

DE ONDE VEIO A MECÂNICA QUÂNTICA?



- Terça-Feira, dia 10 de abril, às 16 h,

Mauro M Doria

Instituto de Física

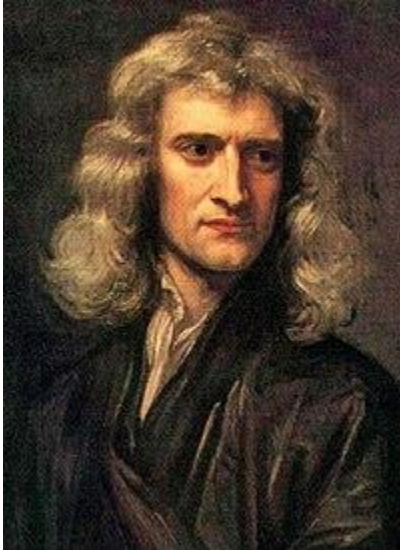
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Ciclo de Seminários do

Mestrado Profissional em Ensino de Física

Agradecimento ao prof. Vitorvani pelo convite

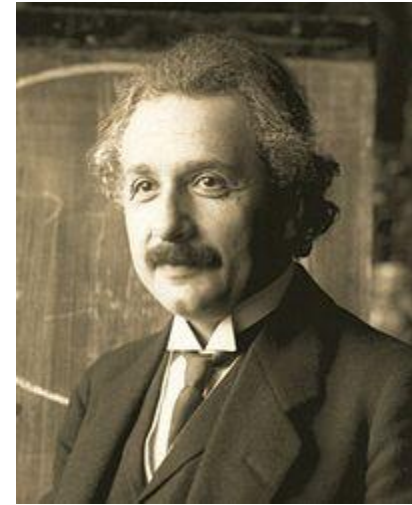
Grandes nomes da Física



Isaac Newton
1643-1727



Erwin Schrödinger
1887-1961



Albert Einstein
1879-1955

A Física como um desenvolvimento lento e gradual

Observações

- Os alunos na sua maioria percebem a Física como obra apenas de “grandes” nomes em momentos “importantes”.
- Os livros textos apresentam os conceitos fundamentais da Física sempre associados aos “grandes” nomes, aqueles que tiveram as grandes “sacadas”, aqueles que fizeram as grandes descobertas.
- Os alunos não sabem sequer se existiu ou mesmo ainda se existe ou existirá espaço para os “pequenos” nomes.
- Portanto questionam se eles próprios, “pequenos” nomes, podem fazer algum algo de útil na Física ou se estão fadados a repetir e comprovar conceitos já conhecidos

Objetivos

- Criar uma narrativa dentro da perspectiva do “pequeno” nome e mostrar que o desenvolvimento conceitual é uma contribuição de muitos embora os participantes nem sempre se deem conta..
- Mostrar que conceitos corretos coexistem com incorretos e existem pessoas descobrindo e intuindo coisas certas e erradas que levam a um desenvolvimento lento e gradual de uma área.
- Mostrar que o dia a dia da Física é acessível a todos sendo a formulação da pergunta mais importante do que a resposta.
- Mostrar que “pequeno” e “grande” podem inverter posições. Os cientistas são pessoas comuns e vivem seus conflitos humanos, enquanto isto a área evolui.

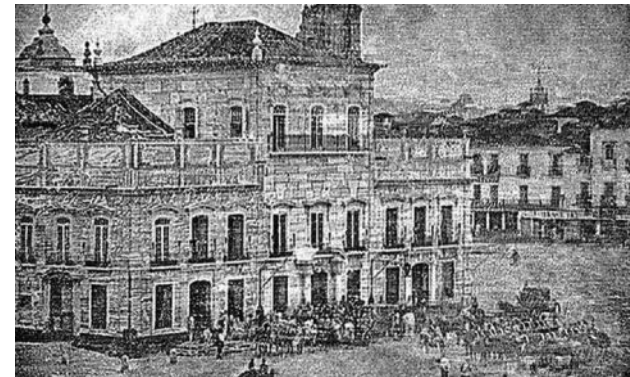
A descoberta dos espectros quânticos

A espectroscopia desenvolvida no período entre 1802-1860 é um campo fértil para explorar o surgimento dos pilares básicos da Mecânica Quântica praticamente vindo do nada.

Coexistência de conceitos conflitantes e surgimento de outros novos conceitos; surgimento de tecnologias baseadas na Física

- **Infra vermelho** - William Herschel (1738 – 1822) enfrentou o teocentrismo, pensava em calórico
- **Ultra violeta** - Johann Wilhelm Ritter (1776-1810) perspectivas fascinantes pela eletricidade (eletricidade animal - Luigi Galvani (1737-1798), pilha- Alessandro Volta (1745-1827), livro de Frankenstein, Mary Shelley, (1797 — 1851))
- **Natureza da cor** – sete versus três cores, cientistas versus artistas, Thomas Young (1778-1829) versus Johann Goethe (1749-1832)
- **Natureza da luz** – partícula versus ondulatória, Isaac Newton (1643 — 1727) versus Augustin Fresnel (1788-1827)
- **Natureza atômica versus contínua da matéria**, John Dalton (1766 1844) versus Michael Faraday (1791-1867)
- **Surgimento da fotografia** – físico versus William Talbot (1800— 1877) versus Louis Daguerre (1787 — 1851)
- **Surgimento da primeira internet (telégrafo)** - empreendedor versus físico - Samuel Morse (1791-1872) versus Joseph Henry (1797 — 1878)

*Primeiro daguerreótipo da América do Sul
Rio de Janeiro 1840*



Descobertas e questionamentos

- Uma teoria errada pode levar a uma interpretação correta - descoberta do infra vermelho - William Herschel (1738 – 1822)
- Uma descoberta não implica necessariamente no seu entendimento - linhas escuras no espectro - William Hyde Wollaston (1766 - 1828)
- Um gênio nem sempre consegue reproduzir o que um não-gênio faz - vidros para lentes e prismas - Michael Faraday (1791-1867)
- Uma visão correta nem sempre leva a uma descoberta científica - modelo atômico - Gustavus Hinrichs (1836 –1923)
- As idéias filosóficas de uns já ter sido provada errada por outros – positivismo-Augusto Comte (1798-1857)
- Apesar do paper estar obscuro e ser criticado ele pode ser revolucionário-experiência da fenda dupla - Thomas Young (1778-1829)
- O pessoal de humanas também tem uma opinião científica - quantas cores tem a luz? Johann Goethe (1749-1832)
- Quem domina uma técnica nova abre um caminho verdadeiro para descobertas - fabricação de cristais- Joseph Von Fraunhofer (1787-1826)
- Uma simples chama pode mudar o entendimento do mundo - descoberta do bico de Bunsen - Robert Bunsen (1811-1899)
- Uma teoria correta pode conter erros - momento angular do estado fundamental - Niels Bohr (1885-1962)
- Necessidades científicas conduzem a descobertas práticas - a fotografia e o espectro- William Fox Talbot (1800-1877)
- Independente da orientação religiosa é possível descobrir coisas importantes - William Crookes (1832-1919)
- Atento ao inesperado (detalhes) ali pode estar uma grande descoberta - eclipse de 1868 e o Hélio - Pierre Jansen (1824-1907) e Norman Lockyer (1836-1920)
- Alguém recém chegado na área pode fazer contribuições decisivas que outros não fizeram - descoberta de uma lei para as linhas de espectro Johann Jakob Balmer (1825-1898), propriedade ondulatória da matéria, Louis de Broglie (1892-1987)
- Um professor de escola secundária pode fazer descobertas científicas da mais alta importância - Johann Jakob Balmer (1825-1898)
- Você pode morrer antes de saber da importância do seu trabalho - Johann Jakob Balmer (1825-1898)

Alguns pesquisadores que contribuíram para a descoberta da Mecânica Quântica

| | | | | |
|----------------------------|------|------|----|------------------------------------|
| Thomas Melvill | 1726 | 1753 | 27 | Glasgow(?) , Escócia |
| William Herschel | 1738 | 1822 | 84 | Hanover, Alemanha |
| Johann Wolfgang Von Goethe | 1749 | 1832 | 83 | Frankfurt, Alemanha |
| William Hyde Wollaston | 1766 | 1828 | 62 | Norfolk, Inglaterra |
| Johann Wilhelm Ritter | 1776 | 1810 | 34 | Silésia, antiga Alemanha |
| Joseph von Fraunhofer | 1787 | 1826 | 39 | Straubing, Bavária, Alemanha |
| Auguste Comte | 1798 | 1857 | 59 | Paris, França |
| William Henry Fox Talbot | 1800 | 1877 | 77 | Melburym, Dorset, Inglaterra |
| John William Draper | 1811 | 1882 | 71 | St. Helens, Merseyside, Inglaterra |
| Robert Bunsen | 1811 | 1899 | 88 | Göttingen, Alemanha |
| William Allen Miller | 1817 | 1870 | 53 | Suffolk, Inglaterra |
| Gustav Kirchhoff | 1824 | 1887 | 63 | Königsberg, Alemanha |
| William Huggins | 1824 | 1910 | 86 | Londres, Inglaterra |
| Johann Jakob Balmer | 1825 | 1898 | 73 | Lausanne, Suíça |
| William Crookes | 1832 | 1919 | 87 | Londres, Inglaterra |
| Gustavus Detlef Hinrichs | 1836 | 1923 | 87 | Lunden , Holstein, Alemanha |
| Margaret Lindsay Murray | 1848 | 1915 | 67 | Dublin, Irlanda |

Thomas Young (1778-1829)

II. *The Bakerian Lecture. On the Theory of Light and Colours.*
By Thomas Young, M. D. F. R. S. Professor of Natural Philosophy in the Royal Institution.

Read November 12, 1801.

ALTHOUGH the invention of plausible hypotheses, independent of any connection with experimental observations, can be of very little use in the promotion of natural knowledge; yet the discovery of simple and uniform principles, by which a great number of apparently heterogeneous phenomena are reduced to coherent and universal laws, must ever be allowed to be of considerable importance towards the improvement of the human intellect.

Breno Arsioli Moura, Sergio Luiz Bragatto Boss
Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 4, 4203 (2015)

Crítica: Henry Brougham (1778-1868) afirmou que o trabalho de Young estava “destituído de toda espécie de mérito”. Criticou a Royal Society por dar espaço a trabalhos que perigosamente afrontavam os “princípios da lógica física” e reprovou as mudanças frequentes de opinião por parte de Young, afirmando que se ele fosse criticado diria: “Minha opinião está mudada, e eu abandonei aquela hipótese; mas aqui está outra para você”.

[p. 12]¹⁰ Conferência Bakeriana.¹¹ Sobre a Teoria de Luz e Cores. Por Thomas Young, M.D.¹² F.R.S.¹³ Professor de Filosofia Natural na Royal Institution¹⁴

Lida em 12 de Novembro, 1801

Embora a invenção de hipóteses plausíveis, independentemente de qualquer conexão com observações experimentais, seja de pouco uso para a promoção do conhecimento natural, ainda sim, a descoberta de princípios simples e uniformes, pelos quais um grande número de fenômenos aparentemente heterogêneos são reduzidos a leis universais e coerentes, deve ser sempre admitida como de considerável importância para o aperfeiçoamento do intelecto humano.

Mistérios no paper de Young



Thomas Young (1773-1829)

Astronomical Spectrographs and their History, John Hearnshaw, University of Canterbury, New Zealand

| Cor | Frequência | Comprimento de onda |
|----------|-------------|---------------------|
| violeta | 668–789 THz | 380–450 nm |
| azul | 631–668 THz | 450–475 nm |
| ciano | 606–630 THz | 476–495 nm |
| verde | 526–606 THz | 495–570 nm |
| amarelo | 508–526 THz | 570–590 nm |
| laranja | 484–508 THz | 590–620 nm |
| vermelho | 400–484 THz | 620–750 nm |

Thomas Young (1773–1829) in 1801 was the first person to use a simple diffraction grating to demonstrate the wave nature of light and to show that the wavelength could be obtained from the groove spacing of the grating. His first gratings comprised a series of parallel grooves ruled on glass at the spacing of about 500 grooves per inch. Using sunlight incident at 45° , he found four bright orders due to the interference of the light. The sines of the angles of diffraction ($\sin \beta$) increased in accordance with the integers 1:2:3:4, and from this progression he was able to estimate the wavelength of sunlight [3]. According to Young, the visible spectrum covered a range of wavelength from 675 down to 424 nm, with yellow light corresponding to 576 nm.

the Theory of Light and Colours. 39

The absolute length and frequency of each vibration is expressed in the table; supposing light to travel in $8\frac{1}{8}$ minutes 500,000,000000 feet.

| Colours. | Length of an Undulation in parts of an Inch, in Air. | Number of Undulations in an Inch. | Number of Undulations in a Second. |
|--------------|--|-----------------------------------|------------------------------------|
| Extreme - | .0000266 | 37640 | 463 millions of millions |
| Red - - | .0000256 | 39180 | 482 |
| Intermediate | .0000246 | 40720 | 501 |
| Orange - - | .0000240 | 41610 | 512 |
| Intermediate | .0000235 | 42510 | 523 |
| Yellow - - | .0000227 | 44000 | 542 |
| Intermediate | .0000219 | 45600 | 561 (= 2 ^{ab} nearly) |
| Green - - - | .0000211 | 47460 | 584 |
| Intermediate | .0000203 | 49320 | 607 |
| Blue - - - | .0000196 | 51110 | 629 |
| Intermediate | .0000189 | 52910 | 652 |
| Indigo - - - | .0000185 | 54070 | 665 |
| Intermediate | .0000181 | 55240 | 680 |
| Violet - - - | .0000174 | 57490 | 707 |
| Extreme - - | .0000167 | 59750 | 735 |

William Hyde Wollaston (1766-1828)

Wollaston descobriu os elementos palladium and rhodium; descobriu um método de produzir platina de forma puramente maleável, algo que fora tentado sem sucesso por outros antes dele. Então o minério de platina granular barato que vinha contrabandeado de Nova Granada (agora Colômbia) era transformado em pó de platina de alta pureza e posteriormente em lingotes maleáveis. Ele manteve os detalhes de seu processo secreto e, comprando todo o minério de platina disponível, tornou-se rico como resultado de ser o único fornecedor de platina pura na Inglaterra. Ele publicou seus detalhes apenas no momento de sua morte.



Wollaston foi a primeira pessoa a detectar um espectro quântico (linhas discretas) na natureza. Ele descobriu que um feixe de luz ao passar por *uma fenda muito estreita, com de cerca de 0,01mm*, e posterior passagem por um prisma, se decompõe nas sete cores do arco-iris, que vai do vermelho ao violeta, mas com sete linhas negras sobre ele. Mais tarde, o jovem Joseph Fraunhofer (1787-1826), usando prismas e grades de difração, constatou que o espectro solar na realidade contém milhares de linhas negras sobrepostas.

XII. *A Method of examining refractive and dispersive Powers, by prismatic Reflection.* By William Hyde Wollaston, M. D. F. R. S.

Read June 24, 1802.

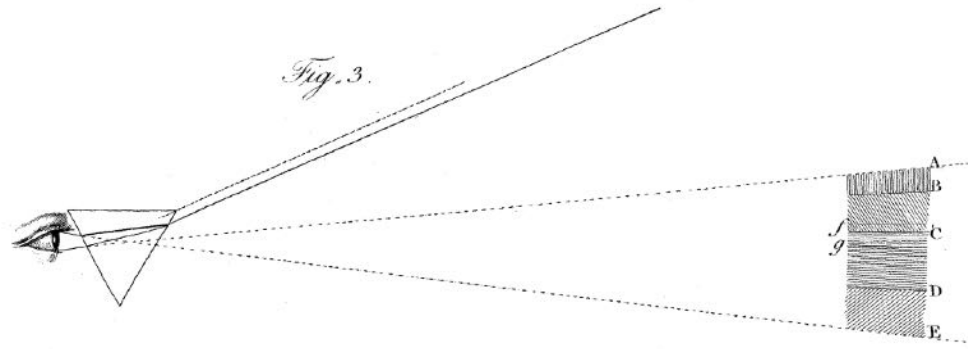
IN examining the power with which various substances refract and disperse light, I have for some time past employed a method unnoticed by writers on optical subjects; and, as it is not only convenient in common cases of refraction, but also capable of affording results not attainable by other means, I have been induced to draw up a short account of the method itself, and of the most remarkable instances of its application.

This method was suggested by a consideration of Sir ISAAC NEWTON's prismatic eye-glass, the principle of which depends on the reflection of light at the inner surface of a dense refracting medium.

XII Um método de tratamento de poderes refrativos e dispersivos, por meio de reflexão prismática. Por William Hyde Wollaston, MD

Lido em 24 de junho de 1802,

Ao examinar o poder com que várias substâncias refratam e dispersam a luz, eu usei por algum tempo um método que passou despercebido por escritores sobre assuntos ópticos; e, como não é comun em casos de refração, mas também capaz de fornecer resultados não alcançáveis por outros meios, fui induzido a elaborar uma breve descrição do método em si e dos casos mais notáveis de sua aplicação. Este método foi sugerido por uma consideração do vidro ocular prismático de Sir Isaac Newton, cujo princípio depende do reflexo da luz na superfície interna de um meio denso refrativo.



380 *Dr. WOLLASTON'S Method of examining, &c.*

By candle-light, a different set of appearances may be distinguished. When a very narrow line of the blue light at the lower part of the flame is examined alone, in the same manner, through a prism, the spectrum, instead of appearing a series of lights of different hues contiguous, may be seen divided into 5 images, at a distance from each other. The 1st is broad red, terminated by a bright line of yellow; the 2d and 3d are both green; the 4th and 5th are blue, the last of which appears to correspond with the division of blue and violet in the solar spectrum, or the line D of Fig. 3.

Johann Wolfgang von Goethe (1749 -1832)

Johann Wolfgang von Goethe é a **maior personalidade da literatura alemã**. O próprio Goethe dizia das suas poesias: são "ocasionais", isto é, ligadas aos acontecimentos de sua vida e a experiências pessoais, de modo que não é possível separar as obras e a vida.

Em 1772 apaixonou-se por Charlotte Buff, noiva de um amigo íntimo.

As relações de Goethe com Charlotte von Stein, sua nova amante, mulher altamente sofisticada, inspiraram-lhe nova série de poesias líricas.

Goethe viajou em 1786 para a Itália, onde ficou até 1788, principalmente em Roma. De volta a Weimar, Goethe publicou **Fausto** (o homem que vendeu a alma ao diabo)



Em 1810 Goethe publica "**A Teoria das Cores**" onde caracterizava as cores como decorrentes da dinâmica recíproca de luz e sombra.

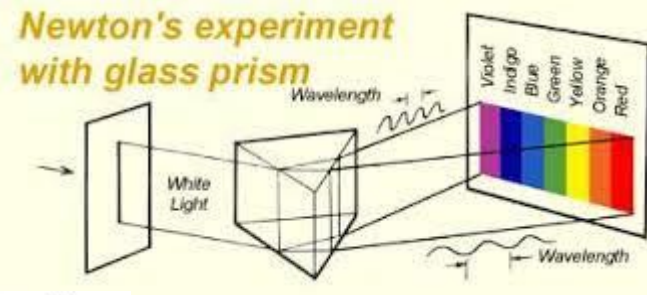
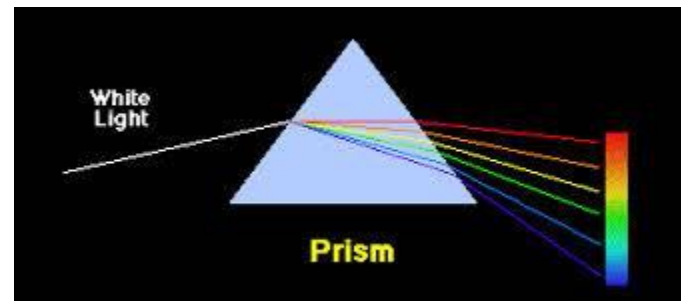
No tempo de Goethe, era muito difundida a ideia que **Isaac Newton** tinha mostrado em sua obra "Opticks, de 1704, que a luz branca é dividida em suas cores componentes quando dirigida através de um prisma. A **principal objeção de Goethe a Newton** era de que a luz branca não podia ser constituída por cores, cada uma delas mais escura que o branco. Assim ele defendia a ideia das **cores serem resultado da interação da luz com a "não luz" ou a escuridão**.

Frases de Goethe

- Nada mais assustador que a ignorância em ação.

Poderia Newton ter observado as linhas escuras?

JOURNAL OF ANALYTICAL ATOMIC SPECTROMETRY, JANUARY 1988. VOL. 3 285 Historical Perspectives , Towards a Definitive History of Optical Spectroscopy Part II. Introduction of slits and collimator lens. Spectroscopes available before and just after Kirchoff and Bunsen's studies
D. Thorburn Burns*



narrow illuminated slit. It is not generally realised that Newton understood the reasons for requiring the use of a slit and described this particular advance in *Opticks*,² which first appeared in 1704; he was also aware of the effect of slit width upon intensity of the light transmitted, and indeed of the effect of stray light shown when he wrote

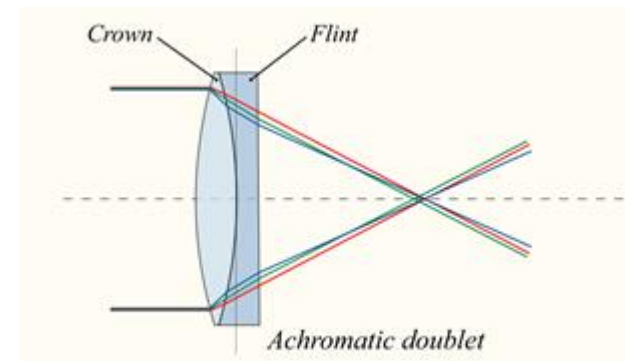
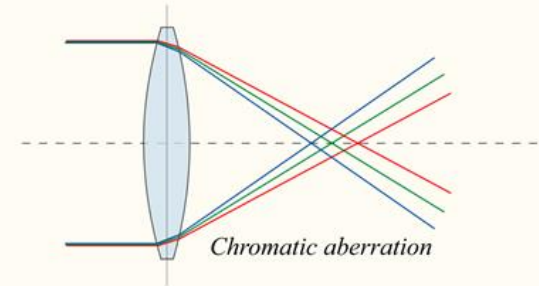
Under Newton's conditions, with a modern quality prism or with a liquid-filled prism, it is possible to observe 4–10 of the major Fraunhofer dark lines.¹¹ If Newton saw them, as is probable, he did not accord them special notice or record them. This was left to Wollaston who, from the post Bunsen-Kirchoff era onwards, was wrongly credited with the introduction of the slit into spectral observation procedures.^{12–18} For example Roscoe^{12a} wrote:

Joseph von Fraunhofer (1787 - 1826)

O Oliver Twist da Física

Décimo segundo filho de um vidraceiro, se tornou órfão aos 11 anos. Foi trabalhar como aprendiz para um vidraceiro que não o deixava estudar. Até os 13 anos Fraunhofer era analfabeto. Em 1801, com treze anos de idade, **a oficina na qual ele estava trabalhando desmoronou** e ele que foi soterrado nos escombros. A operação de resgate foi liderada pelo príncipe da Bavária, depois rei Maximilian IV Joseph. O príncipe se empenhou em ajudar Fraunhofer. Fraunhofer foi trabalhar no Instituto de Óptica em Benediktbeuern, um monastério Beneditino secularizado dedicado à vidraçaria.

Naqueles dias, havia enorme **dificuldade para fabricar grandes lentes acromáticas para telescópios**, tal que não modificassem as cores das imagens como as lentes de vidro comuns faziam. Foi descoberto que combinando uma lente de vidro convexa com uma lente de vidro côncava (flint glass, cristal com chumbo) resolvia-se o problema das cores falsas, porque a combinação cancelava a tendência de um tipo de lente refratar raios azuis e vermelhos com a tendência oposta da outra lente. Um experiente fabricante de lentes, Guinand conseguiu fabricar grandes lentes de flint glass e Fraunhofer era o seu assistente.



A experiência de seis lâmpadas de Fraunhofer

Objetivo – medir com precisão o índice de refração de cada cor (cada uma vinda de lâmpada distinta)

Problemas – os raios refratados eram observados a cerca de 20 metros de distância – só podia fazer a medição a noite

Solução inesperada - Em 1814 usou a luz do Sol como substituto para a fonte de luz e descobriu algo estranho sobre o espectro. Ele notou que o espectro da luz do Sol tinha algo adicional às cores do arco-íris: **havia numerosas linhas escuras espalhadas por todo o espectro**. Elas resolveram o problema e obteve índices de refração com seis ordens de precisão

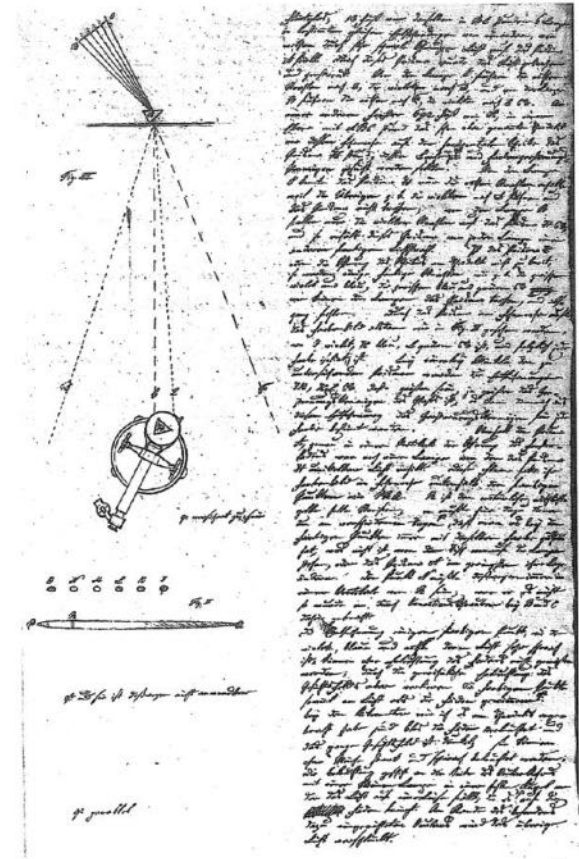


Figure 3.7



Estas linhas pretas somavam 574 e passaram a ser conhecidas como 'linhas de Fraunhofer'. Fraunhofer nomeou as dez linhas mais proeminentes como A, a, B, C, D, E, b, F, G e H, do vermelho ao violeta. Não era uma tarefa fácil ver aquelas linhas.

Estas linhas escuras eram um mistério. Era como se certas partes da luz do Sol estivessem sumindo, certas cores estivessem sendo retidas.

Em sua busca por calibrar lentes com índice de refração de diferentes cores, Fraunhofer também estudou **a luz de chamas de** diferentes substâncias e se perguntou se elas eram "puras". Na maioria não eram, mas no amarelo se encontrava sempre um pico brilhante que parecia ser puro. Chamou de linha R. Descobriu uma notável coincidência. Ela coincidia com a localização de uma linha escura vinda do Sol que ele havia chamado de linha D.

Teria elas a mesma origem? **Seria uma coincidência ou haveria uma conexão?**

Sim era o Sódio no laboratório e na atmosfera solar também e depois descobriu se tratar de duas e não uma linha!

Fraunhofer usou seu telescópio teodolito para estudar **o espectro de estrelas brilhantes e planetas** como Vênus e Sirius. Ele notou para Vênus que via as linhas D, E, b, F perfeitamente definidas. E se convenceu que **a luz de Vênus era da mesma natureza que a luz do Sol**. O espectro das estrelas era de alguma forma diferente. Ele escreveu que tinha visto **com certeza no espectro de Sirius três bandas largas, que não parecem ter relação com aquelas da luz do Sol**; uma das bandas estava no verde, duas estavam no azul. No espectro de outras estrelas fixas de primeira magnitude se podiam reconhecer bandas, ainda que nestas estrelas estas bandas parecessem diferir entre elas mesmas.

| Designação | Elemento | Comprimento de onda (nm) | Designação | Elemento | Comprimento de onda (nm) |
|---------------------|----------------|--------------------------|------------|-----------------|--------------------------|
| y | O ₂ | 898,765 | c | Fe | 495.761 |
| Z | O ₂ | 822,696 | F | H β | 486,134 |
| A | O ₂ | 759,370 | d | Fe | 466,814 |
| B | O ₂ | 686,719 | e | Fe | 438,355 |
| C | H α | 656,281 | G' | H γ | 434,047 |
| a | O ₂ | 627,661 | G | Fe | 430,790 |
| D ₁ | Na | 589,592 | G | Ca | 430,774 |
| D ₂ | Na | 588,995 | h | H δ | 410,175 |
| D ₃ ou d | He | 587,5618 | H | Ca ⁺ | 396.847 |
| e | Hg | 546,073 | K | Ca ⁺ | 393.368 |
| E ₂ | Fe | 527,039 | L | Fe | 382,044 |
| b ₁ | Mg | 518,362 | N | Fe | 358,121 |
| b ₂ | Mg | 517,270 | P | Ti ⁺ | 336,112 |
| b ₃ | Fe | 516,891 | T | Fe | 302,108 |
| b ₄ | Fe | 516,891 | t | Ni | 299,444 |
| b ₄ | Mg | 516,733 | | | |

O segredo no monastério de Benediktbeuern

Filósofos naturais experimentais da Inglaterra, França e Alemanha visitaram o Instituto Ótico onde Fraunhofer manufaturava lentes.

Por exemplo **Gauss** viajou até lá em 1816 para pedir instrumentos óticos para o seu novo observatório em Gottingen. Também o fez **Bessel** de Kroninsberg e muitos outros que descobriram novas estrelas graças aos equipamentos de Fraunhofer. **John Herschel** em 19 de setembro de 1824 visitou Benediktbeuern em nome de sociedades científicas da Inglaterra.

Fraunhofer não lhes contou a receita para fazer vidro acromático e todos retornaram de mãos abanando!

A partir de 1825 **Faraday** tentou fazer engenharia reversa com as lentes e prismas de Fraunhofer afim de reproduzi-los usando química. Quando Faraday recebeu algumas delas imediatamente começou a tentar desvendar a suas origens químicas. Tentou por três anos aprimorar a técnica de misturar a massa de vítrea porém de maneira bem distinta de Fraunhofer. Finalmente em 1830 desistiu da fabricação de vidros óticos. Fraunhofer morreu sem revelar o segredo de sua fabricação.



Fraunhofer morreu de tuberculose com 39 anos de idade, em 1826, antes que pudesse encontrar uma resposta para suas descobertas. Em sua lápide em Munique lê-se **approximavit sidera**, que significa “aproximou as estrelas”.

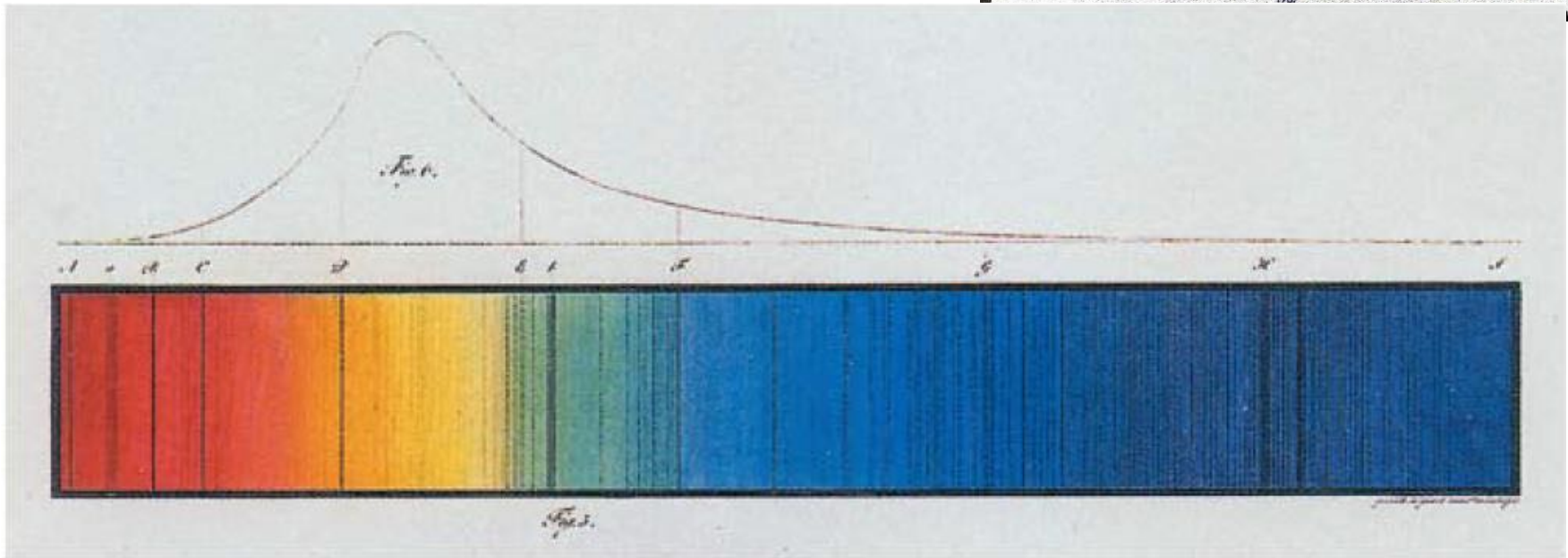


Figure 1.4 Fraunhofer lines in the sun's spectrum. Copper engraving, 1814, taken from: *Denkschriften der kgl. Akademie der Wissenschaften zu München*, 1814 and 1815,

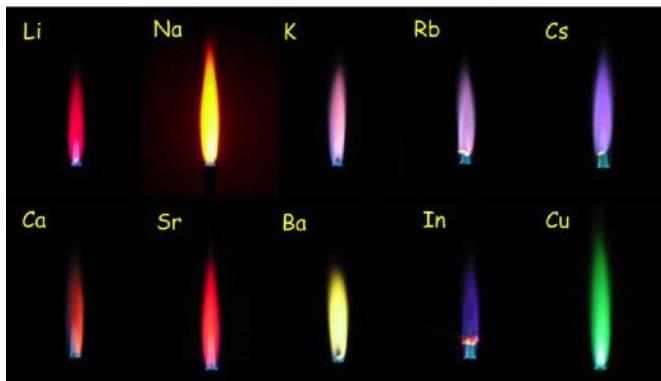
Vol. 5, Table II, Munich 1817. The solid line (cf. Figure 3.4) shows the sensitivity curve of the human eye (Deutsches Museum, Munich, Germany).

Thomas Melvill (1726 –1753)

A sua contribuição mais famosa para a espectroscopia foi uma palestra intitulada “**Observações sobre luz e cores**” feita na Sociedade Médica de Edimburgo (Escócia) em 1752, na qual descreveu o **uso de um prisma para observar a chama colorida de vários sais**. Ele relatou que uma linha amarela sempre era vista no mesmo lugar do espectro. Isto foi derivado do sódio que estava presente como uma impureza em todos os seus sais. Por isso, ele às vezes é descrito como **o pai da espectroscopia de emissão de chama**, embora não tenha identificado a fonte da linha, nem propõe sua experiência para determinar com precisão os índices de refração. Ele também propôs que raios leves de cores diferentes viajassem a diferentes velocidades para explicar a ação de um prisma, e sugeriram que isso poderia ser verificado se as luas de Júpiter apareciam como cores ligeiramente diferentes em diferentes estágios de sua órbita (bobagem).

Espectrometria de Emissão Atômica

Emissão de alguns elementos na chama



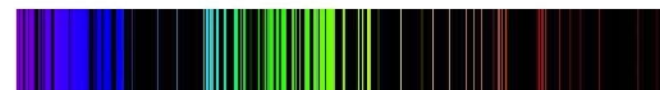
Espectro da luz branca



Espectro de emissão do H



Espectro de emissão do Fe



Auguste Comte (1798-1857)

A Influência de Comte no Brasil

As ideias de Comte influenciaram muito a formação da república no Brasil. O lema da bandeira brasileira, “**Ordem e Progresso**”, foi inspirado na doutrina positivista do filósofo francês. As ações políticas que acompanharam a proclamação da República, tais como a separação entre igreja e Estado, o estabelecimento do casamento civil, o fim do anonimato na imprensa e a reforma educacional proposta por Benjamin Constant também foram influenciados pela filosofia positivista de Comte.

Positivismo

O pensamento positivista pregava um modelo de sociedade organizada, onde o poder espiritual não teria mais importância. Na obra “Discurso sobre o Espírito Positivo” (1848), Auguste Comte afirma que o espírito positivo, que abrange a inteligência, os sentimentos e as ações positivas, é maior e mais importante que a cientificidade, que compreende apenas questões intelectuais. O método positivo caracteriza-se, de modo geral, pela observação dos fenômenos.



Auguste Comte publicou um livro em 1835 intitulado “Filosofia Positiva“, onde **escreveu sobre as estrelas: "Nós vemos como podemos determinar suas formas, suas distâncias, sua massa, suas movimentas, mas nunca podemos saber nada de sua estrutura química ou mineralógica"**. No entanto, 33 anos antes, em 1802, William Hyde Wollaston, dirigiu a luz do sol através de um prisma e observou linhas finas e escuras dentro do espectro colorido associadas a substâncias na atmosfera solar.

O presidente Rodrigues Alves era representante da oligarquia paulista do café, que consideravam as condições sanitárias precárias e insalubres do Rio e do seu porto uma vergonha nacional que impedia a chegada de investimentos, maquinaria e mão de obra estrangeira.

Várias moléstias faziam vítimas no Rio do início do século. Para combater, especificamente, a peste bubônica, Oswaldo Cruz formou um esquadrão especial de 50 homens vacinados que percorriam a cidade espalhando raticida e mandando recolher o lixo. Criou o cargo de “comprador de ratos” – funcionário que recolhia os ratos mortos, pagando por animal. Já se sabia que eram as pulgas desses animais as transmissoras da doença.

Mas o método de combate à febre amarela não aconteceu em clima de tranquilidade. Batizadas pela imprensa da época como “Código de Torturas”, as medidas desagradaram também a alguns **positivistas**, que reclamavam da quebra dos direitos individuais. **Além disso, nem mesmo acreditavam que as doenças fossem provocadas por micróbios.** Por sua vez, jacobinos e florianistas, que já articulavam um golpe contra o presidente Rodrigues Alves, perceberam que poderiam canalizar a insatisfação popular em favor de sua causa: a derrubada do governo, acusado de privilegiar os grandes fazendeiros e cafeicultores paulistas. O que deflagrou a **Revolta da Vacina** foi a publicação, no dia 9 de novembro de 1904, do plano de regulamentação da aplicação da vacina obrigatória contra a varíola. A partir daí, entre os dias 10 e 18, a cidade do Rio de Janeiro viveria o que a imprensa chamou de “**a mais terrível das revoltas populares da República**”.



Página do jornal *Gazeta de Notícias* 14/11/1904



William Henry Fox Talbot - (1800-1877)



Talbot era amigo de John Herschel (filho de Sir Frederick William Herschel) que influenciou a estudar ótica. Três anos depois (1826) Talbot publicou um artigo intitulado “Alguns Experimentos em Chamas Coloridas” onde descreve suas observações da chama de alguns elementos, utilizando um fogareiro de álcool e um espectroscópio simples:

“(...) O raio vermelho aparenta possuir uma refrangibilidade definida e ser característico dos sais de potassa, assim como o amarelo dos sais de carbonato de sódio... Assumindo isto, eu sugeriria ainda que sempre que o prisma [do espectroscópio] mostra que um raio homogêneo de qualquer cor existe em uma chama, esse raio indica a formação ou a presença de um determinado componente químico.”

Em 1835, outro artigo é publicado, no qual Talbot fala sobre a natureza do espectro contínuo, arriscando uma interpretação:

“(...) Em suma, vemos que a mera presença do cal [óxido de cálcio] em um estado aquecido é a causa da luz (...) a emissão de luz intensa por uma pequena amostra de cal neste experimento, sem perda de nenhuma porção de sua própria substância, é consequência da causa referida acima – quer dizer, o calor leva as moléculas de cal a um estado de vibrações tão rápidas que ela se tornam capazes de influenciar o meio etéreo em volta, produzindo neste ondulações luminosas”

Ainda no mesmo artigo, ele escreve sobre as listras escuras encontradas no espectro do vapor de iodo: ***“Avancei na hipótese de que as vibrações da luz e das moléculas materiais são capazes de se influenciar mutuamente. Resta descobrir se esta mesma hipótese não ofereceria uma pista para a explicação deste aparentemente complexo fenômeno de absorção [o aparecimento de listras escuras] (...). Suponhamos que o vapor de iodo é constituído de maneira tal que suas moléculas tendem a vibrar com rapidez não completamente diferentes da luz. Então, se os raios coloridos diferem também (como é provável) na rapidez da vibração, alguns deles vibrarão em concordância e outros em discordância com as vibrações do gás de iodo, e estas concordâncias se sucederam regularmente do fim vermelho do espectro ao violeta; cada discordância é marcada por uma listra escura, ou deficiência no espectro, porque o raio correspondente não esta livre para vibrar pelo meio, mas foi confinado e absorvido pelo mesmo.”***

As maiores contribuições de Talbot foram na fotografia, segundo ele **“um desenho da natureza feito por ela própria”**. Em 1839 chegaram a Talbot notícias de que o francês Louis Daguerre (1787 – 1851) fizera uma demonstração pública de um método de registrar imagens em pratos de metal com incrível precisão (daguerreótipo). Talbot empenhou-se em reivindicar prioridade da patente da invenção de desenhos fotográficos e de ser o primeiro a resolver o problema da fixação das imagens.



Louis Daguerre

Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899)

Em 1856 Bunsen inventou o bico de gás (**bico de Bunsen**), cuja vantagem era de ao colocar um elemento químico sobre a chama, as cores emitidas eram as do elemento químico sem ocorrer contaminação de substâncias da chama. Bunsen e Kirchhoff colocaram um prisma na frente de um conjunto de lentes e passaram a identificar as linhas com os elementos químicos.

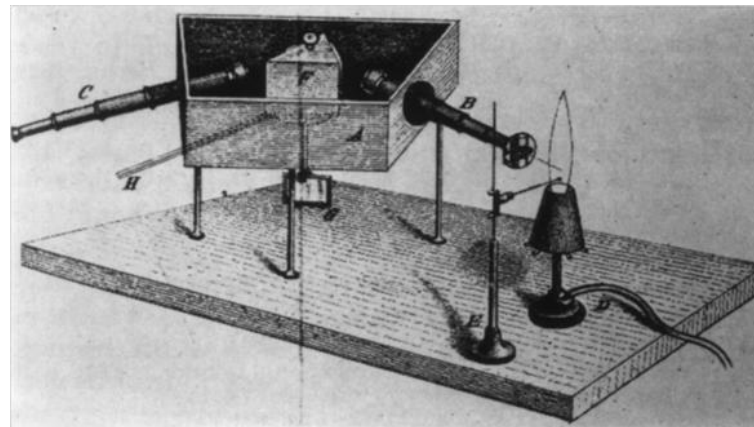


Se não fosse pela confusão causada pelas linhas D do Sódio, a história da análise espectral seria, sem dúvidas, bem diferente. H Kayser, no seu monumental livro sobre espectroscopia, apontou: “se não fosse a ocorrência universal do sódio, a análise espectral teria sido descoberta por Herschel. Nós descobrimos que mesmo em investigações posteriores, a linha de sódio era uma pedra no meio do caminho que levava a conclusões incorretas. É historicamente interessante que essa luz, que, em minha opinião, foi a razão principal para o fato de que a análise espectral não tivesse sido descoberta 30 ou 40 anos mais cedo – que precisamente essa luz nas mãos de Kirchhoff e Bunsen levou a um sucesso ainda mais importante, para a transição do espectro terrestre para o solar.”



Bunsen e Kirchhoff se conheceram Em Breslau, Silésia hoje atual Polônia durante o ano letivo de 1851-1852. Em 1854, Bunsen foi para Heidelberg e logo a seguir Kirchhoff o seguiu.

Bunsen associou-se em 1859 a Kirchhoff na criação do espectroscópio. Nele a luz emitida atravessa o tubo B para ser decomposta pelo prisma F. A luneta C permite a observação do espectro de emissão (ou ele pode ser projetado num anteparo). O espectroscópio é usado para medir a intensidade da luz em comparação com a de uma luz procedente de uma fonte padrão. Essa comparação permite determinar a concentração da substância que produz esse espectro.



Gustav Kirchhoff (esquerda) e Robert Bunsen (direita)

Bunsen viu que a análise de absorção espectral pode ser feita de modo a determinar a composição de matéria celeste e terrestre.

A análise espectral permitiu a Bunsen e Kirchhoff o anúncio em 1860 de um novo metal alcalino, **césio**, detectado em algumas gotas de resíduos alcalinos de uma análise de água mineral obtida de Durheim. O elemento foi chamado césio (do latim CESIUS, "céu azul") por causa de suas linhas de espectro **azul brilhante**. Sais de césio tinham sido previamente confundidos com compostos de potássio. No ano seguinte o elemento **rubídio** (do latim RUBIDUS, "vermelho escuro") foi detectado do espectro de alguns grãos do mineral lepidolita. Por comparação, **quarenta toneladas de água mineral eram necessárias para se chegar a 16.5 gramas de cloreto de césio e cloreto de rubídio** que puderam ser usados na investigação química dos compostos destes novos elementos.

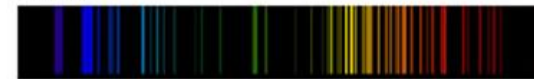
Se a luz da chama de um elemento em forma de gás quente incidir sobre um prisma, será obtido um espectro descontínuo, chamado de espectro de absorção. Ou seja, serão observadas apenas algumas linhas luminosas coloridas intercaladas por regiões sem luz. Para cada elemento, teremos um espectro diferente.



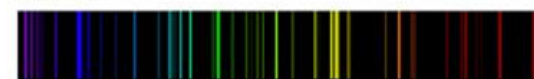
Hidrogênio



Hélio



Neônio



Mercúrio

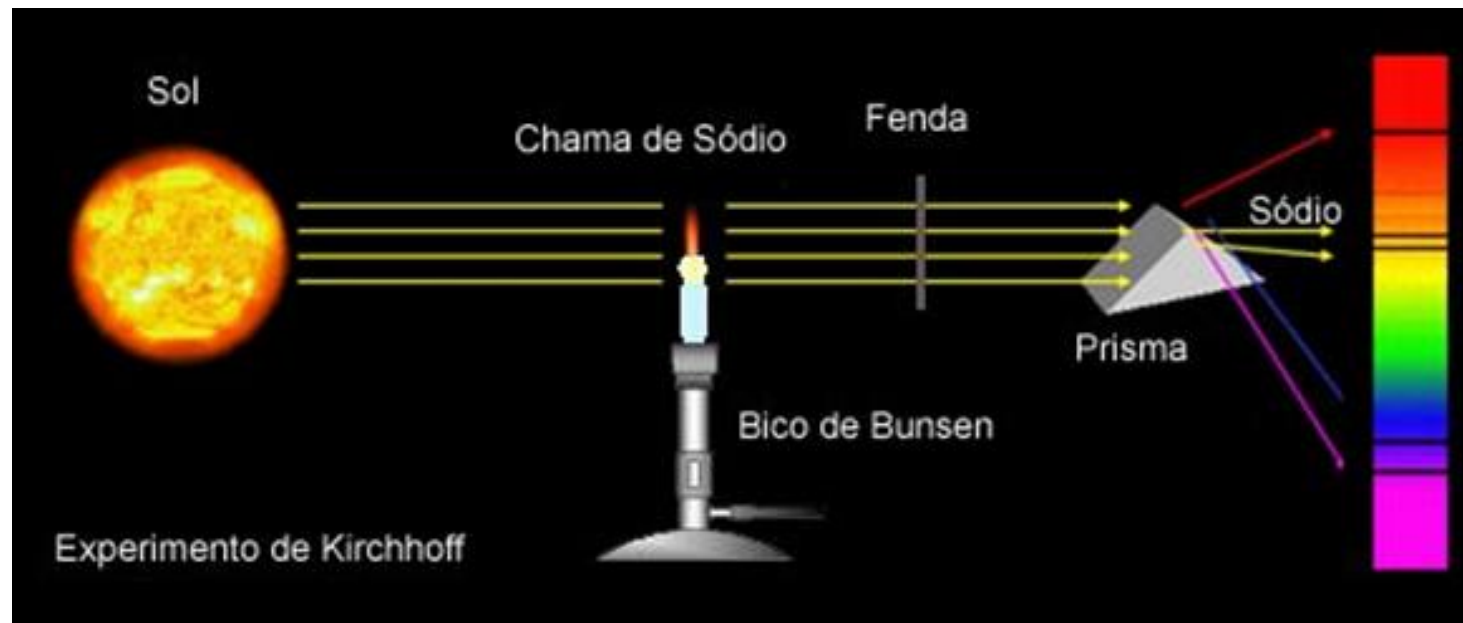
Gustav Kirchhoff (1824-1887)

Em uma certa tarde no ano de 1859, Kirchhoff e Bunsen fizeram uma observação surpreendente que levou seus esforços de pesquisa a um nível completamente diferente. Enquanto estavam em seu laboratório em Heidelberg, eles perceberam uma **grande labareda na cidade vizinha de Mannheim**, pela planície do Reno, e eles viraram seu espectroscópio naquela direção por mera curiosidade. O que eles viram os surpreendeu enormemente. Eles conseguiam ver linhas espectrais que eles conheciam de muito bem – havia linhas do bário e do estrôncio na luz da grande labareda. **O fogo estava a pelo menos 16 Km de distância**, e mesmo assim eles podiam discernir as linhas dos elementos na luz fraca que entrava em seu espectroscópio.

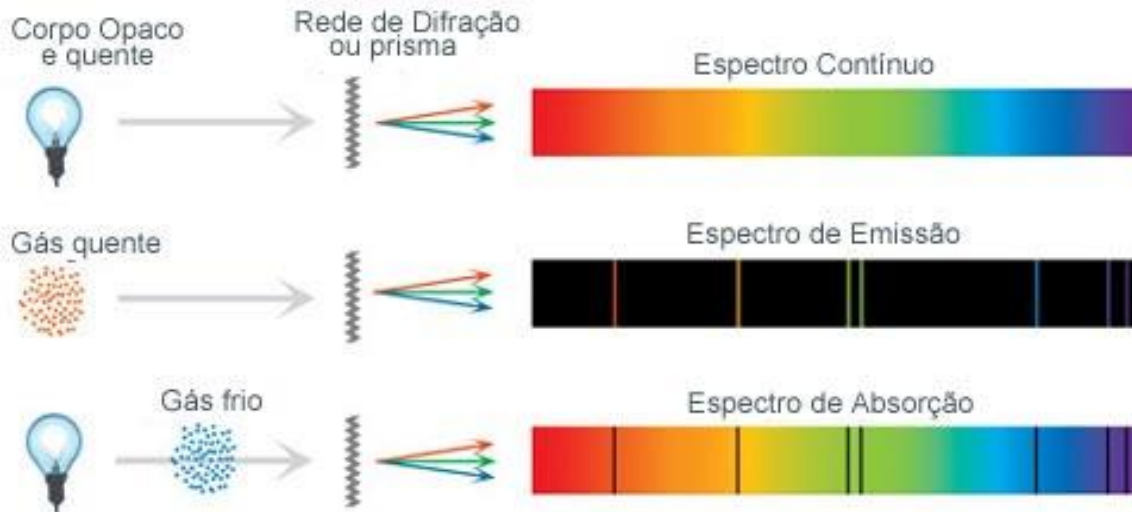
Bunsen, após o incidente, se perguntou se já que eles conseguiam identificar os elementos presentes na distante labareda de Mannheim, por que não poderiam fazer o mesmo com a luz vinda do sol. “Se podemos determinar a natureza de elementos queimando em Mannheim,” Bunsen se perguntou, **“por que não podemos fazer mesmo com relação a luz do sol?”**



Kirchhoff queria confirmar que as linhas escuras D descobertas por Fraunhofer no espectro do Sol eram linhas de sódio. Para isto ele passou a luz do Sol através de uma chama de sódio, esperando que as linhas do sódio preenchessem as linhas escuras do Sol. Para sua surpresa, as linhas D ficavam mais fortes, mais escuras. Ele então substituiu o Sol por um sólido quente. A luz do sólido que passava pela chama apresentava as mesmas linhas escuras do Sol, na posição das linhas do sódio. Ele então concluiu que o Sol era um gás ou sólido quente, envolto por um gás mais frio. Estas camadas mais frias é que produziam as linhas escuras do Sol. Comparando o espectro, ele descobriu linhas de Mg, Ca, Cr, Co, Zi, Ba e Ni no Sol.



Leis de Kirchhoff

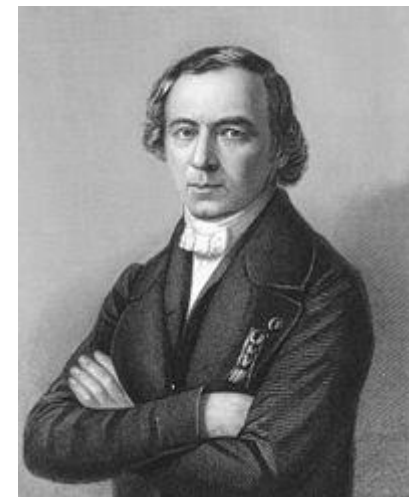


- 1) Um **corpo opaco quente**, sólido, líquido ou gasoso, emite um espectro contínuo.
- 2) Um **gás aquecido** produz um espectro de linhas brilhantes (de emissão). O número e a posição destas linhas dependem dos elementos químicos presentes no gás.
- 3) Se um espectro contínuo passar por um **gás à temperatura mais baixa**, o gás frio causa a presença de linhas escuras (absorção). O número e a posição destas linhas dependem dos elementos químicos presentes no gás.

Kirchhoff e Bunsen vieram a Paris no verão de 1862 para participar da reunião semanal da Academia de Paris e causaram sensação entre os físicos franceses.

Jeann-Baptiste Dumas terminou seu discurso referindo-se a implicação para a astronomia: "**Já não é necessário tocar um corpo para determinar a sua natureza química: Ver é suficiente.**"

Kirchhoff tinha explicado que a luz da região quente, interior do Sol era composta de todas as cores, e assim mostrou o seu espectro, uma propagação contínua de cores do azul ao vermelho. Se esta luz passou através de uma camada relativamente mais fria, então o gás frio nesta atmosfera absorvia luz de certas cores específicas, dependendo de sua composição elementar. Estas foram as linhas escuras no espectro solar.



Jeann Baptiste Dumas
1800-1884

Kirchhoff gostava de **contar uma piada** sobre o seu banqueiro: ao contar para ele que a questão de revelar a presença de ouro no sol pelas linhas de Fraunhofer estava sendo investigada. O banqueiro de Kirchhoff naturalmente comentou: "**O que faço para cuidar de ouro no sol, se eu não posso buscá-la aqui em baixo?**" Pouco depois Kirchhoff recebe na Inglaterra uma medalha de ouro pela sua descoberta científica. Ele mostrou a medalha ao banqueiro e observou: "**Olha aqui, eu consegui finalmente, um pouco de ouro a partir do sol.**"

William Allen Miller (1817-1870)

Em 1833 Miller demonstrou que quando a luz do sol passava por gases no laboratório, linhas escuras adicionais apareciam no espectro solar, e isto sugeriu que as linhas escuras do espectro solar apareciam por conta de gases no sol.



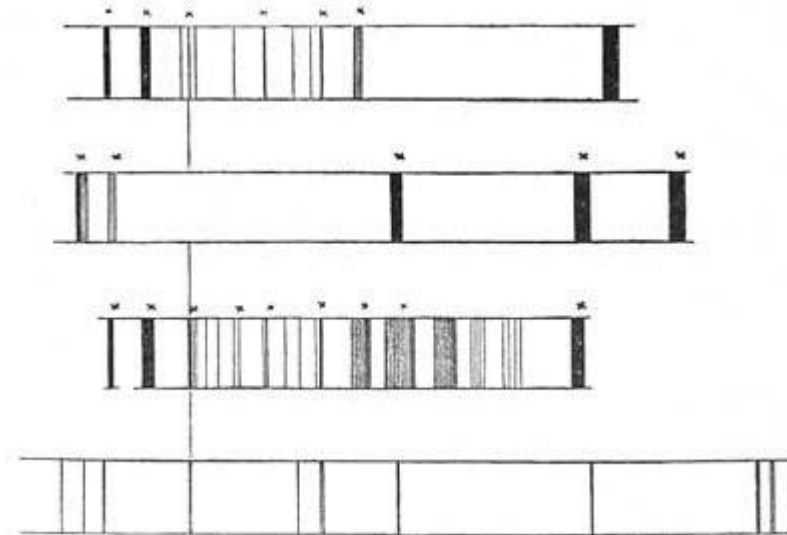
Os primeiros experimentos de Miller sobre a análise espectral foram realizados em uma sala de madeira em baixo do auditório do King's College por volta de 1845, os experimentos eram realizados tanto pelo método de absorção quanto pelo método que consistia em observar o espectro relativo a chama de um determinado elemento (flame spectra). Pela primeira vez eram dados diagramas dos espectros conseguidos através da chama dos elementos. Em 1862, Miller publicou seu trabalho relatando sobre as diferenças de características dos espectros de vinte e cinco metais diferentes, os espectros puderam ser analisados através de fotografias conseguidas por negativos de colódio. Nesta lista de metais, também estava presente a platina, porém a única linha atribuída por Miller a platina foi uma linha amarela que coincidia com a linha "D" do espectro solar de Fraunhofer. Em 1856, esta linha amarela que era onipresente nos espectros de Miller, foi descrita por William Swan como sendo uma contaminação por conta sódio usado por Miller no processo experimental.

William Huggins (1824 — 1910)

Em 1862 William Huggins conheceu William Allen Miller que num encontro da sociedade farmacêutica que tinha como assunto a análise espectral. Por serem vizinhos, Miller e Huggins caminharam juntos até suas casas continuando o assunto que foi discutido por eles no encontro, e esta casualidade fortuita foi o início do que seria futuramente uma pesquisa em conjunto entre os dois cientistas. Huggins convenceu Miller a pesquisar junto a ele os espectros dos corpos de grande massa, ou seja, os espectros dos corpos celestes. A princípio, Miller duvidou que pudessem encontrar resultados contundentes em sua pesquisa, porém, este foi convencido por Huggins. Depois de estudarem os espectros de 50 estrelas brilhantes, concluíram que elas tinham uma composição química similar à do Sol, contendo a maior parte dos elementos químicos encontrados na Terra, dentre os quais, destacaram: hidrogênio (H), sódio (Na), magnésio (Mg), cálcio (Ca), ferro (Fe) e oxigênio (O). **Com essa descoberta, eles derrubaram o mito Aristotélico de que o Céu era composto e substâncias (quintessência) não encontradas em nosso planeta.**



William Huggins
1824-1910

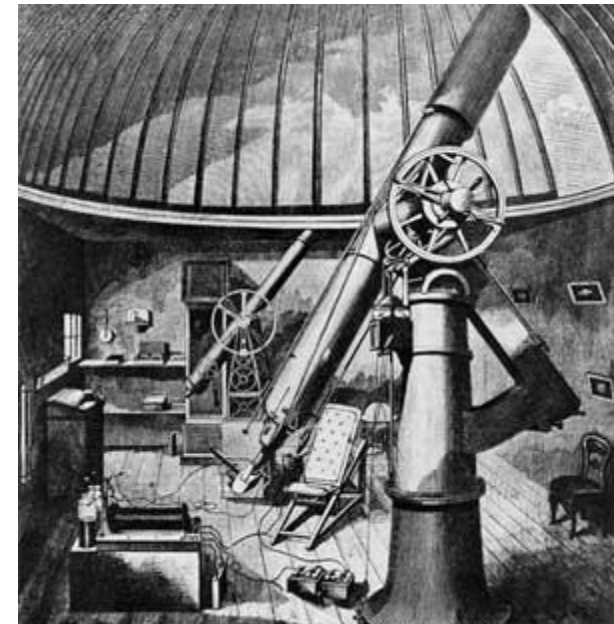


Desenho esquemático das linhas do espectro de Aldebaran, Sirius, Betelgeuse e o Sol por Huggins e Miller

Em 1864 Huggins e Miller publicaram um trabalho sobre o espectro das nebulosas. Ao examinarem esse espectro, observaram que o mesmo possuía raias brilhantes (espectro de emissão) em vez do de linhas escuras (espectro de absorção) e, em vista disso, concluíram que as grandes nebulosas (como a Órion, por exemplo), eram constituídas de um gás luminoso. Por outro lado, ao estudarem o espectro da nebulosa de Andrômeda concluíram ser a mesma composta de estrelas.

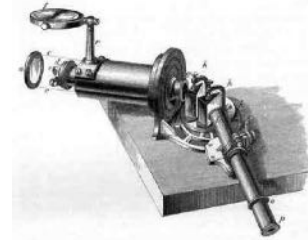
Em 1866, Huggins foi o primeiro a estudar o espectro de uma estrela nova e verificar que ela era envolta por H, descoberta essa que indicava ser esse gás o combustível do Universo, como a Astrofísica do Século 20 confirmou.

E para ilustrar a contribuição de amadores para a ciência, Simon Schaffer escreve: **“Huggins fez tanto dinheiro como dono de uma mercearia que pode se aposentar muito jovem e construir observatório astronômico em sua residência (Tulse Hill). Ele comprou um telescópio de alta qualidade e colocou prismas na frente dele, transformando-o em um astro-espectroscópio. Ele mediu o espectro das nebulosas e estrelas e inventou astrofísica -. a ciência que diz do que as estrelas e nebulosas são feitos.”**



Margaret Lindsay Murray (1848-1915)

Margaret Lindsay (Murray) Huggins casou aos 27 anos com William Huggins, de 51 anos, em 1875 e viveram juntos por mais de 30 anos. Apesar da discrepância em suas idades, a parceria Huggins foi feliz e bem-sucedida. O casal não tinha filhos, e sua casa em Londres serviu como local de trabalho. Eles começaram sua vida científica juntos, pioneiro de uma das principais ferramentas de astronomia observacional, a **placa fotográfica gelatina seca**. William e Margaret foram os primeiros a aplicá-lo à espectroscopia astronômica. Seus primeiros trabalhos publicados em conjunto, a partir de 1889, foram estudos dos espectros dos planetas. Eles também estudaram os espectros das estrelas da Nebulosa de Orion e Wolf-Rayet, e observaram a nova brilhante de 1892, Nova Aurigae



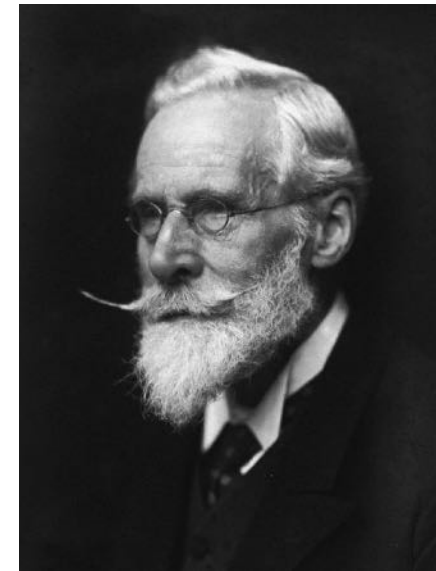
William e Margaret Huggins, ao contrário de alguns astrónomos contemporâneos, consideravam que as nebulosas eram gasosas. Em 1864, Huggins associou as linhas observados na nebulosa de Orion com Azoto e mais tarde (1889) julgaram que estas estavam associadas a um **novo elemento** (nebulum ou nebulium).

Observatório de Tulse Hill no subúrbio de Londres.
Conhecido como 90 Upper Tulse Hill Road.

William Crookes (1832 - 1919)

O elemento tálio foi descoberto em 1861 por William Crookes e de forma independente por Claude-Auguste Lamy (1820 –1878). Ambos usaram a espectroscopia de chama, que na época era um método novo para determinação espectroscópica de minerais. O nome vem do latim thallus (talo) por causa da linha verde brilhante do seu espectro. Em 1873, ele determinou o peso atômico do tálio em uma pesquisa que é ainda hoje um modelo de precisão analítica.

O tálio é um metal muito raro, e só existem três jazidas conhecidas deste mineral no mundo. A mais recente delas encontra-se no Brasil, no município baiano de Barreiras. A jazida encontrada na Bahia tem potencial de ser maior que as da China e do Cazaquistão, os únicos produtores atuais, pois tem volume capaz de atender toda demanda mundial por seis anos.



Claude-Auguste Lamy

De importância mais fundamental foram suas pesquisas sobre a passagem de descargas elétricas através de gases rarefeitos. Descobriu que, à medida que se aumentava a atenuação do gás, o espaço escuro em torno do eletrodo negativo aumentava e os raios (catódicos) se propagam em linhas retas, causam fosforescência e calor no impacto. Acreditou ter descoberto um quarto estado da matéria, que ele denominou de "matéria radiante". Ele acreditava que os raios consistiam de feixes de partículas de magnitude molecular ordinária. Foi Sir J. J. Thomson quem descobriu que os raios catódicos consistem em feixes de elétrons. Apesar disso, o trabalho experimental de Crookes nesta área foi a base de descobertas que mudaram toda a concepção da química e da física.

Crookes investigou fenômenos mediúnicos no decorrer de sua vida. No dia 22 de abril de 1872 ocorreu a materialização do espírito de Katie King:

"Pequena mão de muito bela forma elevou-se de uma mesa da sala de jantar e deu-me uma flor; apareceu e depois desapareceu três vezes, o que me convenceu de que essa aparição era tão real quanto a minha própria mão".

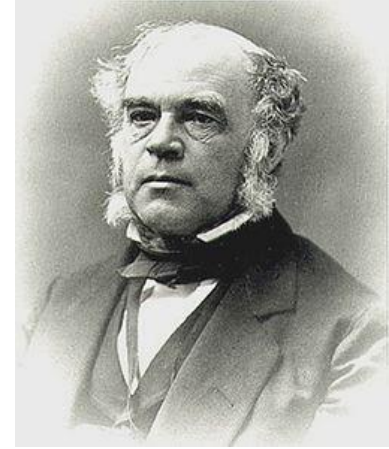


Espírito de Katie King

"Já se passaram trinta anos desde que publiquei um relatório dos experimentos tendentes a mostrar que fora de nosso conhecimento científico existe uma Força utilizada por inteligências que diferem da comum inteligência dos mortais ... Nada tenho a me retratar. Confirmo minhas declarações já publicadas. Na verdade, muito teria que acrescentar a isto". (Crookes, 1898).

John William Draper (1811 – 1882)

Em 13 de Setembro de 1831, Draper casou-se com Antonia Coetana de Paiva Pereira Gardner (c.1814-1870), filha de Daniel Gardner, médico da corte de João VI de Portugal e Carlota Joaquina de Bourbon. Antonia nasceu no Brasil depois da família real ter deixado Portugal devido à invasão de Napoleão. Por volta de 1830, ela foi enviada com seu irmão Daniel a viver com sua tia em Londres.



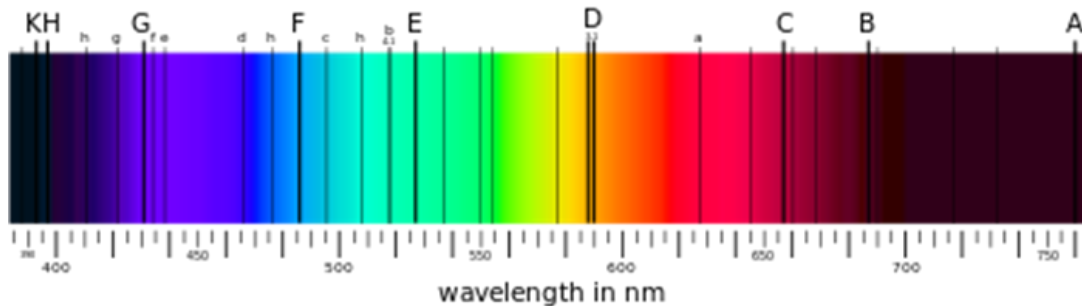
Em 1840, Draper tornou-se a segunda pessoa a produzir fotografias de um objeto astronômico, a Lua, considerada as primeiras astrofotografias. Em 1843, ele fez daguerreótipos do espectro solar que revelou novas linhas infravermelhas e ultra violetas.

Draper produziu as primeiras fotografias de um rosto humano com vida em particular de sua irmã, Catherine Dorothy Draper. Uma dessas fotos tornou-se conhecida do público através da carta que enviou a John Herschel em 1840.



No seu livro “ História do conflito entre religião e ciência” (1874) examina a relação entre religião e ciência apresentando a história da ciência como " uma narrativa do conflito de dois poderes contendentes, a força expansiva do intelecto humano em de um lado, e a compressão resultante da fé tradicional e dos interesses humanos por outro ". Para ele protestantismo e catolicismo estavam "de acordo em um ponto: não tolerar nenhuma ciência, exceto o que eles consideravam agradável às Escrituras ".

Draper conseguiu fotografar o espectro solar com muitas linhas de absorção de Fraunhofer em 1840. Entretanto parece que Alexandre Edmond Becquerel (1820-1891) foi primeiro a fazê-lo de acordo com Sir Norman Lockyer: “Em Junho de 1842, Becquerel conseguiu um estupendo feito nunca alcançado antes o tanto quanto sabemos. Ele fotografou o espectro solar inteiro com quase todas as linhas registradas de Fraunhofer por olho e mão."



Em 1848 Draper pensou ter encontrado uma pista na razão física das linhas de Fraunhofer. Ao tabular as linhas escuras principais de A até H do espectro solar, ele observou que as diferenças entre elas estavam muito próximas de 1,2,4,6,7,9,10 (pouca precisão). Por causa da similaridade com a escala de overtones musical (Um **overtone** é uma frequência múltipla da frequência fundamental de um som.) ele concluiu que “ a causa qualquer que seja que produz estas linhas fixas é periódica em sua ação”.

Gustavus Detlef Hinrichs (1836 –1923)



Nasceu na Dinamarca (atual Alemanha) e estudou na Universidade de Copenhague e na Escola Politécnica de Copenhague. Emigrou para os Estados Unidos em 1861 e instalou-se em Davenport, Iowa, onde ensinou línguas estrangeiras no sistema escolar local. Pouco tempo depois, ele se juntou à Universidade de Iowa, inicialmente como professor de línguas modernas e depois como professor de ciências físicas. Hinrichs era um professor talentoso e químico reconhecido internacionalmente mas também era um homem volátil, abrasivo e às vezes vingativo. Algumas colegas pensaram dele como um egoísta, sem tato e desconfiado, por outro lado era apoiado por alunos e comunidade local em seus esforços para melhorar o nível do ensino científico em Iowa. Um novo presidente da universidade e a maior parte da faculdade apresentaram acusações contra Hinrichs em relação a suas ações e atitudes pouco profissionais em relação aos colegas. Hinrichs deixou a Universidade de Iowa em 2 de março de 1886, após 22 anos de serviço. Mudou-se para St. Louis em 1889 e serviu como professor no Departamento de Química da Universidade de St. Louis no College of Pharmacy.

Hienrichs escreve que “ ***...sentia-se seguro que as linhas negras dos elementos estariam distribuídas de acordo com leis simples e que estas leis nos levariam ao conhecimento das dimensões dos átomos.***” Ele buscou grupos de linhas que tivessem qualquer tipo de ordem. Com tantas disponíveis, acabou encontrando nas chamadas linhas K (de Kirchhoff) do Cálcio: 2869.7, 2864.7, 2854.7 e 2834.2 cujos intervalos 5.0, 10.0 e 20.5, estavam numa relação aproximadamente de 1, 2 e 4. As conclusões de Hienrichs eram baseadas em observações bastante ralas.

1868.

Hinrichs' Contributions,

No. 1, 2.

CONTRIBUTIONS

TO

MOLECULAR SCIENCE,

OR


ATOMMECHANICS.

BY

GUSTAVUS HINRICHS,

Professor of Chemistry and Mineralogy,

IOWA STATE UNIVERSITY.



In the following, W will always denote the *wave-length* expressed in *ten-millionths of a millimeter*, D the differences, i the assumed number of equal intervals, W' the calculated wave-lengths, E the error, the difference between observation and calculation, $E = W - W'$ and d the interval.

§ 4. *Hydrogen spectrum.*

| Line. | W | D | i | W' | E |
|----------|------|------|-----|------|-----|
| α | 6533 | | | 6533 | 0 |
| β | 4843 | 1690 | 10 | 4843 | 0 |
| γ | 4339 | 504 | 3 | 4336 | +3 |

where $d=169$. Range from red to indigo, or C to G.

§ 30. *Dimensions of the atoms.*—We suppose all elementary atoms to be built up of the atoms of *one single matter*, the *urstoff*. Let the atomic weight of hydrogen referred to this prime-element be H —we have reason to believe that $H=4$.

Whatever be the form of these atoms, the laws of mechanics force them to arrange themselves regularly—and the most stable form will be the prism. If quite rectangular, and a, b, c be the number of primary atoms, in the three directions, we shall have (leaving out the factor H)

$$A = a \cdot b \cdot c.$$

Johann Jakob Balmer (1825-1898)



Balmer foi professor de uma escola secundária para moças, na Basileia, Suíça, de 1859 a 1898 (ano de sua morte).

Posteriormente, ele se tornou professor universitário em University of Basel, onde lecionava Matemática, mais especificamente no ramo de Geometria, de 1865 a 1890. Casou-se já com 43 anos, com Christine Pauline Rinck e juntos tiveram seis filhos. Seu primeiro trabalho acadêmico foi publicado quando já tinha 60 anos.

Balmer trabalhou até a sua morte, em 1898, com 73 anos. Apesar de seu grande interesse em Geometria Espacial, na Matemática não realizou nada de importante, porém, a fórmula para as linhas espectrais do hidrogênio provém de suas notáveis habilidades matemáticas.

Balmer era realmente muito interessado em proporções matemáticas e físicas e foi, provavelmente, o motivo de seu entusiasmo de que conseguiria expressar os comprimentos de onda do espectro de hidrogênio utilizando números inteiros.

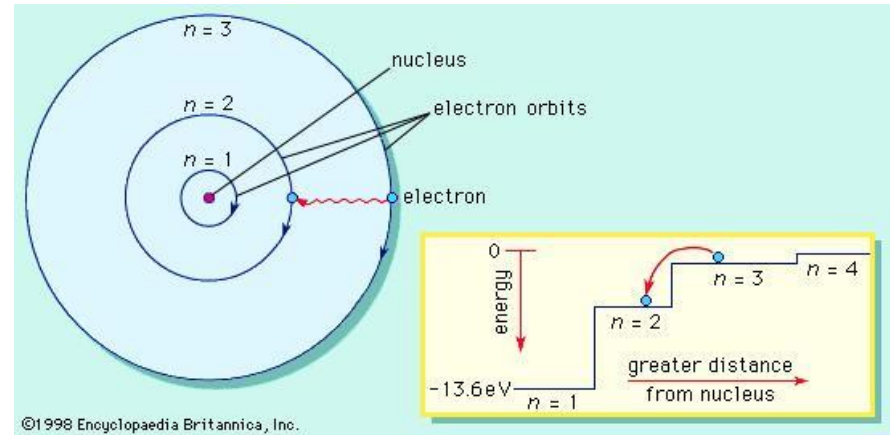
"Parece-me que o hidrogênio (...), mais que qualquer outra substância, está destinado a abrir novos caminhos para o conhecimento da estrutura da matéria e de suas propriedades. A esse respeito, a relação numérica entre os comprimentos de onda das primeiras quatro linhas espectrais do hidrogênio devem atrair particularmente a nossa atenção."

Em 1868 Angstrom havia determinado com grande precisão quatro linhas do espectro do hidrogênio que estão no visível:

[6562,10, 4860,74, 4340,10 e 4101,2]

em unidades de Angstrom

$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$.



$$\frac{c\hbar}{\lambda_n} = E_n - E_m$$

George Johnstone Stoney (1826 - 1911) em 1869 especulou que os espectros surgiram a partir dos movimentos internos de moléculas. No entanto, sua teoria matemática foi rejeitada e em 1881, **Arthur Schuster** (1851 – 1934) concluiu: **"Muito provavelmente existe alguma lei até então inexplorada..."** Um ano depois, Schuster acrescentou:

"É objeto de estudo ambicioso para espectroscopia estudar as vibrações dos átomos e moléculas a fim de obter as informações que puder sobre a natureza das forças que os unem... Mas não devemos esperar, tão cedo, uma descoberta de uma lei grandiosa ou muito geral, para a constituição do que chamamos de molécula e essa é sem dúvida uma forma muito complicada, a dificuldade de o problema é tão grande que, se não fosse a importância primordial, do resultado que podemos finalmente esperar em obter, todos, mas o mais otimista poderia muito bem ser desencorajados a se envolver em um inquérito que, mesmo depois de muitos anos de trabalho, pode vir a ter sido desnecessário... Nesse meio tempo, temos de receber com alegria até mesmo o menor passo na direção desejada."

Em 25 de junho de 1884 Balmer apresentou num seminário que estas quatro linhas visíveis podiam ser escritas como

[9/5,4/3,25/21,9/8] *3645.6.

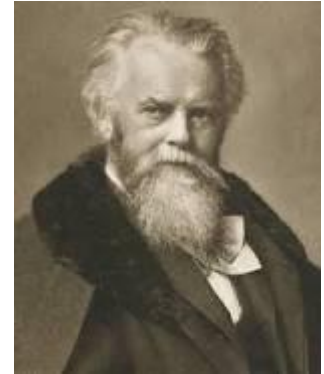
Estas frações podem ser reescritas como

[9/5,16/12,25,21,36/32] ou [3²/(3²-4), 4²/(4²-4), 5²/(5²/4),6²/(6²-4)].

Em resumo uma única fórmula descreve estas quatro linhas.

$$\lambda_n = \frac{n^2}{n^2 - m^2} 3645.6 \text{ onde } m = 2 \text{ e } n = 3, 4, 5, \text{ e } 6$$

Balmer prosseguiu com $m=2$ e $n=7$ obtendo o valor de 3969,65. Foi informado pelo professor **Jacob Eduard Hagenbach-Bischoff** (1833-1910) sobre duas publicações de 1880. Numa delas **William Huggins** tinha obtido do espectro de estrelas brancas 12 linhas muito claras de espectro, apenas não estava seguro se estas linhas pertenciam ao hidrogênio embora acreditasse que eram oriundas de uma única substância. **Hermann Wilhelm Vogel** (1834-1898) fez medidas usando hidrogênio de forma bastante pura. Huggins e Vogel concordavam em 0.5 Angstroms nas primeiras 4 linhas mas não com igual precisão nas outras. Nas demais Balmer tinha um acerto de 1 Å com Vogel e 3.1 Å com Huggins. Em 1886 **Alfred Cornu** (1841 –1902) em Paris e **Gustav Miller** (1851–1925) em Potsdam melhoraram estas medidas e mostraram acordo surpreendente entre as demais linhas e a fórmula de Balmer.



Hermann Vogel



William Huggins



Alfred Marie Cornu

Balmer publicou seu trabalho em dois artigos, ambos publicados em 1885. A primeira, intitulada 'Notiz über die Spektrallinien des Wasserstoff', é a fonte da equação acima. Ele também fornece o valor da constante (3645,6 Å) e discute o seu significado:

"Alguém pode considerar este número como o número fundamental do hidrogênio, e se a pessoa deve ter sucesso em encontrar os números fundamentais correspondentes para outros elementos químicos, bem como, em seguida, os outros podem especular o que existe entre esses números fundamentais e os pesos atômicos [das substâncias] em certas relações em questão, o que pode ser expresso como uma função."

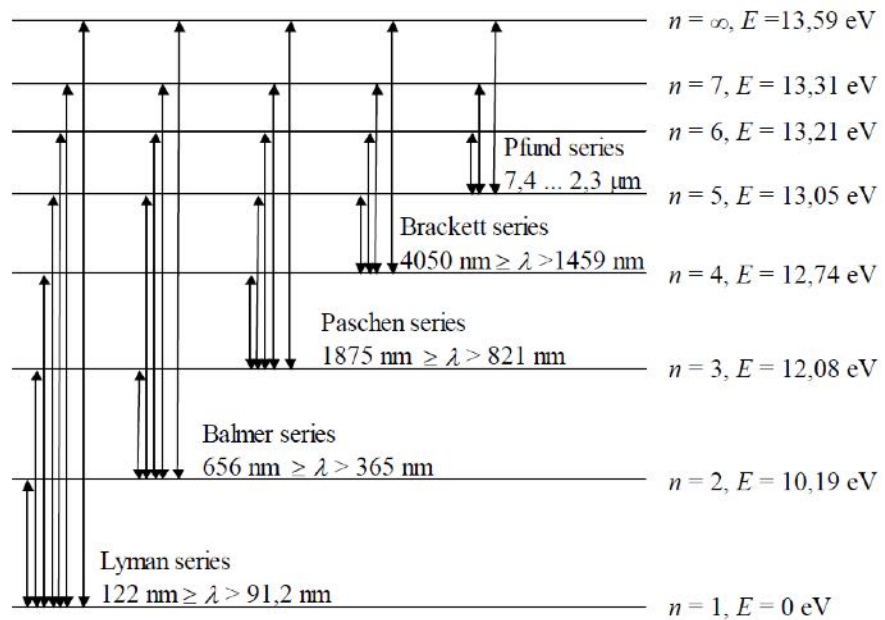


Fig. Energy level diagram and spectral series of the H atom. The levels corresponding to the principal quantum numbers $7 < n < \infty$ have been left out. The energies given are relative to the ground level $n = 1$. The ionization energy corresponds to $n = \infty$. It should be noted that the distances between the energy levels is not shown to scale.



Nasce em 07 de outubro de 1885, em Copenhague o físico que iria desvendar o mistério por de trás da fórmula de Balmer. O nome dele? Niels Henrik David Bohr.