

A experiência de Stern-Gerlach: peripécias, mérito e acaso

Carlos Herdeiro

Departamento de Matemática, Universidade de Aveiro

A experiência desenvolvida pelos físicos alemães Otto Stern (1888-1969, naturalizado norte-americano) e Walther Gerlach (1889-1979) é uma referência no desenvolvimento da Mecânica Quântica e da Física do Sec. XX. É tão importante para introduzir as ideias (e a necessidade) da Mecânica Quântica, que alguns livros de referência (ex. “Modern Quantum Mechanics”, do J. J. Sakurai ou “Quantum Mechanics” do Julian Schwinger) começam o livro com a discussão desta experiência. Muitos livros académicos descrevem a experiência como comprovando o spin do eletrão, o que é legítimo, mas apenas em retrospectiva. Stern e Gerlach não sabiam que tinham comprovado o spin, numa ilustração das peripécias, mérito e acaso que rodeiam um grande desenvolvimento científico.

Stern obteve o seu doutoramento na U. de Breslávia (na altura parte da Alemanha, atualmente na Polónia) em 1912, em Química-Física. Motivado “por um espírito de aventura” Stern foi seguidamente trabalhar com Albert Einstein, que nessa altura se encontrava em Praga, seguindo-o posteriormente para Zurique, ainda nesse ano. Einstein incutiu em Stern um interesse pela quantização da luz e a natureza dos átomos. Mas quando o modelo atómico de Bohr surgiu, em 1913, com a sua hipótese de quantização do momento angular, conduzindo à quantização das energias (e raios) das órbitas possíveis, Stern ficou “chocado” e terá feito uma promessa, juntamente com o seu colega Max von Laue, que “caso este disparate de Bohr fosse comprovado correto, desistiriam da física!” [F. Hund, *Geschichte der Quantentheorie*, 1975].

Depois da primeira guerra mundial, Stern trabalhou como assistente de Max Born em Frankfurt, focando-se em feixes moleculares. Foi neste tópico que se cruzou com Walther Gerlach. Doutorada pela Universidade de Tubingen, em 1912, Gerlach foi trabalhar para Frankfurt no Outono de 1920, num instituto adjacente ao de Born, desenvolvendo experiências com feixes moleculares a passar por campos magnéticos não uniformes. O seu objetivo era defletir um feixe de bismuto para estudar o seu diamagnetismo. Para isso,

experimentou diferentes geometrias do campo de modo a obter os maiores gradientes possíveis. Ao saber deste experiência Born terá demonstrado ceticismo relativamente ao seu sucesso, ao que Gerlach terá respondido “Nenhuma experiência é tão estúpida que não deva ser tentada” [I. Estermann, *Am. J. Phys.* 43 (1975) 661].

Nesta época, Stern convenceu-se que uma experiência com feixes moleculares poderia iluminar um importante debate científico da época. Um átomo colocado num campo magnético desdobrava as suas linhas espectrais e portanto níveis de energia - efeito Zeeman. Mas para átomos com número atómico ímpar (como o hidrogénio) surge um número par de níveis, designado por efeito Zeeman anómalo. Este resultado era desafiante para o modelo atómico quasi-planetário de Bohr (generalizado por Arnold Sommerfeld em 1916), mas poderia ser explicado assumindo que as órbitas eletrónicas tomam apenas certas (discretas) orientações espaciais relativamente ao campo magnético externo. Esta hipótese, introduzida por Peter Debye, foi designada por quantização espacial. Stern, cético relativamente ao modelo de Bohr e à quantização espacial, concluiu que, a ser verdade, deveria haver uma “birrefringencia magnética” de um feixe de átomos hidrogenóides - ou seja, os átomos seriam defletidos em duas direções diferentes num campo magnético não uniforme. Nas palavras de Stern: “A questão de saber se um gás pode ser magneticamente birrefringente (nas palavras que usávamos naqueles dias) foi colocada num seminário. Na manhã seguinte acordei cedo, demasiado cedo para ir ao laboratório. Como estava muito frio para sair da cama, fiquei ali a pensar na pergunta do seminário e tive a ideia da experiência. Quando cheguei ao laboratório, recrutei Gerlach como colaborador. Ele era um experimentalista hábil, ao contrário de mim. Na verdade, cada parte do aparato que construí teve que ser refeita por Gerlach” [D.

Herschbach, *Angew. Chemie Int. Ed. Engl.* 26 (1987) 1225].

A decisão de avançar com a experiência foi tomada numa reunião entre Stern, Gerlach e Born num café local. Um dos desafios, contudo, era o financiamento. A Alemanha pós-guerra estava numa crise financeira com uma inflação galopante. Born angariou dinheiro dando cursos sobre Relatividade e cobrando bilhete. Mas não chegava. Um amigo a quem relatou as dificuldades sugeriu que escrevesse a Henry Goldman (filho do fundador da Goldman-Sachs, banco de investimento tornado célebre pelo seu papel na crise financeira de 2008). Apesar de cético, Born tentou e recebeu uma carta “charmosa e uma cheque de algumas centenas de dolares”. O cheque salvou a experiência [M. Born, *My Life: Recollections of a Nobel Laureate*, Scribner, New York, 1978, p. 78].

Mas faltava garantir que a experiência separaria claramente os dois feixes. Como Stern tinha entretanto assumido uma posição na U. de Rostock, encontrou-se com Gerlach em Göttingen, no início de 1922, para discutir os detalhes. O desafio técnico pareceu inultrapassável pelo que decidiram desistir. Mas uma greve de comboios adiou a partida de Gerlach para Frankfurt, dando-lhes um dia extra para rever a situação, acabando por reverter a decisão! Gerlach executou então (sozinho) a experiência bem sucedida em fevereiro de 1922. Enviou de seguida uma mensagem a Stern: “Afinal, Bohr tem razão”. Em simultâneo, Gerlach enviou um postal a Bohr com uma fotografia mostrando a clara separação dos feixes, e congratulando-o [Figura ao lado].

O desenvolvimento da Mecânica Quântica tornaria o modelo de Bohr ultrapassado, mas, de certa forma, confirmaria a ideia de quantização espacial. O acordo da experiência de Stern-Gerlach com o modelo de Bohr (mais quantização espacial), contudo, foi uma afortunada coincidência. O spin eletrónico seria apenas postulado em 1925 por George Uhlenbeck e Samuel Goudsmit e uma reinterpretação do resultado da experiência de Stern-Gerlach, como devido ao spin foi apenas feita em 1927 por Ronald Fraser [R. G. J. Fraser, *Proc. R. Soc. A* 114 (1927) 212].

Não poderia terminar esta breve retrospectiva sem a peripécia do charuto, que terá decorrido nas experiências preparatórias antes do sucesso de fevereiro de 1922. Nas palavras de Stern: “Nunca conseguimos fazer o aparelho funcionar antes da meia-noite. Quando finalmente tudo parecia funcionar corretamente, tivemos uma experiência estranha. Após a ventilação para libertar o vácuo, Gerlach removeu o rebordo do detector. Mas ele não conseguia ver qualquer sinal do feixe de átomos de prata e entregou-me o rebordo. Com Gerlach olhando por cima do meu ombro enquanto eu olhava atentamente para o placa, ficamos surpresos ao ver surgir gradualmente dois traços distintos do feixe. Várias vezes repetimos a experiência com o mesmo resultado misterioso. Finalmente per-

cebemos o que era. Eu era então o equivalente a um professor auxiliar. O meu salário era muito baixo para comprar bons charutos, pelo que fumava charutos baratos. Estes tinham muito enxofre, pelo que o meu hálito no prato transformou a prata em sulfeto de prata, que é preto azeviche, facilmente visível. Foi como desenvolver uma chapa fotográfica.” [D. Herschbach, *ibidem*].

Fieis ao lema da Royal Society “Nullius in verba”, B. Friedrich and D. Herschbach, verificaram a verosimilidade do episódio do charuto no seu excelente artigo “Stern and Gerlach: How a bad Cigar Helped Reorient Atomic Physics” [*Physics Today*, December 2003, p. 53-59].

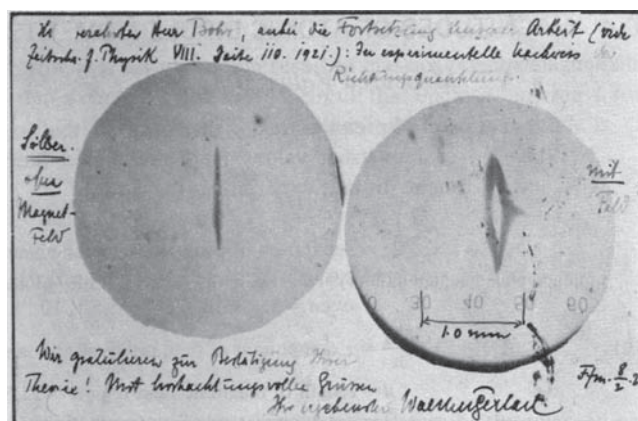


Figura 1 - Postal de Gerlach a Bohr, depois da experiência bem sucedida em Fev. 1922.