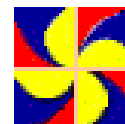




CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

www.bassalo.com.br



A Precocidade Científica de Schwinger e Seus Trabalhos Antes de Seu Doutorado.

físico Julian Seymour Schwinger nasceu no dia 12 de fevereiro de 1918, na cidade de Nova York, nos Estados Unidos da América. Seu pai, Benjamin Schwinger, nasceu em New Sandez (“Nowy Sacz”), uma pequena vila no interior da Polônia. Por volta de 1880, ainda jovem adolescente, imigrou para os Estados Unidos, fixando-se em Nova York. Para poder sobreviver, Benjamin começou a procurar uma profissão e, sendo uma pessoa brilhante e talentosa, logo se tornou um exímio *designer* de moda feminina, seguindo a profissão de seu avô. A mãe de Schwinger, Belle (Rosenfeld) Schwinger, pertencia a uma família judia que morava em Lodz, uma cidade industrial e localizada no leste da Polônia. Essa família, que era ligada ao ramo da fabricação de vestidos, migrou para Nova York, no final do Século 19. Registre-se que, neste livro, usaremos, basicamente, as referências: Silvan S. Schweber, **QED and the Men Who Made It: Dyson, Feynman, Schwinger, and Tomonaga** (Princeton University Press, 1994); Yee Jack Ng (Editor), **Julian Schwinger: The Physicist, the Teacher, and the Man** (World Scientific, Singapore, 1996); Jagdish Mehra and Kimball A. Milton, **Climbing the Mountain: the Scientific Biography of Julian Schwinger** (Oxford University Press, 2000); Kimball A. Milton, **Julian Schwinger: Nuclear Physics, the Radiation Laboratory, Renormalized QED, Source Theory, and Beyond** [*arXiv:Physics/0610054v1* [**physics.hist-ph**] (09/10/2006)]; *Physics in Perspective* **9**, p. 70 (2007)); wikipedia/Julian_Schwinger; Nobel_Lecture/Biography. Além dessas referências, usaremos ainda verbetes no Wikipédia, sobre ele e demais temas, bem como sobre cientistas envolvidos em sua vida, além de outros textos que serão devidamente creditados no decorrer deste livro.

Em Nova York, Benjamin e Belle se casaram e constituíram uma família próspera no ramo da tecelagem de vestuários e, que fechou em virtude da quebra da *Bolsa de Wall Street*, em 1929, seguida de uma grande depressão econômica. Porém, como Benjamin era um excelente *designer*, ele conseguiu emprego, mas o padrão de vida da família diminuiu. O casal Schwinger (que seguia a tradição da Ortodoxia Judia) teve dois filhos: Harold, nascido em 1911, e Julian, em 1918, que estudaram nas melhores instituições de ensino público de New York: a *Townsend Harris High School*, cujo Diploma dava direito a entrar no *City College of New York* (CCNY). Por ser Harold um brilhante aluno (sempre era o primeiro lugar da turma), sua mãe Belle deu-lhe de presente a 11ª edição da **Encyclopaedia Britannica** (EB). Por outro lado, Julian (também brilhante) não levava muito a sério seus afazeres escolares, pois tinha seu adorado irmão como seu professor, principalmente de Física, já por volta de 1926. Assim, durante o tempo em que estudou na *Townsend*, entre 1932 e 1934, Schwinger ficou famoso por sua precocidade e habilidade em Física, graças ao ensino da mesma por seu irmão Harold (como já referimos), bem como pelos seus professores, os físicos norte-americanos Irving S. Lowen (1911-1949) e Lloyd Motz (1909-2004). Note-se que Motz fora colega de turma de Harold, no *Townsend*, no início da década de 1920, e

que informou a Motz sobre a precocidade de seu irmão Julian. Assim, Motz recebeu Julian e passou a tutelá-lo, o que resultou no aumento do interesse de Julian pela leitura de diversos livros (inclusive de Matemática), revistas científicas (p. ex.: *Physical Review*), além da EB e que consultava nas livrarias (como a do CCNY) e nas excepcionais bibliotecas públicas de New York. Além disso, Schwinger também comprava bastantes livros nos *bookshops* da 4ª Avenida, sobre outros temas além de Física e de Matemática como, por exemplo, de Psicologia, envolvendo a sexualidade humana, medo e amor, do médico e psicólogo inglês Henry Havelock Ellis (1859-1939). É interessante registrar que, como Schwinger tinha o hábito de ler de dia, ele não frequentava muito as aulas das disciplinas curriculares, mesmo as das quais ele gostava, como as de Física e de Matemática. Por isso, sua grade escolar não era boa, sendo motivo de crítica por parte dos administradores escolares.

No outono de 1934, Schwinger foi para o CCNY. O interesse de Schwinger pela Física logo o fez frequentar os seminários semanais (nas noites de quarta-feira) sobre Física Teórica e que aconteciam na *Columbia University*, ministrados pelos físicos norte-americanos Isidor Isaac Rabi (1898-1988; PNF, 1944) (de origem austríaca e que havia criado o *Laboratório de Feixe Molecular* daquela Universidade), Gregory Breit (1899-1981) e Otto Halpern (1899-1982) (de origem austríaca). No CCNY logo aconteceu um fato inusitado com Schwinger em virtude de seu precoce talento para a Física e a Matemática. Com efeito, em virtude de Motz conhecer esse talento, foi falar com o *Chefe do Departamento de Física* do CCNY, o físico Charles Corcoran para dispensar Schwinger do *Curso Introdutório de Física* ministrado por Corcoran. Este não concordou, pois fugia as regras universitárias, alguém entrar naquele Colégio sem frequentar seu Curso Introdutório, além de outros cursos elementares como de Matemática e de Química. Em virtude dessa negativa, Motz teria dito a Corcoran “que Schwinger sabia mais Física do que muito dos professores do CCNY”. Corcoran então reagiu imediatamente, dizendo: - “Só se passar por cima de meu cadáver”. E acrescentou: - “Enquanto eu for chefe deste Departamento, nenhum menino esperto deixa de frequentar meu curso”. (Schweber, op. cit.).

Enquanto aguardava o que ia acontecer consigo, Schwinger (com 16 anos) começou a escrever seu primeiro artigo científico (nunca publicado): **On the Interactions of Several Electrons**, no qual estudou o campo do elétron no contexto da *Eletrodinâmica Quântica* [*Quantum Electrodynamics* – (QED)]. Observe-se que esta havia sido desenvolvida pelo físico inglês Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984; PNF, 1933), em 1927 (*Proceedings of the Royal Society* **A114**, p. 243; 710), na Teoria Relativística do Elétron [conhecida como a *Equação de Dirac* (ED)], em 1928 (*Proceedings of the Royal Society* **A117**, p. 610, **A118**, p. 351), e no artigo escrito por Dirac, com a parceria dos físicos russos Vladimir Alexandrovich Fock (1898-1974) e Boris Podolsky (1896-1966), intitulado **On Quantum Electrodynamics** e publicado em 1932 (*Physikalische Zeitschrift der Sowjetunion* **2**, p. 468). Note-se que, neste artigo, Dirac, Fock e Podolsky haviam desenvolvido a QED com o formalismo do campo eletromagnético e dos operadores de campo (segunda quantização), conhecido como o *Problema do Campo Electromagnético de Dirac, Fock, Podolsky* (PCED-F-P). Aliás, a leitura desse artigo por Schwinger foi presenciada por Lowen, “ao olhar por cima de seus ombros”, na Biblioteca do CCNY. É interessante registrar que nesse seu inédito artigo, Schwinger generalizou o PCED-F-P, com um formalismo que contem a gênese

da conhecida **Representação de Interação**, que ele criou (em 1948, como veremos mais adiante) para descrever o *espalhamento das partículas de Dirac*, de spin $\frac{1}{2}$.

Registre-se que o grande talento para ser um físico teórico criativo e inovador, foi também demonstrado por Schwinger quando era aluno do segundo ano no CCNY, em 1935, ao realizar uma palestra no *Clube de Matemática* desse Colégio, na qual abordou a *Teoria Geral da Relatividade*, manipulando, com firmeza, as expressões matemáticas que havia deduzido, impressionando a plateia formada principalmente de futuros matemáticos, como, por exemplo, o matemático norte-americano Herman Feshbach (1917-2000), então aluno do terceiro ano daquele Colégio. (Schweber, op. cit.).

O artigo inédito de Schwinger impressionou tanto Halpern a ponto de este convidá-lo para publicar um artigo juntos. Assim, também em 1935 [*Physical Review* **48**, p. 109 (*Letter*)], eles publicaram o artigo: **On the Polarization of Electrons by Double Scattering**, no qual o jovem Schwinger (com 17 anos) realizou todos os difíceis e extensivos cálculos, os quais havia aprendido depois de ler o célebre trabalho realizado pelo físico ítalo-norte-americano Enrico Fermi (1901-1954; PNF, 1938), em 1934 (*Nuovo Cimento* **11**, p. 1; *Zeitschrift für Physik* **88**, p. 161), por ocasião em que formulou a teoria matemática do **decaimento beta** (β), segundo a qual, por intermédio de uma nova força na natureza – chamada mais tarde de **força fraca** – o nêutron (n) transforma-se em um próton (p), com a emissão de um elétron (e^-) (a **partícula β**) e do neutrino (ν) (nome cunhado por Fermi), ou seja: $n \rightarrow p + e^- + \nu$. Naquele mesmo ano de 1935, seu tutor Motz pediu a Schwinger que, tendo em conta a habilidade que seu aluno tinha no estudo do espalhamento nuclear e da *força fraca fermiana*, o ajudasse no cálculo da vida-média do nêutron, cálculo esse que resultou no artigo que os dois publicaram com o título: **On the β -Radioactivity of Neutrons** [*Physical Review* **48**, p. 704 [recebido (r.) em 27/08/1935 e publicado (p.) em 15/10/1935]].

É também oportuno registrar que, ainda em 1935, aconteceu um episódio interessante que marcou definitivamente a carreira científica de Schwinger. Nesse mesmo ano (*Physical Review* **47**, p. 777), os físicos, o germano-suíço-norte-americano Albert Einstein (1879-1955; PNF, 1921), Podolsky e o norte-americano Nathan Rosen (1909-1995) apresentaram o hoje famoso *Paradoxo de Einstein-Podolsky-Rosen* (PEPR) e que, mais tarde, foi considerado como o precursor do conceito de **entrelaçamento quântico**. [Bassalo & Caruso, **Einstein** (Livraria da Física, 2013); Juan Maldacena, **Buraco Negro, Buracos de Minhoca e os Segredos do Espaço-Tempo Quântico** (*Scientific American Brasil* **171**, p. 64, Dezembro de 2016)]. Este é o PEPR:

Se, sem perturbar um sistema físico, for possível predizer com certeza (isto é, com a probabilidade igual a um) o valor de uma quantidade física, então existe um elemento da realidade física correspondente a essa quantidade física.

Eis o episódio. Certa ocasião, no CCNY, Rabi e Motz estavam conversando sobre uma dúvida que encontraram na leitura do artigo do PEPR quando ouviram a voz de Schwinger (que havia sido convidado para participar da conversa) explicando essa dúvida, pois já houvera estudado e entendido o artigo por intermédio da Teoria da Completeza das Funções Ortogonais, que estudara nos livros: Edwin Bidwell Wilson, **Advanced Calculus** (Dover, 1912); Hermann Weyl, **The Theory of Groups and**

Quantum Mechanics (E. P. Dutton, NY, 1931); e Vito Volterra, **Theory of Functionals and of Integral and Integro-Differential Equations** (Blackie & Son, 1930). De imediato, Rabi arranhou-lhe uma bolsa de estudos e o transferiu para a *Columbia University* (CU) para orientar o Doutorado de Schwinger, depois de receber, em 10 de julho de 1935, uma carta do físico germano-norte-americano Hans Albrecht Bethe (1906-2005; PNF, 1967) agradecendo-lhe por haver tido a oportunidade de conhecer Mr. Schwinger e reconhecendo sua capacidade como um talentoso físico teórico. (Mehra, op. cit.).

Desse modo, em setembro de 1935, Schwinger foi para a CU (onde se graduou em setembro de 1936), e logo se envolveu na *Escola de Feixe Molecular de Rabi* e que realizava experiências com o espalhamento magnético de nêutrons lentos por átomos, com destaque na determinação dos níveis de energia do nêutron, e na qual participavam os físicos norte-americanos John Henry Manley (1907-1990) e Hyman H. Goldsmith (? -1949). Ora, para realizar esse trabalho experimental, era importante conhecer o **momento de dipolo magnético do nêutron** (μ_n). Contudo, nessa época, este momento não havia ainda sido diretamente medido. Havia apenas uma sugestão de como medi-lo proposta pelo físico suíço-norte-americano Felix Bloch (1905-1983; PNF, 1952), em 1936 (*Physical Review* **50**, p. 272), usando o espalhamento de um átomo por um nêutron e considerando o acoplamento magnético do spin do nêutron com os spins dos elétrons atômicos. Depois de ler esse artigo, Schwinger chegou à conclusão de que o formalismo usado por Bloch era inadequado, pois este usara a “interação mecânica clássica” entre dipolos magnéticos. Desse modo, Schwinger tratou esse problema usando a *Teoria Quântica dos Campos* (TQC) (o formalismo quântico de Dirac e que ele conhecia muito bem) e mostrou que nêutrons espalhados de um feixe não polarizado, poderiam ser parcialmente polarizados em virtude da interação magnética e, portanto, essa parcial polarização poderia ser detectada por um segundo espalhamento. Em continuação, Schwinger deduziu uma fórmula para a intensidade do feixe de nêutrons depois de uma dupla polarização em placas magnetizadas de ferro (Fe), comparou com resultados experimentais e sugeriu vários tipos de experiências para produzir e detectar o feixe polarizado de nêutrons e, portanto, encontrar o desejado μ_n . Terminado o trabalho, Schwinger preparou um texto inicial intitulado: **The Magnetic Scattering of Neutrons**, e o discutiu com Rabi, Fermi e Bloch, discussão essa que foi agradecida no parágrafo final do artigo que enviou, no começo de janeiro de 1937, para a *Physical Review* (PR). Segundo Schweber (op. cit.), o Editor da PR escolheu Bethe para ser o *referee*. Este, depois de fazer uma crítica sobre os cálculos realizados por Schwinger [e que, provavelmente, acrescentou: “por grande modéstia de Schwinger, ele negligenciara alguns aspectos matemáticos fundamentais (p. ex.: os fatores de forma atômicos) para o entendimento por parte do leitor”], recomendou que o trabalho fosse reescrito. O Editor, no entanto, decidiu publicar, em 01 de abril de 1937, agora com o título: **On the Magnetic Scattering of Neutrons** (*Physical Review* **51**, p. 544). Observe-se que a primeira medição do μ_n foi realizada em 1940 (*Physical Review* **57**, p. 111), por Bloch e pelo físico norte-americano Luis Walter Alvarez (1911-1988; PNF, 1968).

Ainda trabalhando na *Escola de Rabi* (que era forte em teoria e experiência), Schwinger terminou mais um artigo e o enviou para a PR (r. em 01/03/1937): **Nonadiabatic Processes in Inhomogeneous Fields** [*Physical Review* **51**, p. 648 (p. em 15/04/1937)], no qual examinou os cálculos quânticos realizados pelo físico austríaco Paul Güttinger (1908-1955), em 1932 (*Zeitschrift für Physik* **73**, p. 169) e que, com os

mesmos, obteve as probabilidades de transição não adiabáticas dos momentos atômicos em um campo magnético girante. Schwinger mostrou que as expressões gerais de Güttinger estavam incorretas e que valiam apenas para aquele aspecto do campo magnético. Desse modo, ele apresentou novas equações e que eram aplicadas no caso de probabilidades de transição entre vários estados magnéticos de um campo precessionando com velocidade angular constante. Note-se que esse artigo hoje é considerado um clássico no estudo do espalhamento de um feixe arbitrário de nêutrons em campos magnéticos variando harmonicamente com o tempo.

Registre-se ainda que, usando seu conhecimento da TQC para tratar o espalhamento quântico de nêutrons, Schwinger esquematizou mais dois artigos, e que foram publicados apenas como *abstract*: um com Rabi, relacionado com o espalhamento nêutron-próton {**Depolarization by Neutron-Proton Scattering** [*Physical Review* **51**, p. 1003 (1937)]} e o outro, resultante de sua colaboração com Manley e Goldsmith que mediam os níveis de energia do nêutron, o que resultou no *paper*: **Neutron Energy Levels** [*Physical Review* **51**, p. 1022 (1937)].

Mais uma evidência do grande talento matemático de Schwinger foi realçada quando, na primavera de 1937, o físico húngaro-norte-americano Edward Teller (1908-2003) esteve na CU e, tomando conhecimento dos trabalhos de Schwinger envolvendo o espalhamento de nêutrons, sugeriu-lhe que eles poderiam ser a base de sua Tese de Doutorado (que Rabi estava orientando), desde que acrescentasse novos trabalhos. Em vista disso, Schwinger e Teller trabalharam com o referido espalhamento por dois tipos de moléculas de hidrogênio (H₂): a **ortohidrogênio** (os spins dos dois prótons são paralelos) e a **parahidrogênio** (os spins dos dois prótons são antiparalelos). Dessa parceria, resultaram dois trabalhos publicados em 1937: **The Scattering of Neutrons by Ortho- and Parahydrogen** [*Physical Review* **51**, p. 775 (r. em 13/04/1937 e p. em 01/05/1937); **52**, p. 286 (r. em 12/06/1937 e p. em 15/08/1937)].

Sobre essa precocidade científica de Schwinger, existe um episódio que é interessante ser registrado. Trata-se de sua indicação para ser membro da prestigiosa *Society Phi Beta Kappa*, apesar de seu razoável (e criticado) currículo (na CU), pois continha uma nota F recebida no Curso de Química, e que era ministrado pelo químico norte-americano Victor Kuhn La Mer (1918-1966), houve certa dúvida para concretizar a indicação referida. Depois de uma firme intervenção de Rabi, finalmente Schwinger foi eleito para aquela Sociedade.

Em vista dessa significativa produção científica de Schwinger, ainda como aluno de Doutorado de Rabi, este teve a ideia de usar o ano acadêmico (09/1937-09/1938) da CU e fazer Schwinger viajar. Desse modo, sua proposta inicial era a seguinte: seis meses na *University of Wisconsin-Madison*, para participar do grupo liderado por Breit e pelo físico húngaro-norte-americano Eugene Paul Wigner (1902-1995; PNF, 1963), e os seis meses complementares, para trabalhar na *University of California/Berkeley*, com o físico norte-americano Julius Robert Oppenheimer (1904-1967). Assim, com uma *Tyndall Fellowship*, no outono de 1937, Schwinger foi para Wisconsin para trabalhar com Breit e Wigner e, por sentir-se encantado com a atmosfera científica dessa Universidade, ele permaneceu lá por um ano e não foi para Berkeley (o que iria depois como se verá mais adiante). Observe-se que foi em Wisconsin que Schwinger desenvolveu seu famoso estilo de trabalho: produzir de noite e dormir de dia. Desse modo, ele quase não frequentava os cursos diários, mas participava dos seminários que Breit e Wigner organizavam. Por exemplo, em 06 de

outubro de 1937, ele apresentou um seminário no qual dissertou sobre o trabalho que realizou com Teller. Em 17 de novembro de 1937, Schwinger preparou um instigante trabalho sobre o spin do nêutron (**On the Spin of Neutron**) e o enviou, de Madison, como uma *Letter* para a PR, que a publicou com a seguinte referência: *Physical Review* **52**, p. 1250 (r. em 17/11/1937 e p. em 15/12/1937) e, neste artigo, Schwinger expressou sua “profunda gratidão aos Professores Breit e Wigner pelo benefício das estimulantes discussões sobre esse e outros assuntos”, muito embora nunca tenha isoladamente conversado com Breit e Wigner sobre esse trabalho, conforme os mesmos disseram a Rabi quando este esteve em Wisconsin para saber da vida de Schwinger. (Schweber, op. cit.). Schwinger ainda ministrou mais dois seminários sobre o espalhamento magnético de nêutrons, em 12/12/1937 e 12/01/1938. Por fim, em 11 de maio de 1938, Schwinger apresentou sua estimulante pesquisa intitulada **Flügge,s Calculation on Deuteron Reactions**, tendo Breit e Wigner como ouvintes. Lembrar que o conceito de *spin* (*s*) (como uma rotação “intrínseca” do elétron) foi proposto, em 1925 (*Naturwissenschaften* **13**, p. 973) pelos físicos holandeses George Eugene Uhlenbeck (1900-1988) e Samuel Abraham Goudsmit (1902-1978). Por sua vez, o **dêuteron** [um isótopo do hidrogênio ($D_2 \equiv {}_1H^2$)] havia sido descoberto em 1932 (*Physical Review* **39**, p. 164), pelos químicos norte-americanos Harold Clayton Urey (1893-1981; PNF, 1934), Ferdinand Graft Brickwede (1903-1989) e George Moseley Murphy (1903-1969)], assim como o **nêutron** (*n*) foi descoberto pelo físico inglês Sir James Chadwick (1891-1974; PNF, 1935), também em 1932 (*Proceedings of the Royal Society of London* **A136**, p. 696; 735).

Anote-se que, enquanto esteve em Wisconsin, Schwinger começou a estudar as forças tensoriais envolvidas na TQC a partir do artigo, publicado em julho de 1938 (*Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* **34**, p. 354) e escrito pelo físico russo-inglês Nicholas Kemmer (1911-1998), no qual investigou a dependência de carga das forças mesônicas nucleares. Lembrar que, em 1936/1937 (*Physical Review* **50**, p. 263; **51**, p. 884), os físicos norte-americanos Carl David Anderson (1905-1991; PNF, 1936) [o descobridor do **pósitron** (e^+), em 1932 (*Proceedings of the Royal Society of London* **A41**, p. 405)] e Seth Henry Neddermeyer (1907-1988) descobriram na radiação cósmica uma partícula mais pesada do que o elétron, então conhecida como **mesotron**. Com esse estudo, Schwinger começou a desenvolver uma pesquisa sobre as propriedades eletromagnéticas ocorridas em uma interação n - D_2 , a que o levou a propor a existência do **momento de quadrupolo elétrico** (*Q*) [produto da carga elétrica (*e*) do elétron por uma área] do D_2 . Note-se que o Q_{D_2} foi medido por Rabi e os físicos norte-americanos J. M. B. Kellogg, Norman Foster Ramsey Jr. (1915-2011; PNF, 1989) e Jerrold Reinach Zacharias (1905-1986), e 1939/1940 [*Physical Review* **55**, p. 318 (01/02/1939); **57**, p. 677 (15/04/1940)].

No outono de 1938, Schwinger voltou para a CU para dar continuidade ao seu Doutorado com Rabi. Como Schwinger não tinha os créditos necessários para cumprir o regulamento da CU para receber o grau de Doutor, Rabi recomendou que Schwinger fosse realizar o *Curso de Mecânica Estatística* que estava sendo ministrado pelo físico holandês George Eugene Uhlenbeck (1900-1988), para completar seus créditos. No final do Curso, Uhlenbeck foi conversar com Rabi sobre a situação de Schwinger, pois este não assistira nenhuma de suas aulas e nem fizera nenhum trabalho para receber os créditos. Para resolver o problema de Schwinger, Uhlenbeck propôs atribuir-lhe uma nota A, tendo em vista os trabalhos que Schwinger já fizera.

Rabi disse-lhe que não era muito legal esse procedimento e pediu a Uhlenbeck que fizesse uma prova oral, como era de costume na Holanda. Assim, Rabi foi falar com Schwinger para acertar o dia para fazer esse exame. Como dormia de dia, Schwinger barganhou com Uhlenbeck fazer a prova às 10 horas da noite. Achando essa proposta insólita, Uhlenbeck pediu-lhe que fizesse a prova às 10 da manhã, para a qual Schwinger compareceu com certo sacrifício. Depois do exame, Uhlenbeck foi falar com Rabi e disse-lhe que estava bastante surpreso, pois além de Schwinger haver respondido todas as perguntas, ainda rascunhou um trabalho inédito usando as expressões corretas de um tema que Uhlenbeck havia falado em suas aulas, muito embora Schwinger não tenha assistido a nenhuma delas. Com a burocracia acadêmica completada, Schwinger recebeu finalmente o grau de Doutor pela CU, em 1939, com 21 anos de idade, com a Tese intitulada: **On the Magnetic Scattering of Neutrons**, tendo como base o trabalho que havia publicado (com o mesmo nome), em 1937, como vimos acima. (Schweber, op. cit.; verbetes sobre Schwinger na wikipedia.org)



ANTERIOR

SEGUINTE