



CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

www.bassalo.com.br

Os Primeiros Trabalhos de Schrödinger (1910-1919).

O físico austríaco Erwin (Rudolf Josef Alexander) Schrödinger (1887-1961; PNF, 1932) entrou na *Universidade de Viena* (UV), em 1906, e teve seu interesse voltado para o estudo da Física Teórica, graças ao estímulo que recebeu do físico austro-húngaro Friedrich (“Fritz”) Hasenöhl (1874-1915) professor dessa disciplina, que o orientou em seu primeiro trabalho científico, publicado em 1910 (*Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien* **121**, p. 1215), que foi a base de sua Tese de Doutorado, intitulada **Über die Leitung der Elektrizität auf der Oberfläche von Isolatoren an feuchter Luft** (“Sobre a Condução da Eletricidade em Superfície de Isoladores em Ar Úmido”) e defendida no dia 20 de maio daquele ano. É interessante registrar que Schrödinger apresentou essa sua primeira pesquisa, publicamente, por ocasião de uma reunião da *Academia Austríaca de Ciências* (AAC), ocorrida no dia 30 de junho de 1910, em Viena. A partir daí, ele começou a realizar trabalhos teóricos visando explicar resultados experimentais (alguns medidos por ele próprio), como veremos a seguir. Assim, em 1912, ele publicou três trabalhos nos quais estudou: no primeiro, a Teoria Cinética do Magnetismo (*Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien* **121**, p. 1305) [neste artigo, ele cometeu um erro ao tratar o magnetismo como um gás de elétrons lorentziano [proposto pelo físico holandês Henrik Antoon Lorentz (1853-19128; PNF, 1902), em 1905 (*Proceedings of the Royal Academy of Sciences, Amsterdam* **7**, p. 438; 585; 684)] e seus resultados teóricos não explicavam os resultados experimentais, razão pela qual foi recusado por Hasenöhl quando ele o apresentou no concurso (*Habilitationschrift*) para *Privat Dozent* da UV]; no segundo (*Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien* **121**, p. 1937), usou o conceito de dipolo elétrico permanente para explicar o ponto de fusão dos metais, bem como os fenômenos piro- e piezoelétricos (note-se que foi este artigo, apresentado na AAC, em 17 de outubro de 1912, que o tornou *Privat Dozent* da UV, tendo sido nomeado 09 de janeiro de 1914); e, no terceiro, apresentou estimativas teóricas sobre a penetração e distribuição das radiações na atmosfera (*Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien* **121**, p. 2391).

A preocupação de Schrödinger em tratar da radiação na atmosfera decorreu dos trabalhos realizados pelo físico austríaco Victor Franz Hess (1883-1964; PNF, 1936) sobre a existência de uma *radiação extraterrestre*, tais como: em 1910 (*Sitzungsberichte der Königlich Akademie der Wissenschaften in Wien* **119**, p. 145), em 1911 (*Sitzungsberichte der Königlich Akademie der Wissenschaften in Wien* **120**, p. 1575; *Physikalische Zeitschrift* **12**, p. 998), em 1912 (*Sitzungsberichte der Königlich Akademie der Wissenschaften in Wien* **121**, p. 2001; *Physikalische Zeitschrift* **13**; p. 1084), e em 1913 (*Sitzungsberichte der Königlich Akademie der Wissenschaften in Wien* **122**, p. 1053; *Physikalische Zeitschrift* **14**, p. 610). Nesses artigos, Hess apresentou os resultados de suas experiências nas quais observou que eletroscópios carregados em balões atmosféricos eram descarregados em consequência de uma *ultra-radiação* vinda do espaço; ele comparou cálculos teóricos dos coeficientes de absorção de tal *radiação* com os valores experimentais medidos, no Prado e em balões que atingiram até 5 km de altitude. Ainda em 1913 (*Physikalische Zeitschrift* **14**; p. 1066; *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* **15**, p. 1111), o físico austríaco Werner Heinrich Gustav Kolhörster (1887-1946) fez uma observação independente dessa *radiação*. Registre-se que, em 1914 (*Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* **16**, p. 719), Kolhörster voltou a registrar novas observações sobre essa *radiação*.

Voltemos aos trabalhos iniciais de Schrödinger na UV, quando era assistente do físico austríaco Franz Serafin Exner (1849-1926). Em 1913, Schrödinger publicou dois artigos: no primeiro (*Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* **15**, p. 1167) fez um estudo teórico sobre a dispersão elétrica anômala e, no segundo (*Sitzungsberichte der Königlich Akademie der Wissenschaften in Wien* **122**, p. 2023) divulgou o resultado das medidas experimentais que havia realizado, em agosto de 1913, nos céus de Seeham, sobre a emissão radioativa do então rádio-A (hoje, radônio – ${}_{86}\text{Rn}$). Neste trabalho, ele confirmou suas estimativas teóricas, bem como as de Hess. Destaque-se que, por esse trabalho, ele ganhou o *Prêmio Haytingera* (“Haytinger-Preis”), de 1920, concedido pela AAC. Apesar da *Primeira Guerra Mundial* (PGM) (28 de julho de 1914-11 de novembro de 1918), Schrödinger continuou realizando pesquisas. Com efeito, em 1914, ele publicou artigos nos quais tratou dos seguintes temas: o problema da interferência dos raios-X (*Physikalische Zeitschrift* **15**; p. 79) (objeto de seu primeiro Curso como *Privat Dozent*); a dinâmica dos sistemas pontuais elasticamente acoplados (*Annalen der Physik* **44**, p. 916; *Physikalische Zeitschrift* **15**; p. 497; *Sitzungsberichte der Königlich Akademie der Wissenschaften in Wien* **123**, p. 1679), nos quais tratou matematicamente de questões físicas relacionadas com o caráter atômico da matéria, como, por exemplo, o calor específico dos sólidos. É oportuno destacar que, nesses trabalhos, já se evidenciava a estrutura filosófica do pensamento de Schrödinger, pois ele mostrou que o conceito de limite usado pelos matemáticos puros é diferente do dos físicos, quando ambos usam equações diferenciais, já que o contínuo matemático não existe na física devido à estrutura atômica da matéria. Ainda em 1914 (*Sitzungsberichte der Königlich Akademie der Wissenschaften in Wien* **123**, p. 1319), Schrödinger e o físico austríaco Karl Wilhelm Friedrich (“Fritz”) Kohlrausch (1884-1953) investigaram as propriedades da fraca radiação beta (β) decorrente da incidência da radiação gama (γ) na superfície de um metal (sobre essas radiações, ver verbetes nesta série). É também de 1914 o verbete (**Dielectricism**) que Schrödinger escreveu para o *Handbuch der Elektrizität und des Magnetismus* **1**, p. 157, no qual tratou dos dielétricos.

O serviço militar que Schrödinger prestou na PGM como Oficial de Artilharia nas fortalezas austríacas de Gorizia, Duino, Sistina, Prosecco e Viena, não o impediu de continuar suas pesquisas. Quando ele estava em Komaron, na Hungria, entre Viena e Budapeste, no início da PGM, alguns temas de Física chamaram a sua atenção, principalmente a Dinâmica dos Fluidos (principalmente a sua natureza estatística), com destaque para a tensão superficial e o movimento browniano (MB) [observado pelo botânico escocês Robert Brown (1773-1858), em 1828 (*Philosophical Magazine* **4**, p. 16; *Annalen der Physik und Chemie* **14**, p. 294)]. Assim, em 1915, ele publicou dois trabalhos: um relacionado com a capilaridade nas bolhas de ar (*Annalen der Physik* **46**, p. 413), no qual mostrou que as fórmulas que eram usadas estavam erradas e então propôs uma nova expressão que explicava os resultados experimentais realizados por seus estudantes, sob sua orientação; no segundo (*Physikalische Zeitschrift* **16**; p. 289) ele usou o MB para explicar, estatisticamente, as célebres experiências (da gota de óleo) realizadas pelo físico norte-americano Robert Andrews Millikan (1868-1953; PNF, 1923), desde 1906, para determinar a carga do elétron e cujos primeiros resultados foram apresentados em 1909 (*Physical Review* **29**, p. 560). Dois anos depois, em 1917, Schrödinger já se encontrava em Viena e foi designado para ministrar um Curso de Meteorologia para oficiais-artilheiros em Wiener Neusdat, no sul de Viena, ao mesmo tempo em que ministrava aulas de Física Experimental na UV. Naquele ano de 1917, publicou três trabalhos: um sobre a acústica na atmosfera devido a explosões de bombas (*Physikalische Zeitschrift* **18**; p. 445) e os outros dois sobre calores atômicos e moleculares (*Die Naturwissenschaften* **5**, p. 537; 561). Muito embora estes dois últimos trabalhos não apresentassem nenhuma contribuição original, eles foram, no entanto, os primeiros nos quais ele usou a Teoria Quântica, proposta pelo físico alemão Max Karl Ernst Planck (1858-1947; PNF, 1918), em 1900 (*Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* **2**, p. 237).

Quando Schrödinger estudava (entre 1914 e 1918) os aspectos estatísticos do MB, ele também se deteve nos trabalhos (realizados em 1906) dos físicos, o germano-suíço-norte-americano Albert Einstein (1879-1955; PNF, 1921) (*Annalen der Physik* **19**, p. 371) e o físico polonês Marian von Smolan-Smoluchowski (1872-1917) (*Annalen der Physik* **21**, p. 756), sobre a opalescência crítica

(difusão estatística) que explica, por exemplo, a cor azul do céu, por intermédio da **Fórmula de Einstein-Smoluchowski**. Outro trabalho que Schrödinger também estudou foi a **Equação de Fokker-Planck** (EF-P) deduzida pelo físico alemão Adriaan Daniel Fokker (1887-1968) [irmão do famoso projetista de avião Anton Herman Gerard (“Anthony”) Fokker (1880-1939)], em 1914 (*Annales de Physique Leipzig* **43**, p. 810; *Physikalische Zeitschrift* **15**, p. 96) e, independentemente, por Planck, em 1917 (*Sitzungsberichte der Königlich Preussische Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, p. 435), que trata do MB de um elétron em um campo de radiação. Desses estudos, resultou o trabalho de Schrödinger publicado em 1918 (*Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien* **127**, p. 237), no qual resolveu a equação da difusão em um campo gravitacional, usando a expressão geral da EF-P.

Quando estava em Prosecco, Schrödinger estudou a Teoria da Relatividade Geral (TGR) que havia sido desenvolvida por Einstein, em 1915 (*Sitzungsberichte Preussische Akademie der Wissenschaften* **2**, p. 778; 799; 831; 844), com a proposta da hoje célebre **Equação de Einstein** (EE), que indica ser a gravitação uma decorrência da geometrização do espaço, isto é, a matéria muda a geometria do espaço que a envolve. No ano seguinte, em 1916 (*Annalen der Physik* **49**, p. 769; *Sitzungsberichte Preussische Akademie der Wissenschaften* **2**, p. 1111), Einstein publicou dois trabalhos nos quais apresentou os fundamentos matemáticos tensoriais da Teoria da Relatividade Geral, além de discutir as leis de conservação da energia e do momento para a matéria como uma consequência das equações do campo gravitacional derivadas do **Princípio de Hamilton** (1835). Aliás, é oportuno destacar que no primeiro artigo, Einstein analisou a teoria da gravitação newtoniana como uma primeira aproximação da TGR, bem como estudou o comportamento de bastões e relógios em um campo gravitacional estático, o encurvamento de raios luminosos e o movimento do periélio dos planetas. Note-se que, ainda em 1916 (*Sitzungsberichte Preussische Akademie der Wissenschaften* **1**, p. 189; 424), o astrônomo alemão Karl Schwarzschild (1873-1916), encontrou uma solução para a EE ao considerar um campo estático esfericamente simétrico (isotrópico) produzido por um corpo também esfericamente simétrico em repouso e colocado em um espaço vazio, sem matéria. Em 1917 (*Sitzungsberichte Preussische Akademie der Wissenschaften* **1**, p. 142), Einstein introduziu o **termo cosmológico** (Λ) em sua EE, para manter o Universo Estático, já que, ao resolver sua equação, encontrou uma solução não estacionária para o raio do Universo. Esses resultados da Teoria da Gravitação de Einstein foram tratados por Schrödinger em dois artigos escritos em 1918, quando já se encontrava em Viena. Considerando que Einstein havia calculado os componentes da energia de um campo gravitacional por intermédio de um ente matemático que não era um tensor e, portanto, não era invariante por uma transformação de coordenadas, em seu primeiro trabalho de 1918 (*Physikalische Zeitschrift* **19**, p. 4), Schrödinger usou o modelo de Schwarzschild e, tomando um sistema de coordenadas “quase cartesiano”, encontrou um resultado surpreendente: todos os componentes da energia eram nulos. Neste trabalho, Schrödinger defrontou-se com um problema que ainda é atual na Gravitação – a energia gravitacional localizada - e que fica na fronteira com a Filosofia.

No segundo artigo (*Physikalische Zeitschrift* **19**, p. 20), Schrödinger considerou o Universo como um fluido sob alta pressão e densidade nula ($\rho = 0$) e, com isso, obteve uma solução da EE que não dependia de Λ . Einstein imediatamente republicou esse trabalho de Schrödinger em artigo, ainda publicado em 1918 (*Physikalische Zeitschrift* **19**, p. 165), dizendo: - *O caminho seguido por Schrödinger não me parece acessível, pois ele conduz uma mata cerrada de hipóteses*. Também, em 1918 (*Physikalische Zeitschrift* **19**, p. 218), Schrödinger publicou um trabalho no qual discutiu sobre ordem e acaso na Mecânica Estatística.

Em 1919, Schrödinger preparou um trabalho sobre a **Lei da Desintegração Radioativa** que havia sido apresentada pelo físico austríaco Egon Ritter von Schweidler (1873-1948), em 1905, por ocasião do *Premier Congrès de Radiologie* ocorrido em Liège, na França, traduzida pela expressão: $A = A_0 \exp(-\lambda t)$, onde A representa a atividade radioativa de uma amostra em um instante t , A_0 é a atividade inicial, e λ é uma característica do elemento radioativo, denominada de **constante de decaimento**, que é ligada à meia-vida T (tempo que a amostra leva para reduzir-se até a metade de seu valor inicial) pela expressão: $T \lambda = 0,693$. Nesse longo trabalho de 60 páginas (*Sitzungsberichte der*

Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien **128**, p. 177) apresentado no dia 16 de janeiro de 1919 na *Academia Austríaca de Ciências* (AAC), Schrödinger fez um estudo da Teoria da Probabilidade usada por Schweidler para estudar as flutuações estatísticas (e suas medidas) da radioatividade. Foi ainda, em 1919, que Schrödinger escreveu cinco artigos (*Physikalische Zeitschrift* **20**, p. 420; 450; 474; 497; 523), nos quais apresentou uma extensiva revisão teórica e experimental da teoria quântica dos metais, mas chamou a atenção para o fato de que ela era insuficiente para entender o calor específico dos mesmos. Por fim, também em 1919 (*Annalen der Physik* **61**, p. 69), ele discutiu a coerência em pacotes (de energia quântica) abertos. [William T. Scott, **Erwin Schrödinger: An Introduction to His Writings** (University of Massachusetts Press, 1967) e Walter John Moore, **A Life of Erwin Schrödinger** (Cambridge University Press, 1994).]



[ANTERIOR](#)

[SEGUINTE](#)