" para comunicar a descoberta, que seria publicada na "Ricerca Scientifica". Como a esposa de Amaldi era redatora da revista, enviou para a redação, na manhã seguinte, o artigo que tinha como título "Azione di Sostanze Idrogenate sulla Radioattività Provocata da Neutroni I". São autores: E. Ferrai, E. Amaldi, B. Pontecorvo, F. Rasetti, E. Segre. Foi um verdadeiro pandemônio a preparação da breve comunicação na casa de Amaldi. Ferrai ditava. Segre escrevia. Rasetti, Amaldi e Pontecorvo andavam pela sala fazendo comentários em altas vozes. A empregada do casal Amaldi perguntou a Ginestra Amaldi se estavam todos malucos. Corbino considerou muito importante a descoberta que foi patenteada, tendo recebido o número de patente italiana N.324458, no dia 26 de outubro de 1935. Os inventores registrados foram: Ferrai, Amaldi, Pontecorvo, Rasetti, e Segre, que decidiram, caso houvesse qualquer lucro em dinheiro, dividir a quantia, em partes iguais, também com os químicos Trabachi e D'Agostino. Foi realmente um problema legal muito difícil, a cobrança dos direitos da patente. A termalização de nêutrons foi utilizada na construção do primeiro reator nuclear, em 1942, nos Estados Unidos. Os advogados do Governo Americano lutaram, até 1953, para não pagar os direitos sobre a patente. Além do mais, em 1950, Pontecorvo, no mês de setembro, fugira para a União Soviética. No verão de 1953, o Governo Americano perdeu a questão e pagou aos inventores quatrocentos mil dólares, que correspondia à uma quantia de vinte e cinco mil dólares para cada um. Os anos de 1936 e 1937 apresentaram uma atmosfera pesada na Itália. A retórica de Mussolini, mesmo para pessoas apolíticas como Fermi, ressoava de maneira desagradável. A conquista da mísera Etiópia era para o fascismo a restauração das glórias do Império Romano. Veio, posteriormente, a aliança com a Alemanha, que desgostou os intelectuais italianos. A gota d'água para Fermi foi o "Manifesto della razza" que apresentava a bandeira do anti-semitismo na Itália.

A esposa de Fermi era semita e, como o marido, começou a pensar, cautelosamente, em se deslocar para a América. A morte de Corbino em 1937, com 61 anos, talvez tenha também contribuído para esta decisão. Foi escolhido, para substituí-lo no Instituto de Física, o professor Lo Surdo, inimigo de Fermi que apresentava total apoio ao governo de Mussolini. O Premio Nobel recebido por Fermi, em Estocolmo, contribuiu de maneira categórica para a sua ida à América. Fermi recebeu uma comunicação reservada de Niels Bohr, no verão de 1938, de que seria agraciado com o Prêmio Nobel pela produção de elementos transuranianos resultantes do bombardeamento de urânio por nêutrons. A comunicação contrariava o sigilo que cerca o Prêmio Nobel. Foi feita com a finalidade de evitar as represálias que haviam sido postas em práticas pelo governo da Alemanha, com outros pesquisadores agraciados pelo prêmio.

No dia 10 de novembro de 1938, recebeu por telefone o convite oficial para receber o Prêmio Nobel. Partiu de trem, de Roma, no dia 6 de dezembro, juntamente com Laura, sua esposa e os dois filhos, Nelia e Giulio. Compareceram ao embarque Amaldi e Rasetti, que perceberam que a partida representava o fim de uma época memorável da Universidade de Roma.



*Otto Hahn*

Enquanto se desenrolavam em Estocolmo as cerimônias da entrega do Prêmio Nobel, na Alemanha, Otto Hahn e Fritz Strassman faziam a descoberta mais importante da Física Nuclear: a fissão do núcleo. A comunicação foi apresentada à Revista "Naturwissenschaften" no dia 22 de dezembro de 1938. Eles determinaram, sem qualquer sombra de dúvida, a presença de bário como produto do bombardeamento do urânio por nêutron.

Antes de publicar o trabalho, Hahn e Strassman comunicaram a descoberta a Frisch e a Lise Meitner que se encontravam na Dinamarca, pois foram obrigados a abandonar a Alemanha. Pela presença de bário, Lise Meitner, que trabalhara muitos anos com Otto Hahn, concluiu então que o bário era um dos fragmentos que resultavam da fissão do urânio. Meitner trabalhava com Niels Bohr, em Copenhague. Este fato terá grande importância na História da Energia Nuclear. Da Suécia, Fermi dirigiu-se a Copenhague, tendo sido recebido cordialmente na casa da família de Niels Bohr. Partiu da Europa no navio Franconia e desembarcou, no dia 2 de janeiro de 1939, em New York. Disse, ao desembarcar, para Laura: "Fundamos o ramo americano da família Fermi". Foi recebido, no desembarque, pelo Professor G. B. Pegram, Chefe do Departamento de Física da Universidade de Columbia.



*Enrico Fermi*



*Fritz Strassman*



*Lise Meitner e Otto Hahn*

### 3) O PRIMEIRO REATOR NUCLEAR

No dia 16 de janeiro de 1939, chegavam a Princeton o professor Niels Bohr. Conversando com Einstein e Wheeler, apresentou os trabalhos de Frisch e Meitner. Einstein, entusiasmado, pensou na possibilidade da utilização da energia liberada na fissão. Numa conferência na Universidade George Washington, Fermi e Bohr têm oportunidade de trocar informações sobre o problema da fissão. Fermi mencionou a possibilidade de emissão de nêutrons na fissão do urânio. Nestas conversas estavam sendo iniciadas as primeiras idéias sobre a possibilidade de uma reação em cadeia. Em 27 de fevereiro de 1939, o canadense Walter Zinn e o húngaro Leo Szilard começaram a estudar, na Universidade de Colúmbia, a emissão de nêutrons na fissão do Urânio. Paralelamente, Fermi e seus colaboradores H. L. Anderson e H. B. Haustein iniciaram também as pesquisas desse mesmo problema. Os resultados dessas duas experiências foram publicados simultaneamente na edição de abril de



*Enrico Fermi e Niels Bohr*

"Physical Review" e foi mostrado que era possível uma reação em cadeia utilizando os nêutrons produzidos na fissão. Fermi e Pegram acharam que o Governo norte-americano deveria ser informado do trabalho. No dia 16 de março, o almirante Hooper, Assistente Técnico do Chefe de Operações Navais dos Estados Unidos da América, recebia a carta de Pegram na qual Fermi informava que havia possibilidade da produção de um novo explosivo de origem nuclear. No dia 18 de

março, dois dias após a carta, Fermi foi recebido pelo Ministro da Marinha e realizou uma conferência com pesquisadores militares e civis. Um cientista da Marinha, Ross Gunn, conseguiu entusiasmar seu superior, o almirante Bowen, que destinou rapidamente a quantia de mil e quinhentos dólares para ajudar nas pesquisas na Universidade de Colúmbia. Com a finalidade de influenciar o Presidente F. D. Roosevelt, Szilard conseguiu um intermediário, Alexander Sachs, para levar uma carta de Albert Einstein.

A íntegra da carta de 2 de agosto de 1939 é a seguinte:

ALBERT EINSTEIN

Old Grove Road

Nassau Point

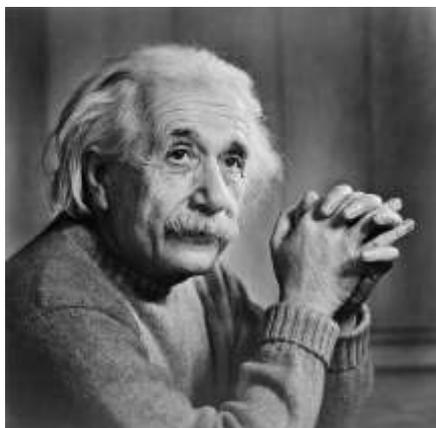
Peconic, Long Island

August, 2nd, 1939

*“Senhor Presidente,*

*Algumas pesquisas desenvolvidas recentemente por E. Fermi e L. Szilard, cujas comunicações me foram entregues em manuscritos, induziram-me a considerar que o elemento urânio possa ser transformado, num futuro próximo, em uma nova e importante fonte de energia. Alguns aspectos da situação justificam uma certa vigilância e uma rápida intervenção por parte da administração estatal. Considero, portanto, que seja meu dever solicitar a V. Excia. grande atenção para os fatos e recomendações que se seguem:*

*Nos últimos quatro meses, foi confirmada a possibilidade (graças aos trabalhos de Juliot Curie, na França e os de Fermi e Szilard, na América) que torna possível produzir, em uma grande massa de urânio, uma "reação nuclear em cadeia" capaz de gerar grande quantidade de energia e numerosos elementos com características semelhantes ao raio. Atualmente, temos quase que certeza que poderemos chegar a estes resultados num futuro imediato.*



Albert Einstein

*Este novo fenômeno poderá permitir a construção de bombas extremamente potentes. Uma única bomba deste novo tipo, transportada por uma embarcação e explodindo num porto, poderá destruir inteiramente o porto e grande parte do território adjacente. Todavia, elas devem ser relativamente pesadas para serem transportadas por avião.*

*Os Estados Unidos dispõem de uma quantidade pequena de minérios com baixo teor de urânio. Encontramos bons minérios de urânio no Canadá e na Tchecoslováquia, sendo que o país que possui as melhores minas de urânio é o Congo Belga.*

*Em função de toda esta situação, seria interessante e oportuno um contato permanente entre a alta administração do governo e o grupo de físicos que estão estudando a "reação em cadeia" na América. Uma das maneiras de realizar tal ligação seria a escolha de uma pessoa que gozasse de sua confiança e que poderia agir de maneira não oficial. As suas atribuições seriam as seguintes:*

- a) manter o governo informado dos desenvolvimentos recentes neste campo e formular recomendações através de intervenções do Estado, para assegurar aos Estados Unidos o suprimento necessário de material uranífero;*
- b) acelerar o trabalho no campo experimental que se desenvolve atualmente nos laboratórios das Universidades de maneira limitada, fornecendo mais financiamento, ou caso seja necessário, mantendo contato com empresas privadas dispostas a colaborar com esta causa, e procurando a participação de laboratórios industriais que disponham de aparelhagem necessária.*

*Sou conhecedor do fato de que a Alemanha efetivamente bloqueou a venda de urânio das minas da Tchecoslováquia, das quais tomou posse. A decisão de agir rapidamente desta forma pode ser explicada pelo fato de que o filho do sub-secretário de Estado, Von Weizsäcker, trabalha no Kaiser-Wilhelm-Institut de Berlim, onde estão sendo realizadas, em parte, as mesmas pesquisas sobre o urânio que se desenvolvem nos Estados Unidos.*

*Cordialmente,  
Alberto Einstein"*

A audiência só foi obtida, por Sachs, no dia 11 de outubro. Após a leitura da carta, no fim da audiência, o Presidente Roosevelt dirigiu-se ao seu Adido Militar, General E. M. Watson, e declarou: "Devemos agir imediatamente". O Presidente Roosevelt nomeou o Dr. Lyman J. Briggs, que era Diretor do "Bureau of Standards" para Presidente de uma "Comissão do Urânio". Faziam parte da Comissão o Almirante Hoover e o Coronel Adamson. Foram convidados os cientistas Szilard, Wigner e Teller (o pai da bomba de hidrogênio), todos húngaros, e o italiano Fermi. Em 1940, por sugestão de Vannever Bush, o Presidente F. D. Roosevelt criou o NDRC (National Defense Research Committee), com a finalidade de desenvolver pesquisas associadas a problemas de defesa. O Comitê deveria mobilizar a ciência para atividades bélicas. Bush foi nomeado Presidente do NDRC, e a Comissão de Urânio foi colocada sob seu controle. Bush reorganizou a Comissão de Urânio, permanecendo Briggs na presidência. Mas, por questões de segurança, foram convidados os físicos Tuve, Pegram, Beams, Gunn e Urey, todos de nacionalidade americana, para fazer parte do projeto juntamente com os europeus já convidados anteriormente. Fermi se interessava muito pouco pelos problemas de administração e planificação, pois estava totalmente absorvido pela idéia da solução da Reação em Cadeia. Ficava na sua mesa concentrado nos problemas técnicos e científicos, e deixava o

ativismo político para Szilard, Teller e Wigner.

Durante a primavera de 1941, começaram a aparecer sinais importantes da participação de físicos americanos de primeira linha no Projeto Nuclear. Passaram a participar ativamente dos trabalhos A. H. Compton e E. O. Lawrence, pois achavam que havia uma certa lentidão nas pesquisas desenvolvidas. Nos primeiros dias de dezembro de 1941, um pouco antes da entrada dos Estados Unidos na Guerra e do ataque a Pearl Harbor, a situação era esta:

- i) não havia ainda sido realizada uma Reação em Cadeia;
- ii) era mínima a produção de Urânio-235 necessário à preparação de um artefato nuclear (é grande a seção de choque desse isótopo do urânio para nêutrons térmicos). Era ponto pacífico entre cientistas que o urânio natural não poderia ser utilizado como explosivo. Foi um triunfo da Tecnologia e da Ciência americana a separação do urânio-235 em larga escala. Devemos destacar os nomes de Urey, Dunning, Boothm Cohenm e Lawrence e das grandes indústrias Dupont, Union Carbide e Eastman nesta pesquisa. Fermi não participou desses trabalhos;
- iii) só haviam sido preparados alguns microgramas de Plutônio-239 com o Ciclotron de Berkeley. Os Físicos e Químicos vendo a produção insuficiente de Plutônio-239, sugeriram a construção de um sistema (Reator Nuclear) que gerasse maior quantidade de Plutônio. Os resultados foram comunicados por Seaborg a Briggs, em carta secreta, por questões de segurança. Briggs comunicou essas conclusões a Fermi.

Em novembro de 1941, foi tomada uma decisão para acelerar o projeto nuclear e incentivar a atuação do NDRC. Compton, apesar de não gostar de físicos estrangeiros recém-chegados, foi até a Universidade de Colúmbia para visitar Fermi e recolher informações precisas para a construção da Bomba Atômica. Compton, encarregado de ativar o projeto, transferiu os trabalhos da



1º Reator Nuclear\*\*

Universidade de Colúmbia para Universidade de Chicago, onde era professor. Formou uma grande organização, concentrada em Chicago, que tomou o nome de

"Metallurgical Laboratory". Fermi iniciou, com Anderson, na Universidade de Chicago, a construção de uma Pilha Nuclear de proporções maiores do que a que havia sido programada para a Universidade de Colúmbia. Este reator foi construído no estádio de atletismo da Universidade, apesar das objeções de Compton e do General L. R. Greves, que havia sido nomeado, em setembro de 1942, Chefe do M.E.D. (Manhattan Engineer District), que tinha por finalidade dirigir os projetos de aplicações militares da Energia Nuclear. Um dos primeiros grandes problemas para a construção do Reator de Chicago foi o da colocação geométrica do combustível no Reator, e a escolha de um bom moderador para nêutrons.

Fermi e Szilard resolveram os problemas geométricos da colocação do Urânio e utilizaram, para moderador de nêutrons, o grafite, material que poderia ser produzido em quantidades apreciáveis e com grande grau de pureza. Para controlar o fluxo de nêutrons na Pilha, Fermi sugeriu a



utilização de barras de Cádmio, que apresentava grande seção de choque de absorção para nêutrons, como havia sido determinado pelo grupo de Fermi em pesquisas realizadas na Universidade de Roma. A colocação das barras de controle de Cádmio foi calculada por Anderson e Zinn. No dia 2 de dezembro de 1942, com a presença de: W. Arnold, H. M. Barton, R. F. Christy, A. H. Compton, R. J. Fox, S. A.

\*\* Na publicação "The First Reactor", da "U. S. Atomic Energy Commission", existe uma descrição por-memorizada da entrada em funcionamento do 1º Reator Nuclear.

Fox, D. K. Forman, A. C. Graves, C. H. Grenewalt, D. L. Hill, W. H. Hinch, W. R. Kanne, P. G. Koontz, H. E. Kubtscheck, G. Miller, G. Monk Jr., W. P. Overbeck, H. J. Parson, G. S. Pawlicki, L. Sayvets, L. Seren, L. A. Slotin, F. H. Speeding, R. J. Watts, G. L. Weil, E. P. Wigner, V. C. Wilson, E. O. Wollan, Miss L. Woods, e os demais da foto abaixo, entrou em operação o primeiro Reator Nuclear, com uma reação em cadeia autosustentável. Após o sucesso da experiência, Wigner presenteou Fermi com uma garrafa de vinho Chianti. Fermi, utilizando copos de papel, ofereceu vinho a todos os presentes, que brindaram o início da ERA NUCLEAR.



*Acima da esquerda pra direita:* Norman Hilberry, Samuel Allison, Thomas Brill, Robert G. Nobles, Warren Nyer, and Marvin Wilkening. *No meio:* Harold Agnew, William Sturm, Harold Lichtenberger, Leona W. Marshall, and Leo Szilard. *Abaixo:* Enrico Fermi, Walter H. Zinn, Albert Wattenberg, and Herbert L. Anderson.

## REFERÊNCIAS

- 1 - Boutier, L., "El Atomismo Griego", Buenos Aires, 1936.
- 2 - Schurmann, P. F., "História de la Fisica", Editorial Nova, Buenos Aires - vol. II.
- 3 - Schurmann, P. F., "História de la Fisica", Editorial Nova, Buenos Aires - vol. II.
- 4 - Holton, G. and Roller, D. H. D., "Foundations of Modern Physical Science", Addison-Wesley, 1958.
- 5 - Segre, E. (\*), "Enrico Fermi, Fisico". Zanichelli Editore. Bologna, 1976.
- 6 - Allardice, C., Trapnell, E. R., "The First Reactor"(\*\*), U.S. Atomic Energy Commission/Division of Technical Information, 1946.

Comissão Nacional de Energia Nuclear  
Rua General Severiano, 90 - Botafogo  
Rio de Janeiro - RJ - CEP 22290-901  
[www.cnen.gov.br](http://www.cnen.gov.br)

Criação e Desenvolvimento:  
Coordenação de Comunicação Social  
Tel.: (21)2173-2130 FAX: 2173-21333  
[comunicacao@cnen.gov.br](mailto:comunicacao@cnen.gov.br)  
Claudia Souza (coordenação)  
Luís Machado (revisão)  
Ana Paula Saint'Clair (produção gráfica)  
Luiz Claudio Braz (diagramação)



**CNEN**

Comissão Nacional  
de Energia Nuclear

Ministério da  
**Ciência, Tecnologia  
e Inovação**

