

PRÉ-HISTÓRIA

E

HISTÓRIA

DA

FÍSICA NUCLEAR

Carlos Fiolhais
Departamento de Física da Universidade de Coimbra

PRÉ-HISTÓRIA E HISTÓRIA DA FÍSICA NUCLEAR

A Física Nuclear começou no fim do século passado por um duplo acaso feliz. O primeiro acto de "seripendidade" (do nome do príncipe Seripe da ilha de Ceilão, um indivíduo a quem a sorte repetidamente vinha ter sem ele fazer nada por isso!) consistiu na descoberta dos raios X, pelo alemão Wilhelm Roentgen, na cidade bávara de Wuerzburg. Quando um dia trabalhava com um tubo de raios catódicos, Roentgen verificou que um écran um pouco distante ficava fluorescente: era o choque do feixe de electrões no tubo com as paredes deste que dava origem a uma radiação invisível tornada visível no écran. O acontecimento deu-se no ano de 1895, tendo, devido a ele, Roentgen ganho, justamente, o primeiro Prémio Nobel da Física, no ano de 1901.

O segundo acto aleatório ocorreu no ano seguinte, em 1896, com uma questão que se debateu à volta dos raios X. Na Academia Francesa de Ciências, o grande matemático Henri Poincaré (velhos tempos, quando os matemáticos metiam a colher na sopa da Física!) sugeriu que se analisasse a relação dos fenómenos de fluorescência com a radiação X. Se o tubo de raios X ficava fluorescente, talvez outros materiais com a mesma propriedade fossem capazes de emitir a mesma radiação misteriosa. Um físico e académico francês - Henri Becquerel - cujo pai tinha sido também académico, tentou avaliar da correcção da conjectura de Poincaré. Um sal de urânio era conhecido por ficar fluorescente sob acção da luz solar. Tratava-se agora de saber se era também emissor de raios X. Quis o acaso que ele tivesse deixado o sal de urânio dentro de uma gaveta juntamente com uma chapa fotográfica. Aconteceu então que a amostra, mesmo não exposta aos raios solares, impressionou a chapa fotográfica. Em questões de acaso, não basta ser alvo dele, sendo necessário recebê-lo dignamente: Becquerel deduziu logo que havia uma nova radiação, proveniente do urânio, ainda mais misteriosa que os raios X, e, com tal conclusão, mereceu o Prémio Nobel em 1903.

Os raios X vinham, sabe-se hoje, dos electrões do átomo. Os raios de Becquerel, por sua vez, provinham do interior do núcleo atómico, objecto de que nessa altura não se suspeitava a existência. Começou então a Física Nuclear, ainda que apenas na sua fase pré-histórica. A história iniciou-se apenas 15 anos mais tarde, quando se identificou, sem margem para dúvidas, o pequeno núcleo no centro do átomo.

Este texto pretende fornecer um breve bosquejo da pré-história e história da Física Nuclear. Para não se tornar numa descrição demasiado passadista, e para lembrar que a Física Nuclear, se é certo que já tem uma grande história atrás de si, não é menos que tem ainda um brilhante futuro à sua frente, traçar-se-á no fim uma breve "história do futuro" (título "roubado" ao Padre António Vieira), enumerando algumas das questões actuais no domínio da Física Nuclear.

Foi um personagem típico do século passado aquele que, pela primeira vez, entreviu o núcleo, o objecto central da Física do século XX. Becquerel, com barba e bigode farfalhado e ligeiramente calvo, foi contemporâneo de Joule e Kelvin na Física, de Darwin na Biologia.

A pré-história da Física Nuclear ficou marcada, além de Becquerel, por duas outras personagens principais, que com ele por várias vezes privaram: o casal Pierre e Marie Curie. Pierre Curie fez nome na Física antes de sua esposa, que é hoje talvez mais conhecida do grande público. Tinha trabalhado em piezoelectricidade e em magnetismo, antes de se virar para a radioactividade. A sua consorte, uma jovem estudante de origens modestas que tinha vindo da Polónia cursar Física em Paris, interessou-se pela radioactividade de Becquerel, tendo sido assistente deste. O casal Curie conseguiu identificar os vários elementos químicos que eram responsáveis pela radiação misteriosa. A origem da radioactividade natural residia nos elementos químicos urânio, tório, polónio e rádio. Se o urânio e o tório já eram conhecidos antes, o polónio e o rádio foram reconhecidos e baptizados pelos Curie (a síntese do rádio foi completada em 1898). O nome do polónio surgiu como homenagem ao país natal de Marie Sklodowska Curie e o nome de rádio veio do termo latino para raio (este elemento forneceu a raiz do neologismo “radioactividade”). Hoje sabe-se que estes núcleos são a origem das chamadas séries radioactivas de elementos pesados, que têm todas fim no chumbo, praticamente o maior dos elementos estáveis. Foi um trabalho difícil, demorado e exigente aquele que os Curie efectuaram num barracão, em condições precárias: para isolar um mísero miligrama de rádio tiveram de tratar toneladas de minério, proveniente de minas austríacas. Essa proeza ainda hoje serve de exemplo de perseverança e devoção à causa científica, sem atender a quaisquer compensações de ordem material. Uma referência única sobre Madame Curie é a comovente biografia escrita pela sua filha Eva Curie nascida em 1900. Em 1903, o casal Curie recebeu, em conjunto com Becquerel, o Prémio Nobel da Física e, em 1911, Madame Curie recebia o seu segundo Prémio Nobel, desta vez da Química (muito poucas pessoas haveriam de repetir essa façanha).

Madame Curie sucedeu na cátedra da Sorbonne a seu marido, falecido em 1906 num estúpido acidente de caleche numa rua parisiense. O “Tratado de Radioactividade” de Madame Curie, editado em 1910 pela Gauthiers - Villars e que sumariava o conhecimento da época sobre o assunto, tinha, significativamente, uma fotografia de Pierre no frontispício.

A senhora Curie teve uma ligação particular com Portugal. Com efeito, Mário Silva, professor de Física da Universidade de Coimbra, efectuou o doutoramento no Instituto do Rádio em Paris, tendo aí estagiado de 1925 a 1929. Foram ainda alunos de Marie Curie os portugueses Manuel Valadares e Branca Marques, esta uma das primeiras mulheres cientistas em Portugal.

Em finais de 1910 realizava-se num laboratório de Manchester a descoberta do núcleo. Esse resultado, embora obtido na prática pelas interpostas pessoas de Geiger e Marsden (o primeiro assistente e o segundo estudante), foi obra do professor Ernest Rutherford, um neo-zelandês grande e truculento, que tinha trabalhado antes na Universidade de Cambridge, na Inglaterra, e na Universidade de McGill, no Canadá. Quando descobriu o núcleo, Rutherford já tinha nome feito na física dos fenómenos radioactivos, tendo recebido o Prémio Nobel da Química em 1908. Em particular, contribuiu decisivamente para o esclarecimento da natureza da radioactividade. Um campo eléctrico permitia dividir a radiação em raios alfa, carregados positivamente (e que, segundo concluiu Rutherford em 1909, mais não eram do que núcleos de hélio), raios beta (que mais não eram do que electrões como aqueles no tubo de raios catódicos de Roentgen) e raios gama, uma forma de radiação muito parecida com a de Roentgen mas muito mais penetrante. A descoberta de Rutherford foi apresentada à Manchester Literary and Philosophical Society, em 7 de Março de 1911. Rezava assim a sua comunicação intitulada “A dispersão de raios alpha e beta e a estrutura do átomo”:

“Existem, porém, algumas experiências sobre dispersão que indicam que uma partícula alpha ou beta ocasionalmente sofre uma deflexão de mais do que 90° num único encontro. Por exemplo, Geiger e Marsden (Proc. Roy Soc. 82, n. 495, 1909) encontraram que uma fracção pequena das partículas alpha incidentes numa película fina de ouro sofre uma deflexão superior a um ângulo recto. (...) Para explicar este e outros resultados, é necessário supor que a partícula electrizada passa por um campo eléctrico intenso dentro do átomo. A dispersão de partículas electrizadas é considerada para um tipo de átomo que consiste de uma carga eléctrica central concentrada num ponto e rodeada por distribuição esférica uniforme de electricidade oposta igual em grandeza”.

Tinha sido descoberto o núcleo: este era precisamente a “carga eléctrica central concentrada num ponto”. Na linguagem pitoresca de Rutherford, tudo se passava como se um atirador tivesse arremessado um tipo de obus de quinze polegadas contra uma folha de papel, o tiro tivesse rechaçado para vir embater no nariz do atirador... Alguns aforismos de Rutherford ficaram célebres. Um definia por exclusão a ciência, esclarecendo que “uma coisa é ciência e outra colecção de selos”. O melhor dos ditos de Rutherford foi, talvez, aquele que proferiu quando da atribuição do Prémio Nobel da Química:

“Tenho assistido a muitas transmutações radioactivas bastante rápidas mas nenhuma foi tão rápida como a que o Comité Nobel acaba de fazer, transformando-me de físico em químico”.



Fig. 1 - Congresso Solvay de 1911

Em 1911, uma fotografia dos participantes do 1º Congresso Solvay, em Bruxelas, (Fig.1) mostra Rutherford perto de Madame Curie (que está em diálogo com Henri Poincaré). Perto deles aparece Albert Einstein, por cuja teoria da relatividade nem Madame Curie nem Rutherford se interessam (Rutherford manifestou até um certo desdém por tal teoria). O facto de serem os únicos físicos nucleares no retrato de grupo testemunhava que esse ramo da Física estava ainda a emergir. Na figura ainda não aparece um personagem que haveria de marcar a Física deste século, incluindo a Nuclear, e que teria um papel muito activo em vários Congressos Solvay posteriores: Niels Bohr, que em 1913 consolidou a descoberta de Rutherford propondo o modelo planetário do átomo, segundo o qual os electrões giravam em torno do núcleo.

A primeira reacção nuclear (isto é, uma experiência de colisão em que os parceiros perdem, durante o processo, a sua identidade inicial) foi observada em 1919 por Rutherford. A experiência consistiu em enviar partículas alfa para cima de azoto, verificando-se que saía oxigénio e hidrogénio. Estava-se perante um acto moderno de alquimia! Repare-se na precisão e concisão, mas ao mesmo tempo cuidado, com que Rutherford procede à identificação do hidrogénio dentro dos núcleos (mais tarde, Rutherford chamou próton ao núcleo do hidrogénio):

“Dos resultados obtidos até agora é difícil evitar a conclusão que os átomos de longo alcance que surgem da colisão de partículas alfa com o azoto não são átomos de azoto mas provavelmente átomos de hidrogénio, ou átomos de massa 2. Se é este o caso, temos de concluir que o átomo de azoto se desintegra sob as forças intensas desenvolvidas numa colisão próxima com uma partícula alfa rápida, e que o átomo de hidrogénio que é libertado é uma parte constituinte do núcleo de azoto”.

Além dos prótons, que mais partículas há no núcleo do azoto e dos outros elementos? Como os electrões escapam dos núcleos nos processos radioactivos beta pensou-se durante algum tempo que existiam, de facto, electrões nos núcleos, tal como existem cá fora. Diz o senso comum que se o senhor Fonseca aparece à porta de casa é porque, com certeza, estava antes em casa. Os electrões, contudo, aparecem à porta do núcleo sem estarem antes no núcleo. São o resultado do declínio de uma partícula, de cuja existência suspeitaram várias pessoas (entre elas o próprio Rutherford), mas só foi identificada experimentalmente em 1932 por um discípulo de Rutherford, James Chadwick, num laboratório de Cambridge, ganhando jus ao Prémio Nobel da Física de 1935. Na experiência de Chadwick, um núcleo de berílio, bombardeado com partículas alfa, originava carbono e libertava um neutrão. Este neutrão era depois absorvido por azoto, saindo finalmente novas partículas alfa e ficando um núcleo de boro.

1932 foi o "annus mirabilis" da Física Nuclear: nesse ano foi construído o primeiro acelerador circular (por Ernest Lawrence, em Berkeley, Califórnia), foi realizada a primeira reacção nuclear num acelerador (por John Cockcroft e Ernest Walton, em Cambridge; note-se a importância de se chamar "Ernesto", uma vez que já é o terceiro que aqui aparece) e descobriu-se, como já foi dito, o neutrão. Se as duas primeiras proezas foram precursoras de importantes técnicas experimentais para a exploração dos núcleos, tendo essas máquinas primitivas sido antepassadas dos modernos aceleradores, a última veio completar o elenco dos principais componentes do núcleo: o núcleo atómico é uma colecção de prótons e neutrões (genericamente nucleões), sendo a soma deles igual ao número de massa e o número de prótons, ou número atómico, igual ao número de electrões no átomo.

Em 1933 reunia mais um Congresso Solvay em Bruxelas (Fig. 2). Desta vez a percentagem de físicos nucleares era bastante maior. Apareciam, da velha geração, Ernest Rutherford e Marie Curie, e da nova Niels Bohr, James Chadwick, Ernest Lawrence, John Cockcroft, Enrico Fermi, George Gamow, Rudolf Peierls, Irène e Frédéric Joliot Curie, Lise Meitner, Werner Heisenberg, etc.. A Física Nuclear entrava na sua idade adulta.

A mecânica quântica, estabelecida em finais dos anos 20, é a teoria que explica os fenómenos tanto no átomo como no núcleo. A radioactividade alfa só pode ter lugar devido a um efeito quântico chamado efeito túnel, tal como o físico de origem russa George Gamow (famoso pelos seus livros de divulgação) concluiu em 1928. Os processos radioactivos beta, por sua vez, foram teorizados pelo italiano Enrico Fermi em 1934, usando ainda a mecânica quântica. A teoria apareceu nestes casos bem depois da experiência.

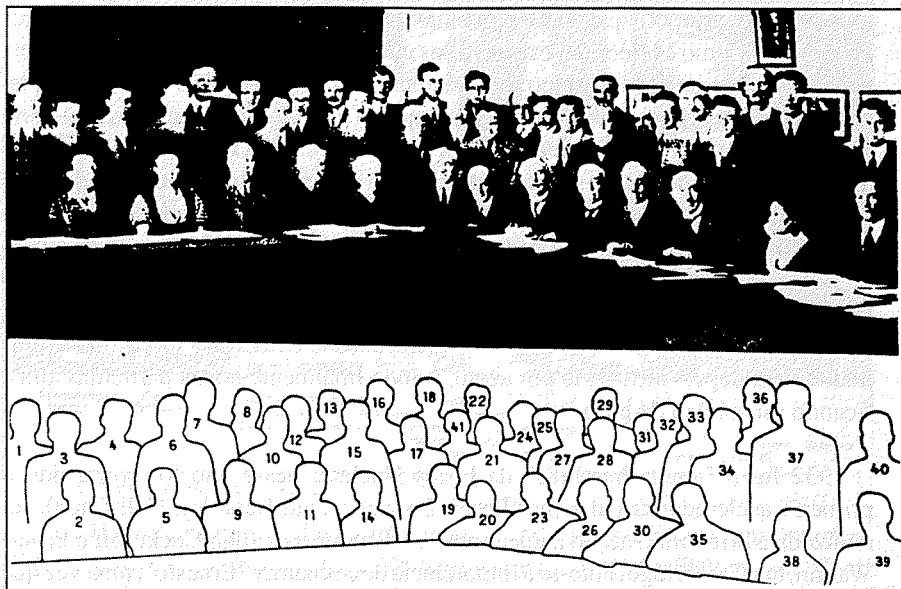


Fig. 2 - Congresso Solvay de 1933

- | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. E. Henriot | 21. M. S. Rosenblum |
| 2. E. Schrödinger, 1933 | 22. P. Blackett, 1948 |
| 3. F. Perrin, 1926 | 23. <u>Lord Rutherford</u> , 1908 |
| 4. <u>F. Joliot</u> , 1935 | 24. J. Errera |
| 5. <u>Irène Joliot-Curie</u> , 1935 | 25. E. Bauer |
| 6. <u>W. Heisenberg</u> , 1932 | 26. Th. de Donder |
| 7. H. A. Kramers | 27. W. Pauli, 1945 |
| 8. E. Stahel | 28. J. E. Verschaffelt |
| 9. <u>N. Bohr</u> , 1922 | 29. M. Cosyns |
| 10. <u>E. Fermi</u> , 1938 | 30. M. de Broglie |
| 11. A. Loffe | 31. E. Herzen |
| 12. <u>E. T. S. Walton</u> , 1951 | 32. <u>J. D. Cockcroft</u> , 1951 |
| 13. P. A. M. Dirac, 1933 | 33. C. D. Ellis |
| 14. <u>Mme Curie</u> , 1903, 1911 | 34. <u>R. Peierls</u> |
| 15. P. Debye, 1936 | 35. L. de Broglie, 1929 |
| 16. N. F. Mott, 1977 | 36. Auguste Piccard |
| 17. B. Cabrera | 37. <u>E. O. Lawrence</u> , 1939 |
| 18. <u>G. Gamow</u> | 38. <u>Lise Meitner</u> |
| 19. P. Langevin | 39. <u>J. Chadwick</u> , 1935 |
| 20. O. W. Richardson, 1928 | 40. L. Rosenfeld |
| | 41. W. Bothe, 1954 |

No Congresso Solvay de 1933 estiveram presentes 22 laureados Nobel. À frente de cada nome surge a data do respectivo Prémio Nobel.

Os nomes sublinhados efectuaram importantes contribuições para a Física Nuclear.

Em 1934 foi descoberta a radioactividade artificial por Frédéric e Irène Joliot Curie, esta última filha do casal Curie. Núcleos leves em configurações anormais, por exemplo com grande excesso de neutrões, podiam ser a origem de processos radioactivos, tal como os núcleos pesados. Os novos Curie bombardearam alumínio com partículas alfa, obtendo uma modalidade radioactiva de fósforo e provocando emissão de neutrões. Em 1935, Frédéric e Irène Curie receberam o Prémio Nobel da Química (numa cerimónia a que a mãe de Irène não assistiu pois tinha falecido de leucemia no ano anterior, em consequência do seu prolongado contacto com material nuclear; já Pierre Curie tinha efectuado sobre si próprio experiências sobre os efeitos fisiológicos da radioactividade).

De 1935 a 1945, Enrico Fermi, um professor que de Roma atravessou o Atlântico para se estabelecer em Chicago, é um dos espíritos mais brilhantes da Física deste nosso século (conseguia até, por cálculos simples, saber o número de pianos que havia em Chicago sem precisar de os contar!), foi o intérprete principal dos desenvolvimentos da Física Nuclear. Uma vez descoberto o neutrão, Fermi começou por efectuar numerosas experiências de bombardeamento de outros núcleos por neutrões, desencadeando assim várias reacções nucleares. Ganhou o Prémio Nobel da Física de 1938.

Usando ainda colisão de neutrões, os alemães Otto Hahn e Fritz Strassman descobriram em 1938 a cisão do urânio, num laboratório em Berlim. O urânio 235, quando bombardeado com neutrões, dava origem a núcleos de cripton e bário, muito mais leves que o urânio, e libertava neutrões. A cisão nuclear foi logo explicada por uma física sueca de origem austríaca, Lise Meitner, e por um seu sobrinho, Otto Frisch. Um tal processo pode ser induzido por neutrões ou mesmo aparecer espontaneamente, sendo neste caso, tal como acontece no declínio alfa, resultado de um efeito túnel. A cisão, descoberta no limiar da Segunda Guerra Mundial, viria a provocar o seu termo, como é bem sabido. Em 1942, Enrico Fermi punha a funcionar debaixo da bancada de um estádio de Chicago a primeira reacção em cadeia no urânio. O urânio bombardeado com neutrões lentos fazia libertar novos neutrões que, por sua vez, cindiam outros núcleos de urânio. Em 15 de Julho de 1945, num sítio chamado "Trinity Zero", no deserto do Novo México e no maior segredo, era realizada a primeira explosão de uma bomba atómica no planeta. O chefe da notável equipa do Projecto Manhattan, que concebeu e experimentou a bomba foi Robert Oppenheimer, um jovem e brilhante físico norte-americano que haveria nos anos 50 de conhecer a suspeita e a perseguição (existem uma peça de teatro e uma série de televisão sobre o caso Oppenheimer). A história do fabrico da bomba é por demais conhecida: a fuga recambolada de Niels Bohr da Europa com uma garrafa de água pesada que afinal continha cerveja, as travessuras de Richard Feynman nos cofres de Los Alamos, a exclamação de Oppenheimer de que "nós os físicos conhecemos o pecado", o facto insólito de um dos descobridores da cisão ter

tomado conhecimento da explosão sobre Hiroshima num campo de prisioneiros em Inglaterra (tinha recebido o Prémio Nobel da Química em 1944). Curiosamente, já tinha havido uma premonição de Pierre Curie, no seu discurso Nobel em 1911, sobre os perigos do material nuclear: "pode-se imaginar que em mãos criminosas o rádio se torne uma arma terrível". No entanto, e pese embora a ameaça que constituiu e constitui para o mundo o poderoso arsenal nuclear disponível, denegrir a Física Nuclear com base na existência da bomba atómica, pode ser comparado à crítica do Electromagnetismo com base na existência da cadeira eléctrica...

Os acontecimentos do pós-guerra podem-se já considerar história recente, sendo necessário aguardar pelo juízo e ordenação que a história inevitavelmente fará. Vale a pena, porém, distinguir duas linhas essenciais de evolução da Física Nuclear: uma tem a ver com a descoberta da estrutura e da dinâmica nuclear e a outra com a descoberta da constituição das partículas do núcleo e da natureza das forças nucleares.

A cisão nuclear tinha sido interpretada no quadro de modelo de gota líquida, desenvolvido por Niels Bohr e Kalckar em 1936, mas a evidência acumulada sobre a estabilidade especial de alguns núcleos levou os alemães M. Mayer, J. Haxel, O. Jensen e H. Suess, em 1948, a estabelecer o modelo de camadas, que supunha os nucleões independentes ao contrário das moléculas de uma gota. Ainda hoje e no essencial o modelo de camadas se mantém. Maria Mayer, depois de Madame Curie, Irène Curie e Lisa Meitner, foi a quarta dama das quatro grandes da Física deste século, tendo recebido o Prémio Nobel da Física de 1963. O modelo da gota líquida haveria de ser, nos anos 50, relacionado com o modelo em camadas, em trabalhos do dinamarquês Aage Bohr, filho de Niels Bohr, e do norte-americano estabelecido na Dinamarca, Ben Mottelson.

À proposta do japonês Hideki Yukawa, em 1935, de que existiam no núcleo mesões, partículas com massa intermediária entre a do electrão e a dos nucleões e que serviriam de meio de troca para manter a coesão nuclear, seguiu-se a identificação em 1947 dessa partícula no laboratório (a teoria, desta vez, aparecia à frente da experiência...), a descoberta de vários mesões "estranhos" assim como de parentes "estranhos" dos nucleões e, finalmente, a introdução dos constituintes fundamentais tanto dos mesões como dos nucleões - os famosos "quarks" - propostos pelo norte-americano Murray Gell-Mann em 1964. Hoje em dia, o estudo do comportamento do núcleo e a análise das forças nucleares prosseguem, já que são ainda inúmeros os problemas em aberto. Deixemos, pois, para finalizar, uma "breve história do futuro", referindo sucintamente a síntese de novos núcleos, a tentativa de libertação dos quarks e o empreendimento para imitar na Terra a produção energética das longínquas estrelas:

1) A tabela periódica, que a identificação do núcleo e a introdução do modelo planetário ajudaram a compreender, mostrava algumas lacunas imediatamente antes da Segunda Guerra Mundial. Não eram, nessa altura, conhecidos os elementos com números atômicos 43, 85 e 87, assim como não eram conhecidos quaisquer elementos com número atômico superior ao do urânio (92). No ano de 1940 o norte-americano Glenn Seaborg descobriu o neptuno e o plutônio, os primeiros transuranianos, tendo-se também identificado o elemento 87. Os outros "buracos" foram entretanto colmatados. Nos anos 50 e 60 assistiu-se a uma autêntica competição entre equipas norte-americana e soviética, para produzir novos elementos transuranianos (A. Ghiorso e G. Flerov dirigiam, respectivamente, os grupos norte-americano e soviético em disputa). A prioridade da descoberta dos elementos 101, 102, 103, 104 e 105 foi reclamada ora por um, ora por outro, ora pelos dois ao mesmo tempo. Em 1981 os europeus, com experiências realizadas no Laboratório de Iões Pesados de Darmstadt, na Alemanha, entraram na corrida. O elemento mais pesado conhecido (109) foi nessa data sintetizado. No entanto, os físicos não se contentaram em chegar aí. Continuam a "conquistar" novos núcleos nas margens da estabilidade (com prótons e neutrões a mais), tendo até detectado novas formas de radioactividade (por exemplo, emissão de prótons). Por outro lado, existem desde os anos 60 especulações sobre a existência de elementos superpesados, com números atômicos 114 e 164 e números de neutrões 190 e 318. O futuro da tabela periódica reserva-nos talvez surpresas, sendo necessária uma nova Madame Curie que estenda a Física a novas regiões.

2) Os nucleões são feitos de quarks. A chamada cromodinâmica quântica é a doutrina que explica a coesão dos quarks. Mas será que eles podem ser libertados do interior dos nucleões? A realidade dos quarks foi reconhecida em experiências um pouco semelhantes à de Rutherford: electrões rápidos que batem em prótons foram desviados por "grãos duros" no seu interior, os "partões" estudados por Richard Feynman. Hoje, procuram-se libertar os quarks por meio de experiências de artilharia mais pesada, nomeadamente por colisões a alta energia entre núcleos de grande massa, que se realizam no CERN, Centro Europeu de Pesquisa Nuclear. Há quem julgue que já se conseguiu formar durante um intervalo de tempo diminuto um plasma de quarks na zona mais quente do choque entre dois núcleos, mas não existe a certeza absoluta. Novas experiências são necessárias. Um novo Rutherford precisa-se, embora a dificuldade extrema do empreendimento exija, mais do que o génio de uma só pessoa, o esforço prolongado de equipas numerosas e com competências diversificadas.

3) Por volta da data em que a cisão nuclear era descoberta, Hans Bethe teorizava que a energia das estrelas era obtida por meio da fusão de núcleos leves. Hoje sabe-se que uma estrela como o nosso Sol, que tem cinco mil milhões de anos (formou-se cerca de quinze mil milhões depois do "Big Bang"), não é mais do que uma

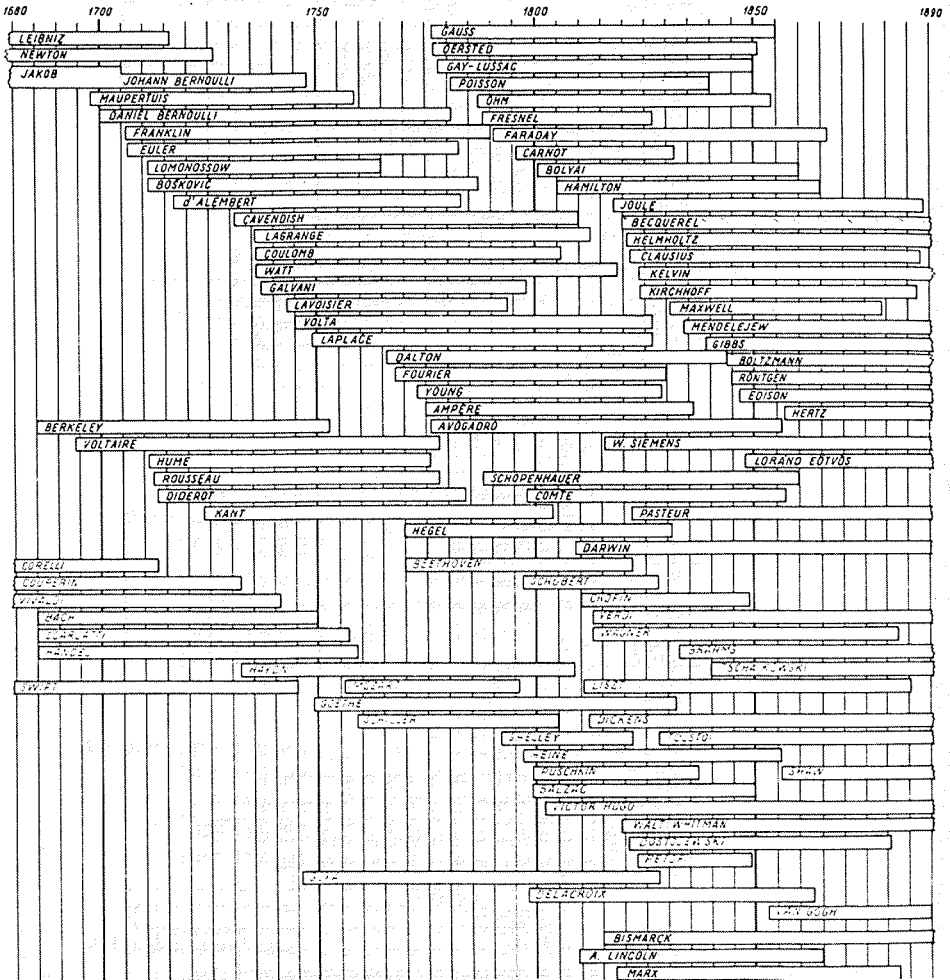
"fogueira" onde se queima hidrogénio, para produzir hélio, libertando-se nesse processo uma grande quantidade de energia. Quatro núcleos de hidrogénio (protões) dão origem, por uma série de reacções nucleares, a um núcleo de hélio, dois positrões (antipartículas do electrão) e dois neutrinos. A partir de três núcleos de hélio 4 é possível, embora em geral pouco provável, criar um núcleo de carbono 12. O Sol, quando se esgotar o hidrogénio, queimará um dia hélio para originar carbono. A partir do carbono é ainda possível, em estrelas maiores que o Sol, fabricar por fusão elementos mais pesados, até ao ferro. Os elementos mais pesados que o ferro obtêm-se por captura de neutrões. O urânio natural, de cujo estudo partiu a ciência nuclear, teve de ser feito no interior de alguma super estrela anterior ao Sol. Assiste-se actualmente a uma ligação profunda da Física Nuclear com a Astrofísica, ajudando a primeira a esclarecer alguns dos mistérios do nosso passado cósmico. Prevê-se que esse "casamento" continue a frutificar.

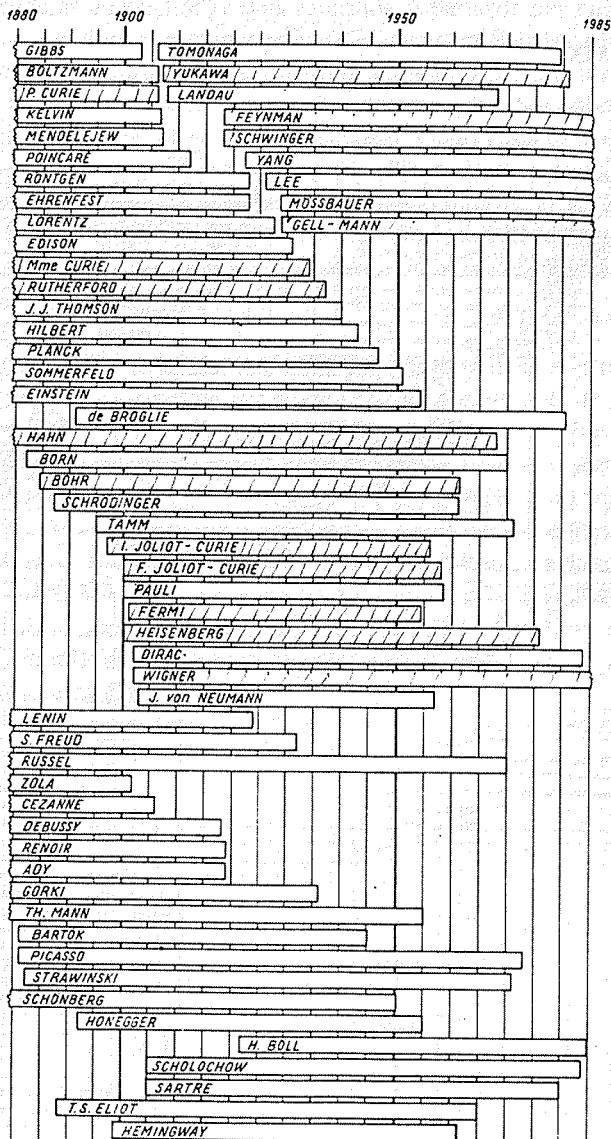
Por outro lado, e embora as dificuldades técnicas sejam inúmeras, procura-se imitar no laboratório os processos de fusão que ocorrem nas estrelas, de modo a aproveitar em benefício humano a energia libertada. O Laboratório Europeu de Fusão (JET), sediado na Inglaterra e líder mundial nesse tipo de investigação, anuncia para meados do próximo século reactores economicamente rentáveis. Rutherford, o genial físico das primeiras reacções nucleares, não acreditava que a energia nuclear pudesse algum dia ser usada. Hoje é já empregue em larga escala (em França a energia nuclear cobre cerca de 80% dos consumos energéticos), sendo previsível que, com a domesticação da fusão quente, ainda o venha a ser mais no futuro. Os génios, afinal, também se enganam, incluindo sobre o futuro do assunto em que se tornaram geniais.

Apêndice A

Tábua das vidas de grandes cientistas

Século XIX





Extraído do K. Simongi, "Kultungeschichte der Physite", Harn: Deutche, Frankfurt M., 1990

Apêndice B

Cronologia da Física Nuclear:

Pré-história:

- 1896 - Descoberta da radioactividade (Becquerel)
- 1898 - Isolamento do rádio (M. Curie e P. Curie)
- 1909 - Natureza das partículas alfa (Rutherford)

O início da história:

- 1911 - Descoberta do núcleo (Rutherford)
- 1913 - Modelo atómico planetário (N. Bohr)
- 1919 - Primeira reacção nuclear (Rutherford)
- 1928 - Teoria da radioactividade alpha (Gamow)
- 1932 - O "annus mirabilis" da Física Nuclear:
 - Primeiro acelerador circular (Lawrence)
 - Primeira reacção num acelerador (Cockcroft e Walton)
 - Descoberta do neutrão (Chadwick)
 - Descoberta da água pesada (Urey)

Os anos da guerra:

- 1934 - Teoria da radioactividade beta (Fermi)
 - Radioactividade artificial (I. e F. Joliot Curie)
- 1935 - Hipótese dos mesões (Yukawa)
- 1936 - Modelo de gota líquida (N. Bohr e Kalckar)
- 1938 - Descoberta da cisão nuclear (Hahn e Strassman)
 - Fusão nuclear nas estrelas (Bethe)
- 1940 - Primeiro elemento transurânico (Seaborg)
- 1942 - Primeira reacção em cadeia (Fermi)
- 1945 - Bomba atómica (Oppenheimer, etc.)

Os anos após a guerra:

- 1947 - Datação por radiocarbono (Libby)
 - Descoberta do mesão pi (Powell)
- 1949 - Modelo em camadas (Mayer, Jensen, etc.)
- 1952 - Modelo colectivo (A. Bohr e Mottelson)

A história moderna:

- 1964 - Modelo de quarks (Gellman)

Apêndice C

Alguns Prêmios Nobel da Física e Química ligados à Física Nuclear:

- A. H. Becquerel (1852 - 1908), Prémio Nobel em 1903
- P. Curie (1859 - 1906), Prémio Nobel em 1903
- M. Curie (1867 - 1934), Prémio Nobel em 1903 e 1911
- E. Rutherford (1871 - 1937), Prémio Nobel em 1909
- N. Bohr (1885 - 1962), Prémio Nobel em 1922
- J. Chadwick (1891 - 1974), Prémio Nobel em 1935
- F. Joliot - Curie (1900 - 1938), Prémio Nobel em 1935
- I. Joliot - Curie (1900 - 1938), Prémio Nobel em 1935
- E. Fermi (1901 - 1954), Prémio Nobel em 1938
- E. Lawrence (1901 - 1958), Prémio Nobel em 1939
- O. Hahn (1879 - 1968), Prémio Nobel em 1944
- H. Yukawa (1907 - 1981), Prémio Nobel em 1949
- C. Powell (1903 - 1969), Prémio Nobel em 1950
- J. Cockcroft (1897 - 1967), Prémio Nobel em 1951
- E. Walton (1903 -), Prémio Nobel em 1951
- M. Mayer (1906 - 1972), Prémio Nobel em 1963
- J. Jensen (1907 - 1979), Prémio Nobel em 1963
- H. Bethe (1906 -), Prémio Nobel em 1967
- M. Gell-Mann (1929 -), Prémio Nobel em 1969
- A. Bohr (1922 -), Prémio Nobel em 1975
- B. Mottelson (1926 -), Prémio Nobel em 1975

Bibliografia

- R. Clark, "The greatest power on earth - the story of nuclear fission", Sidgwick, Londres, 1980
- E. Curie, "Madame Curie", Livros do Brasil, s. d.
- A. Nunes dos Santos, M.A. Bento e C. Aurette (eds.), "Mulheres na ciência - Lise Meitner, Maria Geoppert Mayer e Marie Curie", Gradiva, 1991
- E. Sergè, "From X-Rays to Quarks: Modern Physicists and their discoveries", University of California, Berkeley, 1080
- J.N. Urbano, "O núcleo atómico", Colóquio Ciências, Out. 1991, p. 12