



Enrico Fermi, físico: uma biografia científica de Emilio Segrè

Job Saraiva Furtado Neto¹ e Carlos Henrique Moreira Lima^{2*}

¹Professor da Universidade Federal do Cariri, Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil. ²Professor da Universidade Federal do Acre, Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Rio Branco, Acre, Brasil.

*carlos.lima@ufac.br

Recebido em: 02/03/2023

Aceito em: 19/11/2023

Publicado em: 30/12/2023

DOI: <https://doi.org/10.29327/269504.5.2-25>

RESUMO

Este artigo tem como objetivo principal discorrer acerca da obra de Emilio Segrè, intitulada "Enrico Fermi, físico: Uma biografia científica". Apresentamos, portanto, uma discussão sobre aspectos da vida e obra de Enrico Fermi do ponto de vista inteiramente científico.

Palavras-Chaves: Resenha de livro. História da Ciência. Enrico Fermi

Enrico Fermi, physicist: A scientific biography of Emilio Segrè

ABSTRACT

This paper has as main objective to discuss about Emilio Segrè's book entitled "Enrico Fermi physicist: A scientific biography". Hence we present aspects of Enrico Fermi's life and work, from an entirely Scientific point of view.

Keywords: Book, History of science, Enrico Fermi.

INTRODUÇÃO

Publicado em 1970 e originalmente em inglês sob o título Enrico Fermi physicist (Enrico Fermi, Physicist, 1972), Emilio Segrè (Prêmio Nobel de Física de 1959), discípulo e amigo de Fermi, nos apresenta uma belíssima obra que versa sobre a vida. O próprio autor destaca este fato no prefácio quando menciona que a esposa de Fermi, Laura, escreveu um livro, intitulado *Atomi in Famiglia*, que trata da vida de Fermi sob outros aspectos, mais pessoais (FERMI, 1995).

Emilio Segrè pessoalmente realizou algumas alterações no texto original para adequá-lo ao público italiano, posteriormente publicando o livro também na língua italiana. Até o momento de meu conhecimento, não existe uma tradução disponível deste livro para o português. A resenha foi elaborada com base na versão italiana da obra

(SEGRÈ, 2020). Fica então uma primeira pergunta: por que ler uma biografia de Fermi que não foi escrita pelo próprio Fermi? Para responder esta pergunta vamos falar um pouco sobre o autor da obra.

Emilio Segrè foi o primeiro estudante a se formar com Fermi e os dois mantiveram uma amizade muito próxima e uma parceria científica por toda a vida. Mesmo quando Fermi emigrou para os Estados Unidos da América, fugindo do caos da segunda guerra mundial, Segrè emigrou também. Ambos trabalharam juntos no projeto Manhattan no Laboratório Nacional de Los Alamos.

Desta forma, em virtude de uma amizade estreita e uma parceria científica tão duradoura, a presente obra de Segrè torna-se uma leitura obrigatória para aquele que tem interesse no trabalho de Enrico Fermi e para todo aquele que tem interesse no ato de se fazer Ciência em si. Segrè também deixa muito claro como os aspectos sociais e históricos influenciam o fazer da ciência. O livro apresenta de maneira muito transparente a influência que a segunda guerra mundial teve na tomada de decisões por parte dos cientistas e como a inevitável escolha de lados diante do cenário da guerra afetou drasticamente o desenvolvimento da ciência.

A inegável importância da relação entre a ciência e a sociedade torna-se mais uma forte razão que justifica a leitura da obra de Segrè. Ainda no prefácio, Segrè comenta que a memória foi sua grande fonte de informação para a escrita do livro, uma vez que Fermi tinha o hábito de destruir grande parte das correspondências que recebia e relembra que praticamente todas as cartas que trocava com Fermi falavam sobre trabalho e Ciência.

DELINEANDO A OBRA

O capítulo 1 trata de apresentar toda a história familiar da família Fermi. Inicialmente parece ser um capítulo muito longo e desnecessário, mas que posteriormente se mostra essencial para a plena compreensão do que se segue. É já neste capítulo que se torna clara a natureza autodidata e prodigiosa de Fermi. Neste capítulo é narrado o momento em que Fermi, aos 14 anos de idade, encontra o livro *Elementorum physicae mathematica volumen primum et secundum* (CARAFFA, 1840) de Andrea Caraffa em uma banca de revistas. E é por este livro, escrito em latim, que aos 14 anos de idade Fermi inicia seus estudos mais formais em física e matemática.

Ainda no primeiro capítulo podemos observar a influência que um amigo do pai de Fermi, o engenheiro Adolfo Amidei, teve na formação de Enrico durante sua

adolescência. É muito interessante saber dos relatos de Adolfo acerca das conversas que ele e Fermi tinham, como quando ele conta sobre a primeira pergunta que Fermi o fez ao saber que ele era engenheiro,

Recordo bem que a primeira pergunta que Fermi fez foi a seguinte: É verdade que existe um ramo da geometria em que, sem recorrer à noção de medida se encontram importantes propriedades geométricas? (SEGRÈ, 2020, p. 38).

Um outro relato de Adolfo delinea muito bem a filosofia que norteia o pensamento de Fermi durante toda a sua vida. Logo antes de prestar exame para ingressar na universidade Amidei pergunta para Fermi se ele iria optar por estudar física ou matemática, pergunta a qual Fermi responde dizendo: “Estudei com paixão a matemática porque a considero necessária para o estudo da física, a qual quero dedicar-me exclusivamente.” (SEGRÈ, 2020, p. 24).

Através da citação mencionada, torna-se evidente que Fermi não demonstrava interesse por ideias puramente abstratas, preferindo sempre conciliar teoria e experimento. De acordo com Heisenberg, essa postura foi uma das razões pelas quais Fermi optou por não participar nos estágios iniciais do desenvolvimento da mecânica quântica.

Fermi também deixava claro que não gostava da filosofia de Bohr e Heisenberg, pois a considerava muito complexa e abstrata. Ao passo que demonstrou imediato interesse no trabalho de Erwin Schrödinger. Ao ingressar na Universidade de Pisa, em 1918, Fermi faz amizade com Rasetti, que se torna um grande amigo de Fermi por toda a vida.

Rasetti relata que Fermi aprendeu alemão e francês para que pudesse ler os artigos científicos mais recentes. Em 1922 Fermi conduz, simultaneamente, trabalhos teóricos e experimentais de grande importância, em teoria da relatividade (FERMI, 1922) e difração de raios-X (FERMI, 1922).

No segundo capítulo, Segrè discute e relata como os aspectos políticos, dentro e fora do âmbito universitário, impactaram na vida de Fermi. Durante este capítulo Fermi tem pouco mais de vinte anos de idade e já possui uma notável fama na Itália. Boa parte do contato inicial que Fermi teve com os aspectos políticos que norteavam a ciência italiana, e a Itália de modo geral, se deu através de conversas com o professor e senador Orso Mario Corbino.

Corbino exerceu uma grande influência no desenvolvimento da física moderna italiana e também teve grande papel no cenário político da época. É importante destacar aqui que em 1923 Corbino foi nomeado ministro da economia por Mussolini, que se interessou por Corbino após um discurso que ele proferiu no senado sobre o "Espírito anti-industrial da Itália". Contudo, vale ressaltar também que Corbino não era e nem nunca foi do partido fascista.

É justamente neste período de crescimento do partido fascista que Fermi concorre e ganha uma bolsa de estudos para estudar fora. O discurso dado pelo comitê deixa bem claro que Fermi ganhou a bolsa por apresentar uma maturidade científica notável, tanto no âmbito da física teórica quanto experimental.

Fermi utilizou a bolsa de estudos para passar o inverno de 1923 no instituto de Max Born em Gottingen. Contudo, aparentemente, o período em Gottingen não foi tão frutífero quanto Fermi esperava. Apesar de não ter dificuldades com o idioma, Fermi não se sentia confortável, tanto que só algum tempo depois estabeleceu uma amizade mais sólida com os jovens Heisenberg e Pauli (Figura 1).

Figura 1 - Da esquerda para a direita: Wolfgang Pauli, Werner Heisenberg e Enrico Fermi.



Fonte: (SEGRÈ, 2020, p.12).

Segrè destaca no livro um conselho que Fermi dava aos seus amigos e colegas acerca das publicações científicas. Fermi costumava publicar os resultados mais importantes que obtinha tanto em alemão quanto em italiano, enquanto os resultados mais simples ele publicava somente em italiano.

Um dos casos destacados por Segrè diz respeito ao artigo de 1924 publicado por Fermi no jornal *Zeitschrift für Physik* sobre a seção de choque entre átomos e partículas eletricamente carregadas. O artigo recebeu severas críticas de Bohr justamente em uma

época em que Fermi buscava por mais reconhecimento internacional. Ainda em 1924, Fermi decide passar um tempo em Leiden utilizando a bolsa de estudos concedida pela fundação Rockefeller. O tempo em Leiden foi considerado por Fermi como um período bastante frutífero de sua carreira. Em Leiden, Fermi encontrava-se na companhia dos jovens Uhlenbeck e Goudsmit, que revolucionaram a física com a descoberta do spin do elétron pouco tempo depois.

Foi durante o período em Leiden que Fermi iniciou o desenvolvimento do trabalho sobre a estatística de partículas fermiônicas, que foi independentemente desenvolvido por Dirac e sendo hoje conhecida como estatística de Fermi-Dirac (DIRAC; RUTHERFORD, 1924). Após retornar de Leiden, Fermi buscava encontrar um emprego, e com a reputação que já havia conquistado, não foi difícil encontrá-lo.

Logo Fermi assumiu o posto de professor assistente na Universidade de Firenze. Em Firenze, Fermi reencontra Rasetti. Ambos trabalharam juntos e o trabalho mais importante entre os dois amigos em Firenze foi publicado em 1925 e versa sobre a ação de um campo magnético variável sobre a polarização da luz de ressonância do mercúrio. Este foi um trabalho seminal que deu origem a vários outros trabalhos sobre aplicações de radiofrequência em espectroscopia atômica. Vale destacar aqui que, diferentemente de Fermi e Segrè, Rasetti recusou o convite para trabalhar no projeto Manhattan.

Continuando a discussão sobre o período de Fermi na Universidade de Florença, Segrè descreve minuciosamente as impressões e debates entre Fermi e Rasetti que culminaram na publicação do trabalho mencionado anteriormente. Aproveito este momento para enfatizar a relevância, especialmente para os estudantes de graduação, de compreender o processo de construção de uma ideia científica. Neste capítulo, Segrè destaca um ponto crucial na trajetória de Fermi. Em 1925, Fermi busca obter uma posição como professor na Universidade Degli Studi di Cagliari, cargo que já estava ocupado por Giovanni Giorgi.

Segrè relata que por muitos anos Fermi sentiu-se injustiçado, mas que talvez este tenha sido um mal que veio para o bem, uma vez que Fermi conseguiu o posto de professor em Roma no ano seguinte. E foi durante este período que Pauli publicou seu trabalho acerca do princípio da exclusão para partículas fermiônicas. O princípio da exclusão era a chave para superar a dificuldade no problema da estatística de partículas de spin $1/2$. Poucas semanas após ter lido o trabalho de Pauli, Fermi, em fevereiro de

1926, publica um longo trabalho na *Zeitschrift für Physik* acerca da estatística de partículas de spin $1/2$ (SALINAS, 2013).

O primeiro grande artigo de importância fundamental publicado por Fermi. A publicação deste trabalho põe Fermi em uma posição de destaque no cenário da física mundial, uma vez que seu trabalho foi imediatamente reconhecido em todo o mundo como um trabalho de seminal importância.

Neste mesmo período foram publicados os primeiros trabalhos de Erwin Schrödinger acerca da mecânica quântica ondulatória, trabalhos estes que capturaram a atenção de Fermi de imediato. Ainda no ano de 1926, aos 26 anos de idade, Fermi finalmente consegue um posto de professor permanente na Universidade de Roma, posto este que geralmente só era conseguido por volta dos 50 anos de idade. Trago aqui um trecho da declaração do comitê avaliador do concurso para admissão do novo professor de física da Universidade de Roma, que declara que:

"A comissão, portanto, é unânime em declarar que o professor Fermi é altamente merecedor da cadeira de física teórica, e acredita ter encontrado nele a melhor esperança na busca por afirmação e desenvolvimento futuro da física teórica italiana." (SEGRÈ, 2020, p. 72)

O capítulo 3 dedica-se inteiramente a descrever o período em que Fermi passou como professor na Universidade de Roma. Logo no início do capítulo, Segrè destaca que, na ânsia por consolidar o desenvolvimento da física italiana, Fermi decide escrever um livro em língua italiana, com o intuito de ajudar os estudantes com livros escritos em sua língua nativa. Esta nobre empreitada resultou na publicação do livro *Introduzione alla Fisica Atomica* (FERMI; FERMI, 1928).

No que se segue, são relatadas todas as dificuldades que Fermi encontrou ao tentar solidificar a pesquisa em física teórica e também em física experimental na Universidade de Roma. Foi neste momento, como um novo estudante da Universidade de Roma, que Emilio Segrè conhece Fermi (Figura 2).

Figura 2 - Os garotos da via Panisperna. Da esquerda para a direita: Oscar D'Agostino, Emilio Segrè, Edoardo Amaldi, Franco Rasetti e Enrico Fermi.



Fonte: (SEGRÈ, 2020, p. 92).

Um relato importante é feito neste capítulo acerca da figura controversa de Ettore Majorana. Nesta época, por volta de 1928, Segrè e Majorana eram colegas de classe, ambos estudantes de Fermi. E acerca do amigo e colega de classe, Segrè relata que:

"Majorana era superior aos seus novos colegas tanto em intelecto quanto em profundidade e extensão de cultura matemática, e no que diz respeito a capacidade de abstração e habilidade na matemática pura, era inclusive superior a Fermi. Desgraçadamente, sua inteligência tão original e profunda era acompanhada de uma tendência desenfreada à crítica e de um profundo pessimismo."(SEGRÈ, 2020, p. 94)

Majorana desapareceu misteriosamente em 25 de março de 1938 após sacar todo seu dinheiro do banco e comprar uma passagem de barco saindo de Palermo com destino a Nápoles. Apesar de várias investigações, o corpo de Majorana nunca foi encontrado. O prêmio Majorana foi criado em 2006 em sua homenagem.

Durante este capítulo vários são os relatos que destacam a genialidade e a figura controversa que foi Ettore Majorana (Uma escuridão brilhante, 2009). O primeiro trabalho importante escrito por Fermi estando na Universidade de Roma foi sobre um método estatístico para a determinação de algumas propriedades atômicas. Este método é hoje conhecido como método de Thomas-Fermi (LIEB; SIMON, 1977). A ideia fundamental deste método estatístico consiste em considerar os elétrons em torno do

núcleo como um gás fermiônico no zero absoluto, sob o qual se aplica o caso limite da estatística de Fermi-Dirac.

Vale ressaltar que o reconhecimento dos trabalhos de Fermi torna-se evidente quando ele recebe o convite para participar da conferência de Solvay de 1930. Durante todo este capítulo Segrè resalta a forma gentil e entusiasmada com que Fermi tratava todos os seus amigos e estudantes.

Foi um período bastante profícuo da vida de Fermi de um ponto de vista acadêmico. Os diálogos que são descritos ajudam bastante a remontar a atmosfera de desenvolvimento científico e, em particular, da consolidação da teoria quântica. Tudo é descrito com bastante detalhe, desde a proposta do neutrino de Pauli e da descoberta do nêutron, por Chadwick, até o trabalho seminal de Fermi acerca da interação Fraca.

Aqui é também relatado o momento em que vários jovens estudantes, tais como Hans Bethe, Felix Bloch, Fritz London, Christian Moller, Sam Goudsmit, dentre outros, fugiam da preocupante situação que tomava conta da Alemanha que era o nazismo de Hitler. Vários destes estudantes passaram pelo menos um tempo em Roma antes de emigrarem novamente. Neste contexto, é bastante discutida a influência política que o regime fascista de Mussolini teve no desenvolvimento da física italiana e na vida privada de Fermi, uma vez que foi dado a Fermi o título de Acadêmico da Itália, pelo próprio Mussolini, em 1929. Não menos importantes, são descritas as primeiras viagens de Fermi aos EUA.

Segundo Segrè, essas jornadas foram de extrema importância para a tomada de uma das decisões mais cruciais que transformariam a vida de Fermi: a decisão de emigrar para os Estados Unidos. Segrè destaca que, embora Fermi não tenha figurado entre os nomes proeminentes no desenvolvimento dos fundamentos da mecânica quântica, ao lado de contemporâneos como Heisenberg, Pauli e Dirac, ele desempenhou um papel crucial no avanço de técnicas experimentais. No entanto, após a consolidação inicial da mecânica quântica, Fermi publica seu trabalho seminal sobre a interação fraca.

Nesta pesquisa, é introduzida e examinada, pela primeira vez, a interação fraca. Fermi tinha plena consciência de que esse trabalho representaria sua contribuição mais notável para a história da ciência. Após redigir e submeter o manuscrito à revista *Nature*, Fermi deparou-se com a recusa, os revisores argumentaram que o trabalho era "demasiado conjectural e afastado da realidade física".

Fermi então reescreve o trabalho em italiano e o publica na revista *Ricerca Scientifica* sob o título de *Tentativo di una teoria dell' emissione dei raggi beta* (FERMI, 2008).

Ainda no mesmo ano, Fermi publica este mesmo artigo também em alemão. Logo após a publicação do trabalho sobre a interação fraca, Fermi resolve voltar sua atenção para a física experimental. O súbito retorno à física experimental foi inspirado pelo trabalho publicado por Irène Curie e Frédéric Joliot em que eles mostraram o surgimento de uma radioatividade induzida ao se bombardear átomos de boro e alumínio com partículas alfa. Fermi então teve a ideia de bombardear com os nêutrons de Chadwick, uma vez que estes não seriam defletidos pela carga positiva do núcleo dos átomos bombardeados.

Por fim o livro oferece uma narrativa detalhada sobre o desenvolvimento dos experimentos, proporcionando ao leitor uma compreensão profunda das sutilezas inerentes ao processo experimental. Um ponto enfatizado por Segrè foi a observação de que os experimentos de indução de radioatividade por bombardeamento com nêutrons pareciam apresentar melhores resultados quando conduzidos em uma mesa de madeira, em comparação com uma mesa de mármore. Os resultados relativos à radioatividade induzida pelo bombardeamento de nêutrons foram ainda mais notáveis quando Fermi percebeu que nêutrons lentos induziam consideravelmente mais radioatividade do que os nêutrons rápidos.

E aqui, mais uma vez, Segrè apresenta em detalhes as inúmeras tentativas experimentais de se obter nêutrons lentos. Este trabalho de Fermi foi de súbito reconhecido pela comunidade científica, tanto que apenas um mês depois da publicação do seu primeiro trabalho sobre radioatividade induzida por bombardeamento por nêutrons, Fermi recebe uma carta de Rutherford o parabenizando pelo trabalho.

E em 1938, aos 37 anos de idade, Fermi recebe uma carta enviada por Bohr informando-o que provavelmente ele receberia o Prêmio Nobel de física. Bohr deixa claro que só o informou com antecedência em virtude da situação de temor geral na Europa devido ao crescente domínio nazista. No mesmo ano Fermi recebe o Prêmio Nobel por suas contribuições dentro do contexto da radioatividade induzida por nêutrons e pelo processo de reações nucleares induzidas por nêutrons lentos.

E em virtude da campanha antissemita anunciada por Mussolini no *Manifesto della razza*, Fermi decide sair, juntamente com sua família, de Estocolmo diretamente

para os EUA. O último capítulo do livro versa sobre o período em que Fermi esteve nos Estados Unidos da América (EUA). Todo o período de adaptação à vida nos EUA é relatado em detalhes e é bastante interessante conhecer o processo de adaptação em uma época menos globalizada em comparação com a que vivemos hoje. Contudo, a maior parte do capítulo é dedicada a discussão acerca da participação de Fermi no projeto Manhattan, no Laboratório Nacional de Los Alamos. Logo ao chegar aos EUA, Fermi aceita uma posição de professor na Universidade de Columbia. Segundo conta Fermi, duas semanas após sua chegada aos EUA ele recebe a notícia da descoberta da fissão do urânio.

Esta notícia foi repassada a Fermi através de Willis Lamb (que depois ficaria famoso pelo deslocamento de Lamb) que estava assistindo uma palestra de Niels Bohr em Princeton em que Bohr divulga a notícia. No livro são dados vários detalhes acerca das discussões que foram travadas na época como consequência da descoberta da fissão do urânio. Já em abril de 1939, Halban, Kowarski e Joliot mostraram que um átomo de urânio bombardeado por nêutrons emite mais nêutrons que absorve, sugerindo assim a possibilidade de uma reação em cadeia (KOWARSKI, 1939).

E a especulação acerca desta possibilidade foi verificada poucas semanas depois por Fermi e Anderson (HANSTEIN, 1939). Segrè então detalha todas as discussões da comunidade científica dos EUA que os levaram a pressionar o governo a perseguir um programa nuclear, apresentado inclusive cartas anteriores a de Einstein (endereçada ao presidente Roosevelt), discussões orçamentárias e como a iniciativa privada inseriu-se no programa nuclear como uma forma de acelerar o processo de produção das bombas atômicas a fim de obtê-las antes da Alemanha. Poucos dias após o envio da carta de Einstein ao presidente Roosevelt a Alemanha invade a Polônia, tornando a situação ainda mais crítica.

O livro discute então como toda estrutura de pesquisa científica nos EUA é reorganizada em função dos eventos que estavam acontecendo na Europa. Deste ponto em diante, Segrè apresenta detalhes acerca da construção do Laboratório Nacional de Los Alamos, que foi construído como um laboratório ultrassecreto do governo dos EUA para o desenvolvimento das bombas atômicas.

Todos os testes envolvendo o desenvolvimento das bombas são discutidos, desde o uso do grafite como moderador dos nêutrons para o controle da reação em cadeia até os mecanismos de detonação. Os relatos das conversas entre Fermi e Robert Oppenheimer

são descritos de maneira muito fiel, o que faz deste capítulo uma fonte de enorme aprendizado.

CONCLUSÃO

Na parte final deste artigo, torna-se claro o impacto significativo de Enrico Fermi na física. Fermi desempenhou um papel crucial no avanço dos fundamentos da mecânica quântica, contribuindo tanto para os aspectos teóricos quanto experimentais. Sua genialidade foi essencial para a introdução de novos conceitos físicos, influenciando positivamente o progresso tecnológico em áreas como física nuclear, computação e eletrodinâmica quântica (FLEMING, 1996).

Conhecer a vida e obra de Enrico Fermi é o mesmo que adentrar em um universo fascinante de belezas em que só a natureza pode nos mostrar, mesmo com sua morte prematura aos 53 anos de idade, seu legado de um brilhante físico experimental e sua genialidade em física teórica só nos motiva para seguir galgando as trilhas do conhecimento.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, H. L.; FERMI, E.; HANSTEIN, H. B. Production of Neutrons in Uranium Bombarded by Neutrons. **Physical Review**, v. 55, n. 8, p. 797–798, 1939.

CARAFFA (S.J.), A. **Elementorum physicae mathematicae**. [s.l.] typis J.B. Marini, 1840.

DIRAC, P. A. M.; RUTHERFORD, E. The conditions for statistical equilibrium between atoms, electrons and radiation. **Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character**, v. 106, n. 739, p. 581–596, 1924.

FERMI, E. **Physicist**. 1st edition ed. Chicago: University Of Chicago Press, 1972.

FERMI, E. Sopra lo Spostamento per Pressione delle Righe Elevate delle Serie Spettrali. **Il Nuovo Cimento (1924-1942)**, v. 11, n. 3, p. 157, 20 set. 2008.

FERMI, E.; FERMI, E., Fermi, Enrico, Fermi, Enrico. **Introduzione alla fisica atomica**. Bologna: Nicola Zanichelli, 1928.

FERMI, E. “Correzione di una grave discrepanza tra la teoria delle masse elettromagnetiche e la teoria della relatività. Inerzia e peso dell’electricità”, **Rendiconti Accademia Lincei** 31, 184-187 (1922).

FERMI, E. “I raggi R”ontgen”, **Nuovo Cimento** 24, 133-163 (1922).

FERMI, L. **Atoms in the Family: My Life with Enrico Fermi**. 2nd ed. Chicago: University of Chicago Press, 1995.

FLEMING, H. Enrico Fermi, Gênio e Simplicidade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 18, n. 4, p. 7, 1996.

LIEB, E. H.; SIMON, B. The Thomas-Fermi theory of atoms, molecules and solids. **Advances in Mathematics**, v. 23, n. 1, p. 22–116, 1977.

SALINAS, S. R. A. **Introdução à Física Estatística**. 2. ed. São Paulo: EDUSP, 2013.

SEGRÈ, E. **Enrico Fermi, fisico. Una biografia scientifica**. [s.l.] Plunkett Lake Press, 2020.

Uma escuridão brilhante: a vida extraordinária e o desaparecimento misterioso de Ettore Majorana, o gênio problemático da. 1st edition, New York: Basic Books, 2009.

VON HALBAN, H.; JOLIOT, F.; KOWARSKI, L. Number of Neutrons Liberated in the Nuclear Fission of Uranium. **Nature**, v. 143, n. 3625, p. 680–680, 1939.