

Contextualização histórica do experimento de Franck-Hertz

Letícia Oliveira de Castro

Priscila Tamiasso-Martinhon

Angela Sanches Rocha

Célia Sousa

Resumo

A busca por uma melhor compreensão da natureza e de seus fenômenos permeia o pensamento filosófico desde seu princípio e, até hoje, possui um lugar de destaque nas ciências. Porém, só a partir do século XIX avançou-se na compreensão do comportamento e natureza da matéria, o que passa pelo entendimento da estrutura atômica. Nessa perspectiva, o experimento de Franck-Hertz (1914) teve grande relevância, e sua principal importância reside na comprovação empírica da existência dos níveis quantizados de energia dos elétrons, fato que constitui o centro da teoria atômica de Bohr. Deste modo, este experimento é importante para o ensino de Química e Física, pois a Mecânica Quântica exige um elevado grau de abstração e conhecimento de matemática avançada, sendo necessário um grande esforço para a sua compreensão, o que sem dúvida é facilitado pela atividade prática. O experimento de Franck-Hertz tem sido realizado, com êxito, em laboratórios acadêmicos até os dias atuais, permitindo aos alunos uma comprovação experimental de uma parte importante deste conjunto de teorias sobre o sistema atômico.

Palavras-chave: Experimento de Franck-Hertz; Quantização; Modelos atômicos.

Abstract

The search for a better understanding of the phenomena of nature permeates the philosophical thought from your principle and, until today, has a prominent place in the sciences. However, only since the 19th century has progressed in understanding the behavior and nature of the matter, which passes through the understanding of atomic structure. In this perspective, the Franck-Hertz experiment (1914) had great relevance, and your main importance lies on empirical evidence of the existence of quantized energy levels of electrons, which is the center of the Bohr atomic theory. Thus, this experiment has great relevance in the teaching of chemistry and physics, because quantum mechanics requires a high degree of abstraction and knowledge of advanced mathematics, requiring a great effort for your understanding, which undoubtedly is facilitated by practical activity. The Franck-Hertz experiment has been conducted successfully in academic laboratories to the present day, allowing students an experimental proof of an important part of this set of theories about the Atomic system.

Keywords: Experiment of Franck-Hertz; Quantization; Atomic models.

INTRODUÇÃO

A Química é uma ciência na qual se busca explicar os fenômenos da natureza, a partir da formulação de teorias ou modelos em acordo com estes. Logo, estas teorias devem ser capazes de prever, da melhor forma possível, os resultados esperados para o comportamento de um sistema em diferentes condições.¹ Além de um forte empirismo associado a ela, ela é uma ciência essencialmente simbólica, sendo necessário um domínio destes códigos para sua adequada compreensão.

¹ Valter A. Bezerra, "Estruturas Conceituais e Estratégias de Investigação: Modelos Representacionais e Instanciais, Analogias e Correspondência," *Scientiae Studia* 9, nº 3 (2011): 585-609.

Para os fenômenos envolvendo partículas de pequenas dimensões, como o elétron - tão importantes para a descrição do comportamento dos átomos - a Mecânica Clássica perde sua capacidade de previsão, o que demonstra que seus conceitos e modelos são aplicáveis apenas a sistemas específicos, portanto não são gerais.

Novas teorias foram desenvolvidas ao longo dos anos para tentar explicar e prever o comportamento destas partículas. No entanto, dada a dificuldade de observação, que é inerente a experimentos nesta escala, estratégias foram desenvolvidas para melhorar os modelos e teorias propostas. Um destes experimentos foi realizado, em 1914, por James Franck e Gustav Ludwig Hertz, que comprovaram a quantização dos níveis de energia dos átomos, segundo o modelo proposto pelo cientista Niels Bohr.²

Para muitos estudantes de Física e Química, o contato com as teorias da Mecânica Quântica é meramente teórico exigindo elevado grau de abstração, apesar do forte caráter empírico destas duas ciências. Isso dificulta o aprendizado, principalmente se for levado em consideração que os referenciais teóricos do estudo de dinâmica dos corpos visitados pelos estudantes até então, dizem respeito à Mecânica Clássica.

Conseqüentemente, é natural que estes estudantes tendam a usar as bases da mecânica clássica baseada nos conceitos de Newton para explicar o comportamento dos corpos de pequenas dimensões e, deste modo, compreender as teorias atômicas modernas, o que certamente leva a grandes dificuldades de aprendizado.

Por esta razão, experimentos como o de Franck-Hertz, que podem ser executados em laboratórios acadêmicos, são de grande importância na ilustração de conceitos abstratos bem como na contextualização histórica do desenvolvimento destes conceitos e teorias, sobretudo nos dois últimos séculos, período em que ocorreu uma grande evolução nas ciências.^{3,4}

É importante ter-se o entendimento de que a ciência, tal e qual nós conhecemos, é na verdade o resultado de diversas teorias e modelos propostos por cientistas e pensadores que tiveram fracassos e êxitos ao longo da história da humanidade. A consciência de que as ciências naturais são oriundas da interpretação da natureza por parte do ser humano e não uma verdade absoluta e irrefutável, dogmas, tem papel primordial na formação do indivíduo consciente e questionador e, neste sentido, o estudo da evolução histórica de teorias é relevante.

² Iliana M. Greca & Marco A. Moreira, "Uma Revisão de Literatura Sobre Estudos Relativos ao Ensino da Mecânica Quântica Introdutória," *Investigações em Ensino de Ciências* 6, nº 1 (janeiro-abril 2001): 29-56.

³ Maria R. S. Duarte, "Abordagem da Física Moderna no Ensino Secundário: As Bases da Teoria Quântica e da Estrutura Atômica" (dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2008).

⁴ Glauson F. Chaves, "Uma Proposta de Inserção de Conteúdos de Mecânica Quântica no Ensino Médio, por Meio de um Curso de Capacitação para Professores em Atividade" (dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, 2010).

Trabalhar com os alunos os contextos históricos em que as teorias contemporâneas se desenvolveram é importante para conscientizá-los de que o aprendizado é um processo contínuo e que a natureza ainda não foi plenamente desvendada pelo homem. As teorias vigentes, em grande parte, não estão completas, são aproximações ou representam casos específicos, mas com base no conhecimento histórico é possível que os estudantes aprendam que este é um processo natural no desenvolvimento de ciências.

COMPREENSÃO DA ESTRUTURA ATÔMICA AO LONGO DA HISTÓRIA

A transição do pensamento mítico para um pensamento racional com a finalidade de explicar os fenômenos físicos, observáveis até então, e a constituição da matéria ocorreu na Grécia antiga. Aristóteles (384 – 322 a. C.) postulou que a matéria celeste (incorruptível), chamada éter ou quintessência, era diferente da matéria terrestre (mutável e corruptível), e que esta seria constituída pelos quatro elementos: terra, água, ar e fogo.⁵

Porém, de fato, pode-se dizer que o interesse pela compreensão da natureza e da estrutura da matéria tem suas origens na Escola de Mileto (em torno dos séculos VI a IV a.C.), onde surgiu a pergunta “Do que é constituída a matéria?”. Desde então, outros pensadores se interessaram pelo assunto, por exemplo, os atomistas Leucipo e Demócrito postularam a existência do “átomo vazio e do átomo cheio”.⁶

Mas, apesar do termo átomo já ter sido forjado há séculos, muito tempo se passou até que uma teoria atômica fosse razoavelmente aceita pelos pensadores e cientistas, o que só ocorreu no início do século XIX, com o modelo atômico de John Dalton. Este cientista inglês baseou sua teoria nas observações empíricas de Proust e Lavoisier, e concebia o átomo como uma partícula indivisível que constituía toda a matéria.

Desde a proposição do modelo atômico por Niels Bohr,⁷ modelo este que incluía a quantização dos níveis eletrônicos propostos por Ernest Rutherford por volta de 1909, e sua efetiva comprovação pelo experimento realizado por J. Frank e H. Hertz em 1914, é possível dizer que a Física Clássica precisou passar por uma verdadeira “revolução quântica”, na qual ocorreu um rompimento com a forma vigente de compreender a matéria.⁸

⁵ Claudio M. Porto, “A Física de Aristóteles: Uma Construção Ingênua?” *Revista Brasileira de Ensino de Física* 31, nº 4 (2009): 4602-4609.

⁶ Francisco Caruso & Vitor Oguri, “A Eterna Busca do Invisível: Do Átomo Filosófico aos Quarks e Léptons,” *Química Nova* 20, nº 3 (1997): 324-334.

⁷ Niels Bohr, “On the Constitution of Atoms and Molecules,” *Philosophical Magazine and Journal of Science* 26, nº 155 (1913): 857-875, acessado em 29 de maio de 2017, <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14786441308635031>.

⁸ Anderson Leite & Samuel Simon, “Werner Heisenberg e a Interpretação de Copenhague: A Filosofia Platônica e a Consolidação da Teoria Quântica,” *Scientiae Studia* 8, nº 2 (2010): 213-241.

Será apresentada uma breve linha do tempo com os principais eventos que contribuíram ativamente para esta mudança de perspectiva quanto aos fenômenos subatômicos, de modo que se possa situar os acontecimentos que culminaram na realização do experimento de Franck-Hertz.

Pode-se começar falando de um dos maiores cientistas de todos os tempos, Isaac Newton (1642-1729). Este grande físico e matemático inglês se tornou muito conhecido pela descoberta do princípio de atração universal (os corpos se atraem por meio de uma força proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles) e pela criação do cálculo infinitesimal.

No entanto, foi no ano de 1672 que Newton publicou seu trabalho sobre o espectro de luz solar utilizando um prisma de vidro. Nele, a luz solar é definida como “uma mistura heterogênea de raios com diferentes refrangibilidades” – cada cor correspondendo a uma diferente refrangibilidade.⁹ A importância desta descoberta para a presente discussão está associada ao fato de que a luz branca poderia ser decomposta em diferentes cores, portanto, era uma das primeiras vezes que uma entidade com aparência contínua era pensada como sendo na verdade composta pela combinação de outras.

Grande tempo se passou desde estas observações de Newton e somente em 1814 que Josef Fraunhofer (1787-1826), físico e construtor alemão, conseguiu demonstrar a natureza não contínua da luz solar. Ele construiu um espectroscópio usando inicialmente prismas e depois grades de difração, de maneira que foi possível observar que o espectro da luz solar é formado por centenas de linhas negras sobre as cores.¹⁰ Esta foi uma constatação da existência do espectro de luz.

Em 1859, dois cientistas alemães, Robert Wilhelm Bunsen (químico) e Gustav Robert Kirchhoff (físico) construíram um espectroscópio bastante simples, mas que foi capaz de demonstrar que espectros de substâncias puras em fase gasosa eram característicos de cada um destes compostos.¹¹ Eles descobriram que sódio gasoso absorvia e emitia luz com a mesma energia – e que este valor de energia era característico para esse elemento – de modo que esse instrumento, além de permitir a análise química, também propiciava a descoberta e identificação de novos elementos. A partir deste experimento a espectroscopia passa a ser considerada o “germe para conhecimento da estrutura do átomo” sendo essencial na formulação dos modelos atômicos¹².

Os estudos espectroscópicos dos elementos avançavam, mas ainda restavam dúvidas a respeito do significado destes valores de energia de emissão e absorção de cada elemento e por qual motivo eram característicos para cada um deles. Foi em 1885 que o matemático Johann Jakob Balmer,

⁹ Cibelle C. Silva & Roberto de A. Martins, “A Teoria das Cores de Newton: Um Exemplo do Uso da História da Ciência em Sala de Aula,” *Ciência & Educação* 9 (2003): 53-65.

¹⁰ Carlos A. L. Filgueiras, “A Espectroscopia e a Química: Da Descoberta de Novos Elementos ao Limiar da Teoria Quântica,” *Química Nova na Escola* 3 (1996): 22-25.

¹¹ Ibid.

¹² Ibid.

professor secundarista, propôs a equação que leva o seu nome, a equação de Balmer, que é uma proposição empírica para as linhas espectrais do hidrogênio.¹³

A equação apresenta as relações entre as linhas espectrais do elemento e o comprimento de onda (energia) relativo a estas linhas, de maneira que aparece uma proporção com números inteiros, o que indica que o ganho ou a perda de energia de um átomo é discreto e guarda relação com números inteiros. Esta informação será essencial na proposição da quantização dos níveis energéticos posteriormente.

No século XIX existiam os tubos de Geissler, que eram muito usados em brincadeiras e se tratavam de tubos de vidro sob vácuo que em sua maioria continham urânio e eram fluorescentes.¹⁴ Mas foi o cientista inglês Sir William Crookes (1832–1919) que os modificou e aperfeiçoou para produzir raios catódicos que depois seriam posteriormente reconhecidos como sendo os elétrons.

Os raios catódicos eram produzidos por um catodo de tungstênio incandescente e eram acelerados em direção ao anodo devido à aplicação de um elevado potencial entre os dois. Este arranjo incluindo dois eletrodos era disposto dentro de um tubo com alto vácuo para que o experimento fosse realizado, o que justifica não ter sido realizado anteriormente, pois não se conseguia realizar vácuo tão elevado.

Por volta de 1880, Heinrich Hertz, físico alemão, debruçava-se nos estudos das ondas eletromagnéticas, o que inclui a sua produção artificial e controlada. Ele estudava descargas elétricas entre fios contidos em tubos de vidro, podendo ser considerado um marco no estudo do eletromagnetismo.¹⁵

Hertz empregava os raios catódicos em seus estudos e comparou os efeitos elétricos aos esperados para a luz, o que não era considerado na época. Hertz se preocupava bastante em realizar comprovações experimentais e por isso deu várias contribuições na área, verificando que um eletroscópio carregado negativamente poderia ser descarregado especificamente por meio da incidência de luz ultravioleta, por exemplo.

Alguns autores atribuem a ele a descoberta do efeito fotoelétrico devido à comparação que fez dizendo que “Os detalhes do experimento provam de maneira particular na qual a força elétrica é propagada exibindo uma próxima analogia com a propagação da luz”, o certo é que os fenômenos que ele investigava estavam sim ligados ao efeito fotoelétrico.

¹³ Ibid.

¹⁴ Roberto Cesareo, *Dos Raios X à Bomba Atômica (1895–1945): Os 50 Anos que Mudaram o Mundo* (Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2010).

¹⁵ Arthur I. Mangili, “Heinrich Rudolph Hertz e a Descoberta do Efeito Fotoelétrico: Um Exemplo dos Cuidados que Devemos Ter ao Utilizar a História da Ciência na Sala de Aula,” *História da Ciência e Ensino: Construindo Interfaces* 6 (2012): 32-48, acessado em 29 de maio de 2017, <https://revistas.pucsp.br/index.php/hcensino/article/view/11717/9438>.

O cientista inglês Joseph John Thomson (1856 – 1940) se interessava fortemente em tentar explicar a estrutura atômica e as propriedades dos elementos. Em 1903 publicou um artigo no qual descrevia propriedades de corpúsculos, batizados depois como elétrons e em 1904, em outro artigo, propôs seu modelo para o átomo como sendo constituído por estes corpúsculos: “A ideia que os átomos dos elementos consistem em um número de corpúsculos eletricamente negativos englobados numa esfera uniformemente positiva”.¹⁶

Thomson demonstrou que as partículas formadoras dos raios catódicos eram carregadas negativamente, o que o levou a propor que os átomos poderiam ser “esferas positivas com alguns elétrons incrustados”. A partir de então, o átomo não poderia mais ser considerado indivisível. Este modelo atômico representou um grande avanço para a época, mas não foi sustentado experimentalmente. Thomson dedicou-se ao estudo dos tubos de descarga e, atribui-se a ele, a demonstração experimental de que a luz ultravioleta causava emissões de cargas negativas e que estas cargas eram elétrons, no efeito fotoelétrico.

Philipp Eduard Anton Lenard, físico nascido no antigo império Austro-Húngaro, que atualmente faz parte da Eslováquia, foi um cientista controverso, sobretudo devido à sua postura em relação aos judeus, e trabalhou bastante com tubos de raios catódicos.¹⁷ Foi assistente de Hertz, de maneira que contribuiu muito para as descobertas e estudos envolvendo os tubos catódicos. Dedicou-se de modo especial a medir a velocidade dos raios catódicos e descobriu algumas características do efeito que hoje é chamado de efeito fotoelétrico, que não eram perfeitamente explicadas pela Física Clássica, tais como a existência de uma frequência limiar e da instantaneidade do fenômeno.

O final do século XIX e início do século XX foi um período muito rico para a ciência e a mecânica quântica começou a aflorar. Neste contexto aparece o físico alemão Max Planck (1858-1947), ganhador do prêmio Nobel de física de 1915, que, apesar de ter trabalhado em várias áreas como a termodinâmica, por exemplo, ficou conhecido por suas contribuições na mecânica quântica.¹⁸

Pode-se destacar a essência de seu principal trabalho como sendo o conceito de quantização de energia, publicado em 1900. Ele corrigia o modelo de Rutherford de modo que a energia emitida por um átomo não era contínua, mas sim discreta e na forma de pequenas quantidades cujo valor era nh , em que n é um número inteiro e h é uma constante.¹⁹ Propôs a equação $E = hv$ para prever a

¹⁶ Cesar V. M. Lopes & Roberto de A. Martins, “J. J. Thomson e o Uso de Analogias para Explicar os Modelos Atômicos: O Pudim de Passas nos Livros Texto,” in *VII Encontro Nacional de Pesquisas em Educação em Ciências*, 2009.

¹⁷ Cesareo, *Dos Raios X à Bomba Atômica*.

¹⁸ M. L. Nóbrega, O. Freire Jr. & S. T. R. Pinho, “Max Planck e os Enunciados da Segunda Lei da Termodinâmica,” *Revista Brasileira de Ensino de Física* 35 (2013): 3601-3609.

¹⁹ Max Planck, “On the Theory of the Energy Distribution Law of the Normal Spectrum,” *Verhandl. Deutsche Physikalische Gesellschaft* 2 (1900): 202-204, acessado em 29 de maio de 2017, [http://hermes.ffn.un.es/luisnavarro/nuevo_maletin/Planck%20\(1900\),%20Distribution%20Law.pdf](http://hermes.ffn.un.es/luisnavarro/nuevo_maletin/Planck%20(1900),%20Distribution%20Law.pdf)

intensidade da radiação de corpo negro, sendo que a constante de proporcionalidade h ficou conhecida como constante de Planck.²⁰

No ano de 1905, chamado de ano miraculoso (*annus mirabilis*), um dos cientistas mais conhecidos de todos os tempos, o físico alemão Albert Einstein (1879-1955) publicou cinco trabalhos, sendo que no primeiro, Einstein propunha que a luz tinha natureza granular.²¹ A própria radiação tem uma estrutura discreta, se propagava de forma que a energia não está distribuída de maneira contínua, mas sim como quanta de energia. Deste modo propôs que a frequência do fóton era quantizada e obedecia a relação de Planck, $E = h\nu$. Ele também postulou que o quantum era emitido ou absorvido integralmente e que o fóton viaja a velocidade da luz.

Alguns anos depois, por volta de 1911, após a descoberta da radioatividade - descoberta esta que, por si só já representava outra grande mudança no conceito atômico, pois além de o átomo não ser indivisível, alguns deles eram capazes de emitir partículas carregadas de seu interior - Ernest Rutherford propôs que o átomo seria “constituído por um pequeno núcleo rodeado por um grande volume, no qual os elétrons estão distribuídos”, porém, se o átomo tivesse esta estrutura ele não seria estável²².

Esta proposição surgiu a partir de experimentos realizados nesta época, em que se bombardeava uma fina lâmina de ouro com partículas alfa (He^{2+}) ejetadas de um átomo radioativo, e observava-se que algumas destas partículas tinham sua trajetória consideravelmente desviada.

De acordo com a teoria de Maxwell para o eletromagnetismo, elétrons em movimento circular deveriam emitir energia continuamente, portanto a proposta de átomos compostos por elétrons em órbita circular não poderia resultar em um sistema estável. Outro fato importante que o modelo de Rutherford não explicava era que os espectros atômicos eram discretos e não contínuos.

Uma das primeiras tentativas de descrever o átomo sem a utilização da Física Clássica partiu de Niels Bohr, que introduzindo conceitos modernos aplicados à radiação de um corpo negro e aos trabalhos de quantização da luz de Albert Einstein, propondo um modelo atômico em que a energia dos elétrons também seria quantizada, ou seja, que “o elétron pode ter somente certas quantidades específicas de energia”.

Assim, este modelo, fundamentado no modelo atômico de Rutherford, era inovador, pois ao introduzir a quantização de energia dos elétrons, explicava satisfatoriamente tanto a estabilidade do átomo quanto os espectros atômicos discretos, sem se valer somente dos conceitos encontrados na Física Clássica. Porém, Bohr desenvolveu seu Modelo Atômico teoricamente, ou seja, seu modelo

²⁰ A constante de Planck é uma das constantes fundamentais da natureza sendo muito importante no estudo dos fenômenos subatômicos, seu valor é $6,63 \times 10^{-34}$ Js = $4,14 \times 10^{-15}$ eV.

²¹ Ildeu de C. Moreira, “1905 um Ano Miraculoso,” *Física na Escola* 6 (2005): 4-10.

²² Caruso & Oguri, “A Eterna Busca do Invisível.”

estava em pleno acordo com as observações experimentais ainda não explicadas, porém não era comprovado experimentalmente.

O EXPERIMENTO DE FRANCK-HERTZ

Por volta do ano de 1913, James Franck e Gustav Hertz realizaram um experimento utilizando um tubo de quartzo a baixa pressão contendo mercúrio vaporizado, conforme desenho da Figura 1 (A).²³ Eles estavam investigando os potenciais de ionização e perdas de energia por colisão de elétrons, portanto a ideia era utilizar um tubo a baixa pressão contendo átomos de mercúrio vaporizados, de modo que elétrons acelerados se chocariam com esses átomos tornando possível o estudo destas colisões.

Nesta época, eles já haviam observado que os elétrons com velocidade abaixo de certo valor crítico não perdiam energia por meio de colisões inelásticas, sendo apenas refletidos. Esperava-se que, se elétrons atravessassem um recipiente contendo um vapor e se chocassem com ele, este choque seria elástico e sua energia cinética se manteria, caso a diferença de massa fosse grande, como é o caso do mercúrio.

Para comprovar esta suposição, o aparato esquematizado na Figura 1 (A), que trata de um balão contendo vapor de mercúrio e um filamento emissor de elétrons, que eram acelerados até uma grade devido a uma diferença de potencial, onde eram colhidos e medidos por um galvanômetro ligado a esta grade.

Um esquema mais didático do experimento é mostrado na Figura 1 (B). Nele, elétrons são ejetados pelo aquecimento de um filamento de platina e acelerados devido à presença de dois eletrodos e uma grade. O catodo é o emissor de elétrons e a grade, por ter um potencial maior, irá acelerar os elétrons em sua direção. O anodo terá potencial positivo, mas inferior ao da grade, de modo que, apenas os elétrons que tenham energia suficiente irão ultrapassar a grade e alcançar o anodo, mas serão desacelerados devido ao potencial ser menor. O anodo é o local de coleta dos elétrons, que serão computados.

Um resultado típico da contagem de elétrons obtido no experimento similar ao realizado por Franck e Hertz é apresentado na Figura 2. Eles verificaram que, à medida que o potencial aplicado entre o anodo e o catodo era aumentado, ocorria o aumento da corrente medida e um máximo em 4,9 V era alcançado. A partir deste valor de potencial, a corrente cai até subir novamente de uma maneira drástica quando o potencial chega a 9,8 V, o que representa o dobro de 4,9 V.

²³ James Franck & Gustav L. Hertz, "Über die Erregung der Quecksilberresonanzlinie 253,6 nm durch Elektronensosse," *Verh. D. Phys. Ges* (1914): 512-517.

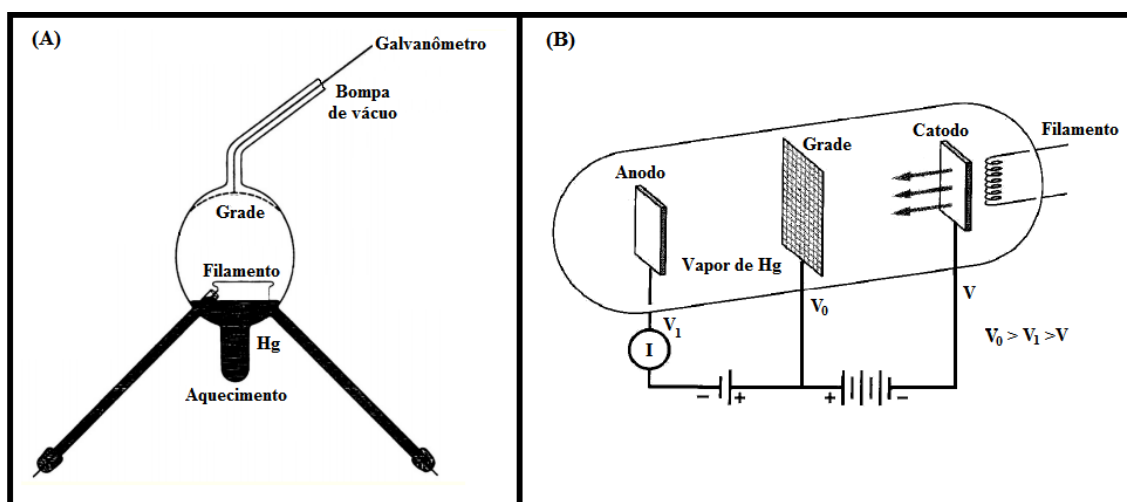


Figura 1: Esquema do aparato utilizado por Franck-Hertz (A) Esquema do tubo para realização do experimento (B).
Fonte: elaborada pelos autores.

Este comportamento se repete a cada 4,9 V, com a intensidade do máximo sendo crescente. A interpretação para este fenômeno é que, quando a energia cinética dos elétrons se tornava igual ao valor crítico de 4,9 eV, o elétron sofria uma colisão inelástica com os átomos de mercúrio em fase vapor no percurso entre os eletrodos, promovendo a excitação dos elétrons do átomo de mercúrio de um nível de energia para outro.

A condição necessária para que este fenômeno ocorra é que a energia cinética do elétron incidente seja igual à diferença de energia entre dois níveis do átomo de mercúrio, que é equivalente à energia de ionização dos átomos de mercúrio.

No entanto, para provar efetivamente que este era um fenômeno quantizado, era necessário provar que a energia emitida quando estes átomos decaíam para o estado fundamental também possuía o mesmo valor de energia. Hoje em dia este fato é mais facilmente comprovado, pois, a corrente colhida após os choques entre os elétrons e os átomos de mercúrio cai drasticamente, mas volta a crescer quando se aumenta a voltagem, naquela época, no entanto, eles utilizaram um espectrógrafo, podendo concluir que sim, este fenômeno era quantizado.

Porém, a informação mais relevante que se pode obter a partir deste experimento, só foi percebida alguns anos depois, por volta de 1919 e consiste no fato de que a energia perdida pelos elétrons nos choques com os átomos de Hg é idêntica à energia necessária para excitar um elétron de um nível inferior para um superior, comprovavam assim a quantização da energia eletrônica proposta por Bohr.

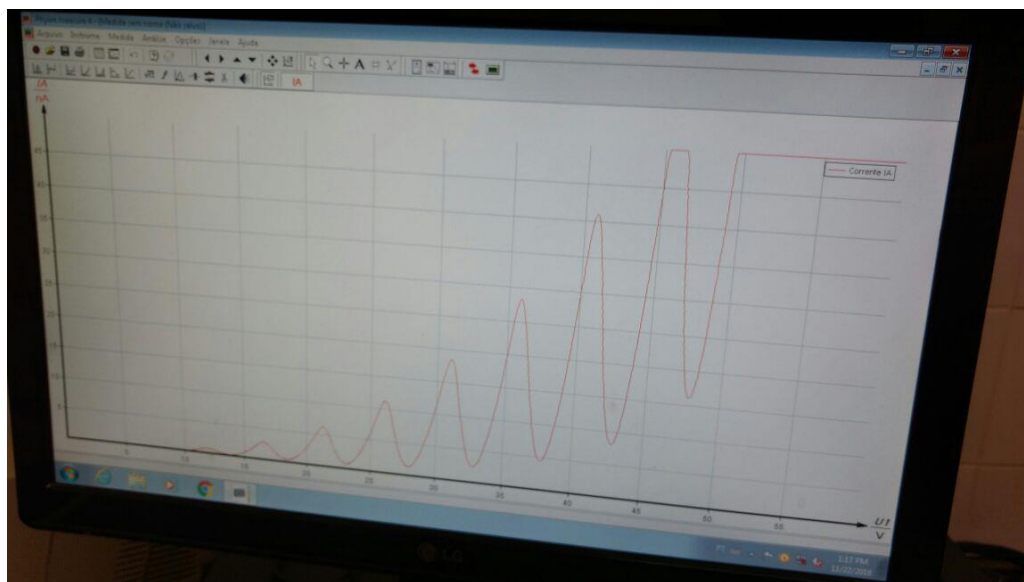


Figura 2: Resultados experimentais obtidos por Franck e Hertz para contagem dos elétrons versus potencial de aceleração. Fonte: elaborada pelos autores.

O EXPERIMENTO DE FRANCK-HERTZ NOS TEMPOS ATUAIS

O experimento de Franck-Hertz é realizado até os dias atuais, principalmente em laboratórios acadêmicos, por ter grande importância no ensino introdutório da teoria quântica, pois fornece uma comprovação experimental da Teoria Atômica de Bohr. Como para a grande maioria dos alunos os temas relacionados às novas teorias atômicas são muito abstratos, pois estão relacionados com fenômenos em escala subatômica, a oportunidade de observar, experimentalmente, a comprovação das mesmas, faz com que os estudos, ainda que teóricos, sejam mais significativos e, portanto, sejam compreendidos de fato.

Outro aspecto relevante e positivo do uso deste experimento nas universidades reside no relativo baixo custo exigido, tanto de equipamentos comerciais como mostrado na Figura 3, quanto devido à possibilidade de montar o experimento para a sua reprodução, tanto o tubo de vácuo que tem manufatura mais elaborada.

Vale ressaltar que este sistema apresentado na Figura 3 está montado no laboratório de Físico-Química do Instituto de Química da UFRJ, sendo utilizado para realização de experimentos por alunos de Química tanto dos cursos presenciais quanto a distância desta instituição, sobretudo dos alunos de licenciatura, sendo importante fazer a observação de que o resultado apresentado na Figura 2 foi obtido especificamente neste equipamento.

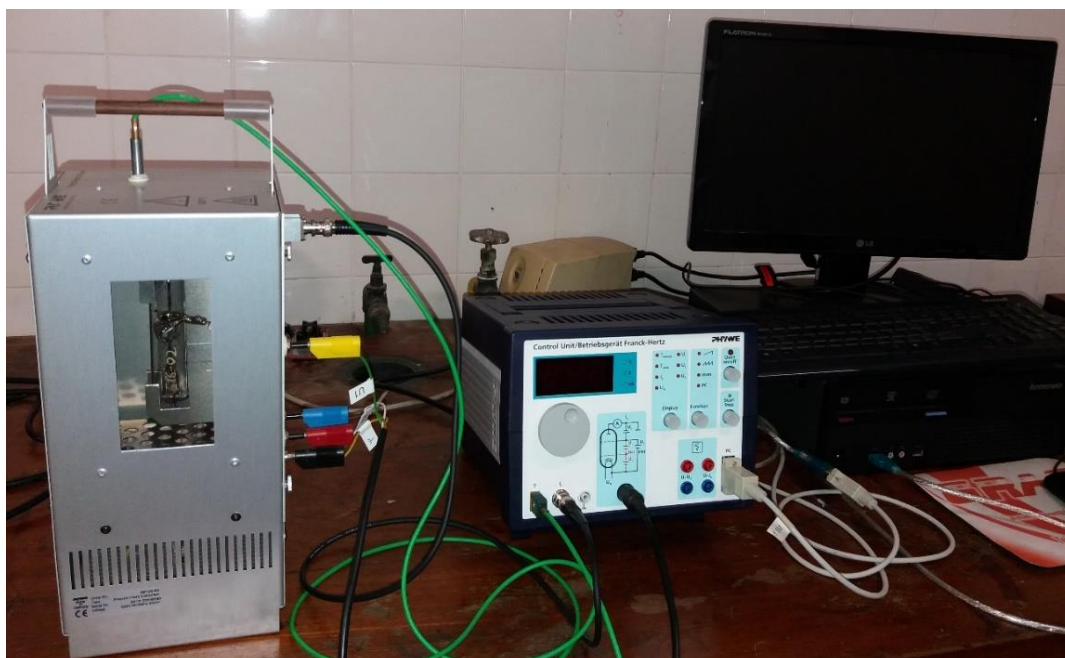


Figura 3: Equipamento moderno comercial para realização do experimento de Franck-Hertz, localizado no laboratório de graduação de Físico-Química da UFRJ. Fonte: elaborada pelos autores.

Um tubo típico contendo baixa pressão de mercúrio está apresentado na Figura 4 a esquerda. É possível observar os elementos básicos, que são o cátodo, o anodo e a grade. À direita está apresentado o esquema do tubo, com todos os contatos que devem ser estabelecidos para realização do experimento, que fica localizado na parte externa lateral da caixa que contém o tubo (Figura 3).

Este esquema é didaticamente muito importante para que os alunos identifiquem cada componente do sistema e façam a montagem de maneira correta sem que esta seja feita de maneira automática simplesmente ligando fios ou conexões. Conhecendo a montagem do sistema os estudantes têm a possibilidade de melhor compreender como o sistema está sendo alterado para que se obtenha determinada resposta que nada mais é do que o resultado do experimento.

Existem diversos materiais na internet a respeito do experimento de Franck-Hertz, o que inclui vários vídeos no *youtube*²⁴ sobre aulas, além de roteiros para realização desse experimento. Toda essa gama de materiais disponíveis na *web* facilitam o entendimento do fenômeno de excitação por colisão.

Também é possível encontrar roteiros e notas de aula usados nos mais diversos cursos de Química e Física em todo Brasil e pelo mundo, o que também ressalta a importância do uso deste experimento como ferramenta pedagógica no estudo da mecânica quântica.

²⁴ Dentre os canais disponíveis no *youtube*, os autores recomendam o de Física Moderna (UFF), acessado em 29 de maio de 2017, https://www.youtube.com/watch?v=mx-D6HoRB_Q.

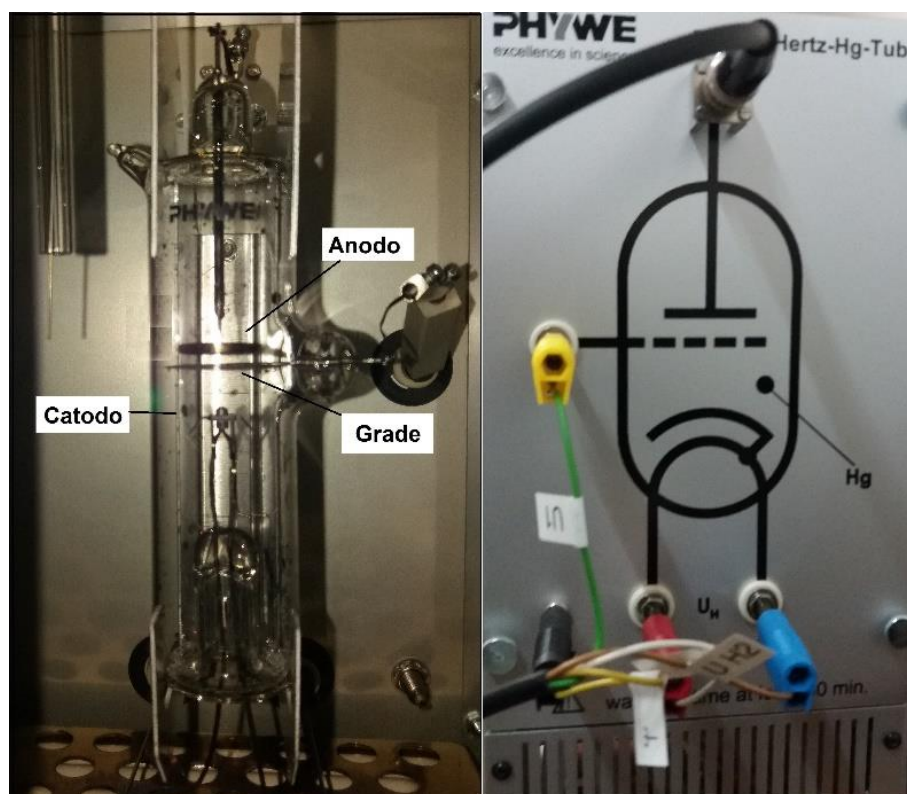


Figura 4: Tubo de mercúrio (esquerda) utilizado no equipamento moderno comercial para realização do experimento de Franck-Hertz e seu esquema (direita), localizado no laboratório de graduação de Físico-Química da UFRJ. Fonte: elaborada pelos autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho buscou-se discutir a importância do uso de um experimento específico, não apenas como atividade auxiliar para o ensino de ciências e facilitador do processo de ensino-aprendizagem, como também para comprovação e validação de teorias com elevado grau de abstração. Utilizou-se um viés com base na contextualização histórica em que o experimento foi proposto e realizado.

À medida que as técnicas experimentais foram se tornando mais sofisticadas, foi possível investigar sistemas em escalas cada vez menores e ter-se uma melhor compreensão da natureza da matéria. Deste modo, ao longo da história das ciências, as teorias atômicas foram avançando, de uma maneira muito acelerada, principalmente no último século.

Para comprovar a existências de partículas de pequenas dimensões, como átomos, elétrons e prótons, por exemplo, são necessárias técnicas engenhosas e sensíveis aliadas com interpretações muitas vezes bastante sofisticadas. Com isto os modelos foram evoluindo de maneira que, atualmente, o modelo atômico de Bohr e que existem níveis quantizados de energia é o aceito.

Nesta ótica, o experimento realizado por Franck-Hertz no início do século 20 representa um exemplo de grande importância desta evolução científica, pois comprova a teoria atômica proposta por Bohr de níveis eletrônicos quantizados. Sendo este um experimento viável para realização em laboratórios de ensino, acaba por contribuir para uma melhor compreensão dos fenômenos subatômicos por parte dos alunos que, em muitos casos, é um entrave epistemológico no aprendizado das teorias mais modernas, devido ao seu elevado grau de abstração.

O entendimento do contexto histórico em que o experimento de Franck-Hertz foi realizado e suas contribuições para a comprovação do modelo de Bohr é uma ferramenta importante no estudo dos postuladas na Mecânica Quântica para alunos dos cursos de Física e Química.

SOBRE AS AUTORAS:

Letícia Oliveira de Castro

Universidade Aberta do Brasil

(e-mail: letocenator@gmail.com)

Priscila Tamiasso-Martinhon

Universidade Federal do Rio de Janeiro

(e-mail: pris@iq.ufrj.br)

Angela Sanches Rocha

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

(e-mail: angela.sanches.rocha@gmail.com)

Célia Sousa

Universidade Federal do Rio de Janeiro

(e-mail: sousa@iq.ufrj.br)

Artigo recebido em 05 de junho de 2017
Aceito para publicação em 14 de agosto de 2017