

## Lorde Kelvin demonstrado\*

(*Lord Kelvin demonstrated\*\**)

J.T. Lloyd

*Departamento de Filosofia Natural, Universidade de Glasgow, Glasgow, Escócia*

Tradução do artigo “Lord Kelvin demonstrated”, *The Physics Teacher* **18**, 16-24 (1980)

Translation of the paper “Lord Kelvin demonstrated”, *The Physics Teacher* **18**, 16-24 (1980)

Se considerarmos os 660 artigos escritos por Lorde Kelvin durante sua vida (ver o histograma, Fig. 1), e a enorme quantidade de trabalho representada por estes artigos, e se considerarmos seus grandes interesses comerciais, suas consultorias, suas palestras destinadas à coletividade, seu envolvimento nas investigações públicas, até mesmo o recebimento de uma quantidade excepcionalmente numerosa de honrarias, poderíamos perguntar - como ele ainda podia ser um professor?

O aspecto notável é que ele, um dos homens mais ocupados que já viveu, era principalmente e antes de mais nada um professor. Sendo filho de um professor, educado por professores desde a infância, e vivendo nos recintos da universidade durante a maior parte de sua vida - incluindo seus 53 anos como professor de filosofia natural - estava bem enraizado nele que sua prioridade principal era a de ensinar os jovens. Ele é um exemplo proeminente do sistema universitário, pois enquanto podemos apontar facilmente seus vários feitos materiais no ramo da ciência, também podemos apontar os milhares de estudantes que foram por ele educados e o valor subsequente para o mundo causado pela difusão de seus elevados ideais de integridade e de atitude científica.

Como uma base para uma compreensão bem fundamentada da física, Kelvin sempre disse que deve haver fluência em matemática, um conhecimento da mecânica e da dinâmica, e uma consciência sobre a importância da medida. Mas também havia um outro pré-requisito - o conhecimento da linguagem necessária para assimilar os textos de outras pessoas e para se expressar adequadamente. No ano de sua morte, 1907, Kelvin

mencionou que - “Um jovem deve ter aprendido por volta dos doze anos a escrever em sua própria língua com precisão e alguma elegância; deve ter um conhecimento de leitura em francês, deve ser capaz de traduzir autores que escrevem em latim e em grego simples, e ter alguma familiaridade com alemão. Tendo estudado assim o significado das palavras, um jovem deve estudar lógica”.

Sua própria infância foi excepcionalmente interessante. Nascido em Belfast em 26 de junho de 1824 como William Thomson a verbosidade irlandesa adquirida em sua infância foi fortemente amenizada pela cautela herdada de seus ancestrais predominantemente escoceses. Exceto por um curto período em uma escola de alfabetização, William foi educado totalmente em casa, principalmente por seu pai e por sua irmã mais velha. Podemos fazer uma imagem sua a partir de uma descrição no livro de Agnes King - *Kelvin, the Man* - como uma criança de quatro anos, vestida com suas roupas infantis, sentada em uma mesa com globos celestes e terrestres, ouvindo seu pai descrever as maravilhas da astronomia (seu pai tendo se levantado às 4 horas da manhã para trabalhar em um dos livros que estava escrevendo). Em 1830 faleceu a mãe de William, deixando uma família de sete pessoas, e em 1832 James, o pai, levou sua jovem família para Glasgow, ao ser nomeado professor de matemática na Universidade de Glasgow. Quase que imediatamente William começou a assistir aulas na universidade, embora não oficialmente. Temos uma descrição deste jovem loiro frequentando aulas de lógica, grego, filosofia moral, etc., cercado por estudantes com o dobro de sua idade. Com a idade de

\*Tradução por A.K.T. Assis, Instituto de Física ‘Gleb Wataghin’, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil. E-mail: assis@ifi.unicamp.br. Homepage: <http://www.ifi.unicamp.br/~assis>. O tradutor agradece a M.N. Tamashiro pelas sugestões.  
\*\*Publicação autorizada pela American Association of Physics Teachers, detentora dos direitos.

dez anos William matriculou-se como um estudante formal, e ganhou vários prêmios durante seus cinco anos em Glasgow. Tornou-se então um estudante na Universidade de Cambridge durante os próximos cinco anos.

Em 1846, com a idade de 22 anos, William Thomson foi nomeado professor de filosofia natural na Universidade de Glasgow.

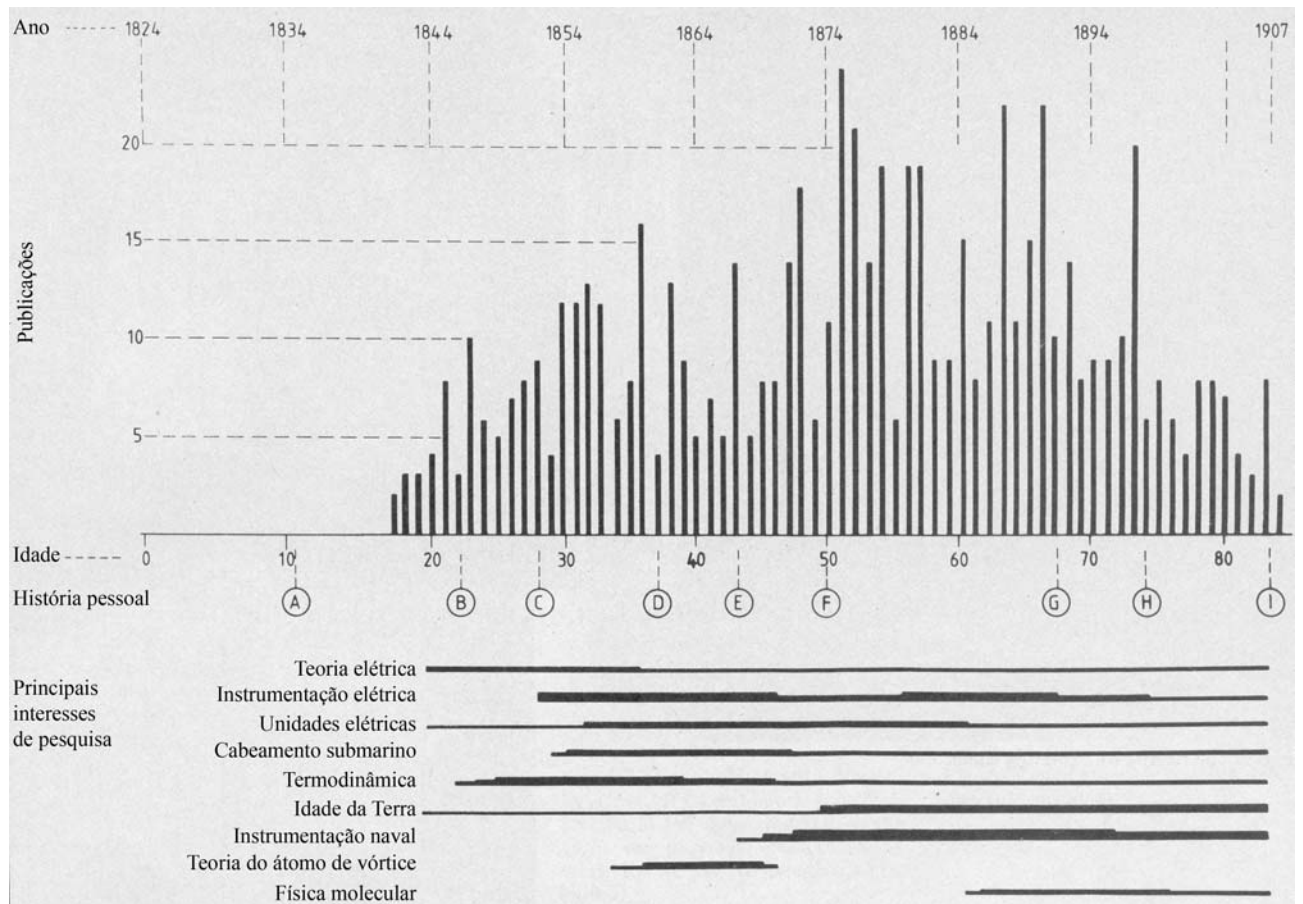


Figura 1 - A vida de Lorde Kelvin. A) Matrícula na Universidade. B) Torna-se professor universitário. C) Primeiro casamento. D) Acidente sério. E) Título de cavaleiro. F) Segundo casamento. G) Pariato. H) Aposenta-se como professor. I) Morte.

Gostaria agora de dar uma descrição de seus predecessores nesta antiga função. O ensino de física começou na universidade em sua fundação, em 1451, sendo realizado por “regentes” até que fosse nomeado o primeiro “professor catedrático”, em 1727. Um destes regentes, sobre quem muito conhecemos, foi George Sinclair, Regente a partir de 1654. Sinclair era um especialista em hidrostática, e em um de seus livros sobre astronomia escreveu: “Deus não está preso a números; apesar disto, realiza seus Trabalhos através do Número, do Peso e da Medida”. Isto representa de maneira apropriada a atitude do próprio Kelvin. John Anderson, professor de 1757 até 1796, ministrou aulas durante muitos anos para os artesãos da cidade. Ele é considerado um pioneiro da educação para os trabalhadores. Quando Anderson tornou-se professor, havia um

fabricante de instrumentos ligado à universidade que iria tornar-se um dos maiores engenheiros que já existiu - James Watt. Enquanto Watt estava reparando o modelo de máquina de Newcomen que pertencia ao departamento, inventou o “condensador separado”. Isto melhorou de tal forma a eficiência das máquinas a vapor que se acredita que esta invenção marcou o início da Revolução Industrial. Com estes predecessores pode-se entender melhor a atitude intensamente prática de Kelvin no que diz respeito ao ensino de ciência. Pode-se também apreciar sua expressão favorita - “Se posso construir um modelo mecânico de uma coisa, então posso compreendê-la”.

Certamente o século XIX foi um período extremamente fecundo na física. As novas ciências da corrente elétrica e da termodinâmica, em particular, estavam

penduradas como frutas maduras e foi Kelvin quem fez boa parte da colheita. A corrente elétrica havia surgido repentinamente e de maneira inesperada em 1790. Ao redor de 1830 havia sido descoberta a maioria dos efeitos práticos (e recomenda-se ler o texto *Natural Philosophy*, publicado pela *Society for the Diffusion of Useful Knowledge* (Sociedade para a Difusão do Conhecimento Útil), para uma descrição fascinante do estado da arte na época). Michael Faraday, trabalhando com uma intuição maravilhosa, era talvez o principal responsável por estas descobertas, mas foi Kelvin, seguindo Weber e Gauss, quem insistiu em que o ramo da corrente elétrica não se tornaria uma ciência até que medições fossem possíveis. Foi Kelvin quem fez mais do que qualquer outro para a institucionalização do volt, amp, ohm, etc., como padrões de medida. Pode-se dizer o mesmo no que diz respeito à termodinâmica, na qual Kelvin e seu amigo, J.P. Joule, produziram conjuntamente uma nova ciência.

Várias descobertas estavam acontecendo. As aulas de Kelvin eram notoriamente afetadas pelo fato de que ele, enquanto falava aos estudantes, era freqüentemente absorvido por novos pensamentos que tinham acabado de lhe ocorrer! A situação era particularmente insatisfatória no que diz respeito aos livros didáticos. Em 1867 Kelvin e P.G. Tait, de Edimburgo, produziram o livro *Treatise of Natural Philosophy* (chamado de  $T$  e  $T'$ , cognomes de Thomson e Tait) que tornou-se um marco na jornada subsequente visando a melhoria dos livros didáticos.

Depois de ter mencionado a formação e a motivação de Kelvin no que diz respeito ao ensino, gostaria agora de descrever algumas de suas demonstrações mais efetivas.<sup>1</sup> Deixarei para o epílogo uma descrição de seu método e performance como conferencista.

A primeira paixão de Kelvin foi por coisas mecânicas e, em particular, a ação de corpos em rotação. Uma de suas demonstrações mais estimulantes era de natureza mais simples possível: empregava apenas alguns ovos. Ela começa com Colombo vangloriando-se de que todas as coisas são possíveis, até mesmo equilibrar um ovo em pé. “Mas, ah”, diz Kelvin, “ele teria feito melhor se tivesse girado o ovo... mas apenas se o ovo estivesse bem cozido”. Ele então apresentaria um ovo assim, girando-o deitado, mostrando que ele se levantava e ficava de pé na posição “dormente”. Mostraria então um ovo cru, tentaria girá-lo, de fato fazendo isto com o ovo deitado, parava o ovo momentaneamente com seu dedo e mostrava, pela rotação subsequente do ovo, que a gema continuava a girar. Há muita física

de boa qualidade nestas operações simples e também muita diversão, especialmente se algum estudante esperto tivesse trocado o ovo cozido pelo cru antes da palestra começar. E havia ovos para o almoço na casa de Kelvin neste dia!

A habilidade de Kelvin de extrair bastante a partir de coisas muito simples contribuiu em alto grau para o seu sucesso. Ele podia demonstrar a inércia golpeando a moeda mais baixa para fora de uma pilha de moedas que havia tirado do bolso; ele mostrava a quase-rigidez de corpos flexíveis girantes ao rodar uma folha de papel em alta velocidade, golpeando-a em seguida com sua bengala (ele havia quebrado o fêmur ao jogar *curling* no gelo (jogo no qual os participantes deslizam discos lisos contra um alvo) em 1861 e daí por diante mancava bastante, necessitando do uso de uma bengala). Sua experiência com a corrente giratória era bem agradável. A corrente mostrada na Fig. 2 é girada na borda de um disco de madeira com um diâmetro de aproximadamente 8 polegadas (20 cm) - eu utilizo uma velocidade de aproximadamente 1800 rpm, mas provavelmente uma velocidade ainda maior seria melhor. A corrente é deslocada da borda utilizando uma lâmina de metal, e isto tem de ser feito cuidadosamente e lentamente, pois algumas vezes a corrente vai repentinamente para trás. Cobre-se de pano o banco abaixo da roda: quando a corrente toca a superfície, ela começa a se deslocar em alta velocidade e se ela atinge um obstáculo baixo ela voa no ar e pula ao retornar à terra. Kelvin também gostava de mostrar seu modelo da Terra em precessão (Fig. 3). Ele mostraria a Terra fazendo uma precessão completa em um círculo - “E agora, senhores, passaram-se 26.000 anos!” Era comum ser entregue a um estudante sua “roda de reação” (“giróstato”<sup>2</sup>), Fig. 4, apoiada em uma suspensão Cardan. Mantida horizontalmente, e girando nas mãos estendidas na mesma direção em que o giróstato estava girando, nada acontecia - mas, ao girar na direção oposta, o giróstato ergue-se perfazendo uma volta de 180° convulsivamente, dando ao portador uma torção bem desagradável! A piada de Kelvin era - “Gostaria de adaptar uma destas rodas escondida por baixo da bandeja de um garçom e de observá-lo enquanto tenta servir as bebidas”. Uma das mais belas demonstrações de Kelvin era a “pirâmide de giroscópios”. Aparentemente ele conseguia apoiar em seu dedo três giroscópios, um sobre o outro. Certamente ele deve ter sido muito hábil para fazer isto - e com certeza ele não teria feito isto com os giroscópios da Fig. 5. Estes últimos giroscópios são produtos de seus sucessores, Andrew e James Gray,

<sup>1</sup>Muitas das demonstrações de Kelvin tornaram-se padrões em aulas de física e estão descritas em livros tais como R.M. Sutton, *Demonstration Experiments in Physics* (McGraw-Hill, New York, 1938) e H.F. Meiners, *Physics Demonstration Experiments* (Ronald Press, New York, 1970).

<sup>2</sup>Sólido animado de um movimento de rotação rápida em torno de seu eixo, permitindo a estabilização em direção a este eixo (N.T).

que se especializaram no assunto, e eles giram ao redor de 15.000 rpm acompanhados por muito barulho e um certo perigo.

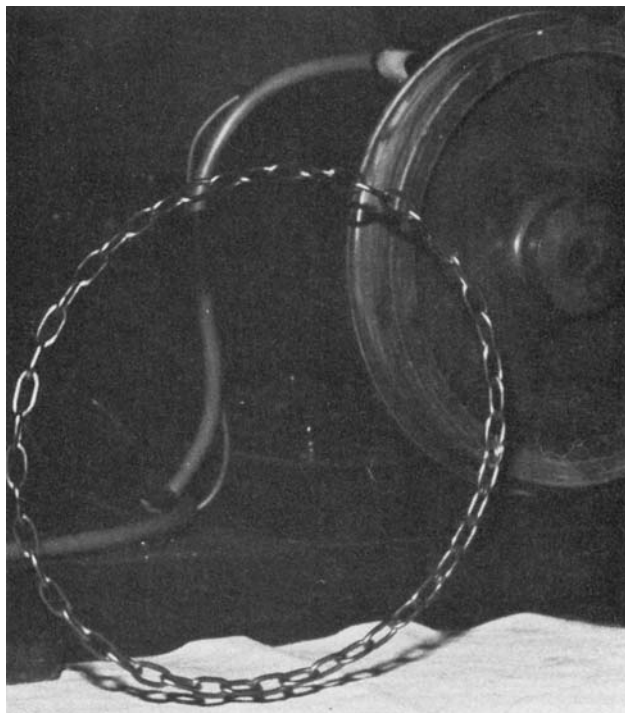


Figura 2 - A rigidez de uma corrente girando.



Figura 3 - Modelo de Kelvin da Terra com precessão. O globo, apoiado no centro de gravidade, mostra a precessão dos equinócios pela haste rolando e pressionando contra o anel limitador.

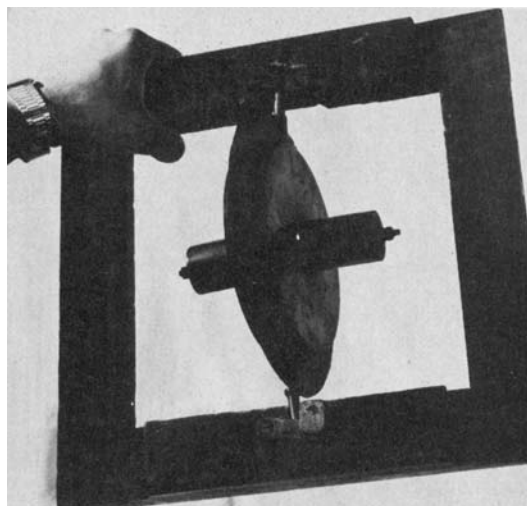


Figura 4 - Roda de reação (giróstato) no suporte.



Figura 5 - A pirâmide de giroscópios. Variante de Gray. Se o eixo de suporte girar na mesma direção que os giroscópios, a pirâmide “adormece” verticalmente. Uma demonstração muito tensa.



Sobre o mesmo tema de comportamento dos corpos em rotação, existem várias experiências de anéis de fumaça que são tanto divertidas quanto inspiradoras. A caixa dos anéis de fumaça de Kelvin é muito grande - Fig. 6 (tenho de dizer que todas as experiências de Kelvin preenchiam o primeiro requisito de uma boa demonstração - elas tinham de ser facilmente vistas). As aberturas, que têm um diâmetro de 7 polegadas (18 cm), são feitas em ranhuras na parte frontal da caixa. A caixa é preenchida com fumaça que penetra através de buracos laterais, sendo a abertura tampada, temporariamente, com uma folha de papelão. Como fumaça Kelvin aparentemente utilizava ar atravessando borbulhadores de ácido nítrico e amônia, mas nunca fiz isto, achando ser um pouco anti-social espalhar estes vapores. Pessoalmente, gosto de usar fumaça de tabaco. Tenho um cachimbo de argila com um grande tampão no cabo e o acendo, mostrando uma grande satisfação, antes de começar a demonstração dos anéis de fumaça. O cachimbo é então inserido, primeiro o forninho, em um grande tubo e a outra extremidade deste tubo é soprada de tal forma que saia fumaça do cabo.<sup>3</sup>

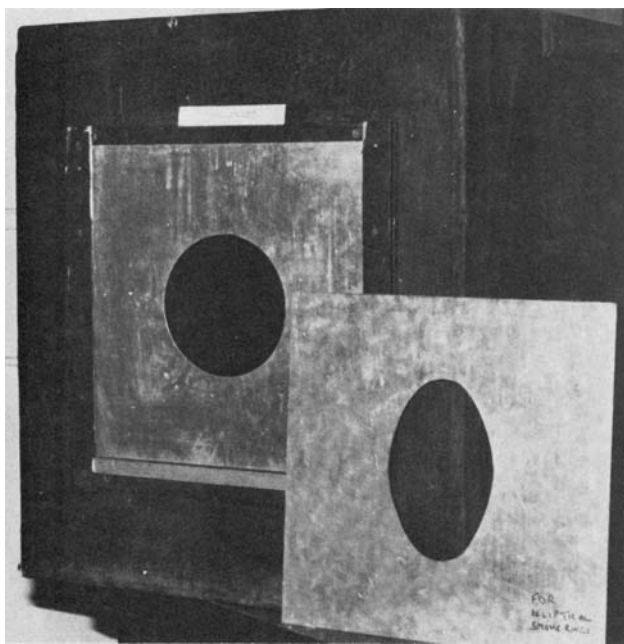


Figura 6 - A caixa de anéis de fumaça de Kelvin (incluindo régua de seis polegadas).

Preciso dizer neste ponto que introduzo a demonstração utilizando inicialmente anéis sem fumaça. A abertura é direcionada para uma vela acesa que está a uns 15 pés (5 m) e, se a pontaria é boa, a vela é apagada. Depois a caixa é direcionada para uma parte da audiência e isto é bem eficaz, pois nada acontece imediatamente quando se bate na membrana - mas depois de aproximadamente um segundo, o cabelo ou a roupa são afetados, de uma maneira fantasmagórica, quando o

redemoinho colide. A demonstração real é muito boa: os anéis circulares de fumaça, iluminados por trás da caixa através de um feixe projetor, estando a sala pelo contrário escura, avança majestosamente através do auditório. Pode-se interpor uma superfície rígida para refletir os anéis. Pode-se produzir um efeito ainda mais agradável utilizando uma abertura elíptica. O anel oscila, de eixo para eixo, na medida em que avança. Acredito que Kelvin fazia uma outra coisa que nunca tentei, e que é lançar *metade* de um anel de fumaça. Ele fazia isto colocando uma partição através da caixa, dividindo a abertura em duas partes iguais, produzindo assim um anel no qual a fumaça circulava apenas na metade da circunferência. Produzir anéis de fumaça era muito popular nas décadas de 1860 e 1870, sendo por esta época que Kelvin desenvolveu sua teoria do “átomo de vórtice” - ou seja, de que as partículas poderiam ser vórtices de energia e apresentariam rigidez e elasticidade. O amigo de Kelvin, P.G. Tait, de quem temos parte da correspondência na Biblioteca da Universidade de Glasgow, também tinha um repertório interessante. Em uma carta ele sugere usar uma caixa em miniatura preenchida de água colorida com tinta, submersa em um recipiente de água transparente. Os anéis de tinta assim produzidos são muito interessantes, mas a experiência pode ser melhorada se for adicionado um alvejante ao volume de água transparente. Obviamente, a televisão é essencial para mostrar isto para uma grande audiência.

Existem duas outras experiências grandiosas associadas com Kelvin. A primeira simplesmente demonstra o momento linear, a determinação da velocidade de uma bala de rifle em sala de aula. Ainda temos o pêndulo balístico de Robin utilizado por Kelvin, Fig. 7; é uma estrutura alta na qual está apoiado, em bordas afiadas, um grande tubo de metal, preenchido com chumbo e com um tampão de madeira na entrada. E ainda temos a espingarda de elefante, carregada pela boca e completa com molde manual para fazer as balas de chumbo. Antes de atirar com a espingarda, Kelvin costumava colocar algodão em seus ouvidos e aconselhava seus estudantes a fazerem o mesmo. O estrondo deve ter sido gigantesco em sala de aula, mas ninguém ainda vivo o escutou. Não temos permissão para disparar a espingarda. Uma das experiências mais memoráveis que já presenciei foi esta, realizada por P.I. Dee, professor de filosofia natural de 1943 até 1973, na Conferência do Quinto Centenário em 1953. Ele utilizou uma espingarda de serviço, ajoelhou-se e atirou cuidadosamente no pêndulo. Houve um ruído estrondoso da espingarda, e o pêndulo oscilou regularmente. Também houve um grande barulho de trás de uma cortina onde alguém havia solto um grande peso em um recipiente metálico cheio de vidro, para aumentar o realismo da cena. Mas ouviram-se também duas pancadas

<sup>3</sup>Existe uma certa aura de misticismo na maneira com a qual o lado oposto, de lona, é golpeado; isto só pode ser aprendido com a prática.

no banco ao lado; sendo devidas a dois pombos mortos que haviam sido escondidos, sem que o Professor Dee soubesse, no teto de 50 pés (15 m) de altura do auditório, sendo soltos magneticamente. Muito elaborado, pode-se dizer, mas ainda encontro pessoas que se lembram da ocasião com grande prazer.

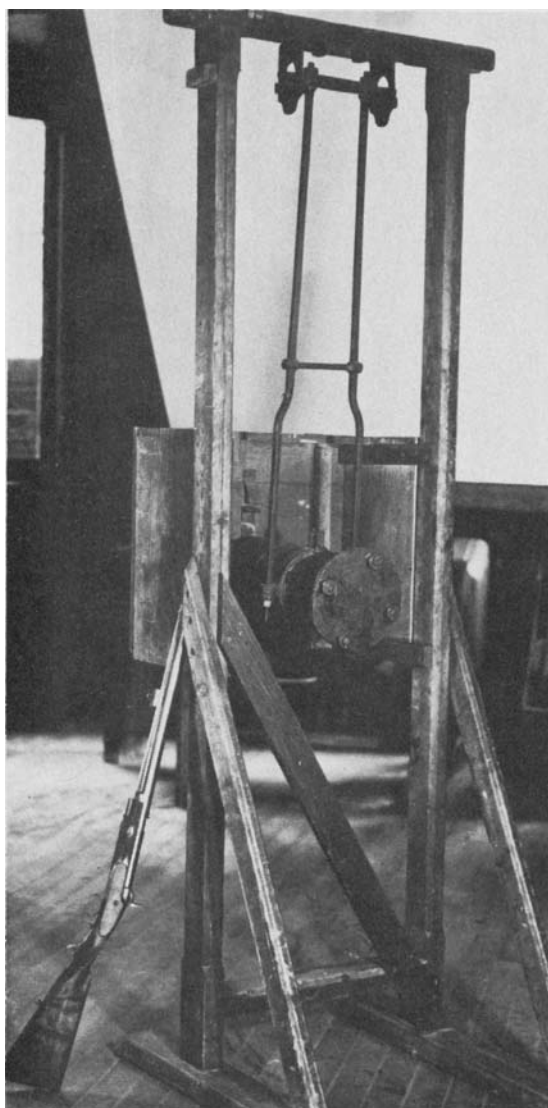


Figura 7 - A espingarda de elefante e o pêndulo balístico de Robin, vista de trás.

A outra experiência espetacular era uma que Kelvin sempre realizava no último dia letivo. Ela é chamada de “gota de orvalho tremulante”, e como sua gota de orvalho continha até 200 libras (91 kg) de água, e o auge da experiência é que a gota explode, compreende-se facilmente o motivo de ser a última demonstração! O instrumento consiste em um funil invertido de metal apoiado por um tipo de pórtico, com 7 pés de altura (2 m). Amarra-se fortemente uma membrana esticada de borracha através da face do funil, que tem um diâmetro de 10 polegadas (25 cm), e no bico solda-se um tubo de metal com 4 pés de altura (1,2 m). Embaixo fica um grande recipiente, ao redor de 4 pés cúbicos (0,1 m<sup>3</sup>).

Kelvin costumava ter um funil adicional acima do bico e uma escada que um homem ficava sempre subindo, carregando baldes de água. Tudo muito agitado! Hoje em dia simplesmente ligamos uma mangueira a uma torneira (Fig. 8).

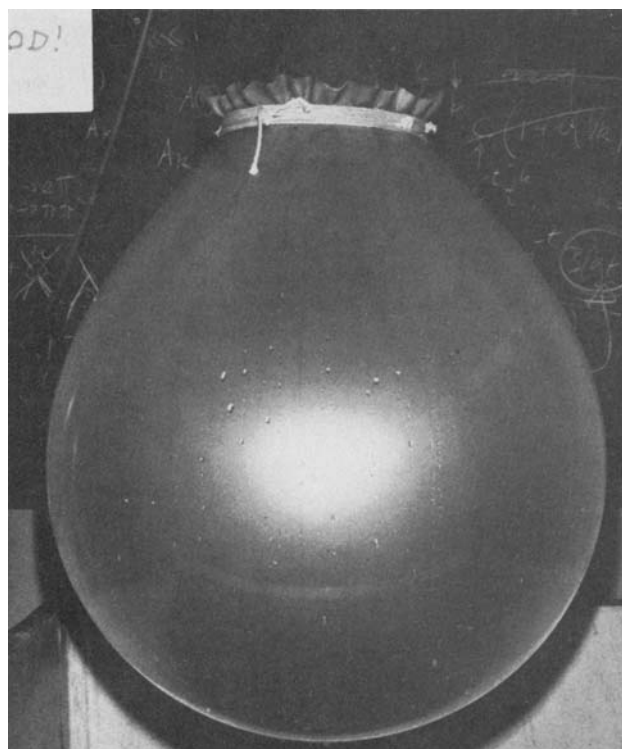


Figura 8 - A “gota de orvalho tremulante”. Uma gota pesando 200 libras (91 kg). (Fotografada aqui durante uma exposição de um dia para comemorar o 250° aniversário da cátedra. A borracha utilizada tinha uma espessura de 1/16 polegadas (0,16 cm). Uma borracha mais fina melhoraria o formato.)

A membrana inicialmente assume um formato hemisférico; ela logo se dilata ficando esférica; ela cresce e torna-se mais pendular; ela torna-se pesada. Kelvin costumava empurrá-la com sua bengala para fazê-la oscilar. Quando atinge 20 polegadas (51 cm) de diâmetro ela pode ser empurrada para cima: ela então levanta-se e abaixa-se alternadamente com toda a majestade de um alegre elefante. Aparentemente Kelvin era muito hábil em apontar abaixo dela as distorções em uma malha retangular que ele havia marcado de antemão na borracha - e em mover-se para trás logo antes da borracha estourar. Eu mesmo já me ensopei em várias ocasiões. A experiência sempre termina com gargalhadas e aplausos incrédulos. Não a realizo muito frequentemente.

Kelvin gostava muito de demonstrar as propriedades da cera de sapateiro, ou piche. Ele o comparava com o “éter”, sendo que ele tinha um grande interesse em sua possível presença e constituição. Ele indicava que o piche, como o éter, tinha uma certa propriedade dual; moldado como um sino ele podia tocar (podia transmitir altas frequências), mas também permitia o movimento lento, através dele, de matéria sólida. Na

sala de aula havia sempre uma tigela de piche, com corpos de madeira flutuando nele e corpos metálicos afundando. No Museu Kelvin temos a venerável “geleira de piche” que ele começou em 1887. Ela consiste em degraus de madeira no topo da qual colocou uma lâmina de piche. Hoje em dia a geleira está totalmente desenvolvida (Fig. 9).



Figura 9 - A geleira de piche de Kelvin, iniciada em 1887.

As aulas de Kelvin sobre corrente elétrica não deixaram recordações - além de um museu cheio dos instrumentos que inventou! Suas aulas de óptica sempre foram, parece, um curso muito corrido, na verdade foi apenas quando ministrou uma famosa série de palestras sobre a teoria ondulatória da luz, em Baltimore em 1884, que ele parece ter percebido pela primeira vez a verdadeira beleza do assunto. Penso que suas palestras sobre acústica eram provavelmente bem memoráveis. Ele era um músico bem entusiasmado e temos muitos de seus instrumentos, incluindo sua trompa francesa, com a qual costumava ilustrar suas palestras.

Um assunto que recebeu atenção especial foi a eletrostática. Os armários do auditório têm uma boa coleção de instrumentos, muitos do século XVIII, in-

cluindo vários tipos de máquinas, uma balança de Coulomb feita por Pixii de Paris, antigas garrafas de Leiden, um canhão elétrico<sup>4</sup> e um “ovo elétrico”.<sup>5</sup> Kelvin tinha sempre à mostra na sala de aula um de seus eletrômetros conectado a uma esfera de cobre ligada à parede externa. Os estudantes eram encorajados a ficar de olho no estado da eletricidade atmosférica; o eletrômetro também era ocasionalmente ligado a um gerador eletrostático de gotas dependurado no teto. Isto me traz a uma descrição de uma máquina que Kelvin mostrava em ocasiões especiais mas provavelmente não em sala de aula: sua máquina elétrica gotejante.

Obviamente sempre soube do gerador eletrostático gotejante, mas o modelo do próprio Kelvin não sobreviveu e pensei que o instrumento era de pouco interesse. Contudo, ao redor de dois anos atrás, recebemos a visita de um professor americano, Thomas B. Greenslade, Jr., do Kenyon College, em Gambier, Ohio. Me lembro disto com um prazer especial. Discutimos, entre outras coisas, o gerador gotejante de Kelvin. Eu não tinha nada a mostrar e fiquei determinado privadamente a retificar esta situação! Olhei novamente nos projetos de Kelvin e percebi que, transformado com materiais modernos, o instrumento poderia ser feito de forma muito eficiente e poderia até mesmo ser bonito esteticamente, devido à sua simetria e simplicidade. Assim construí um instrumento pequeno; então um maior, e assim sucessivamente. Na última vez em que contei havia construído seis deles, jurando depois de cada um que seria o último que faria, mas a cada vez me ocorria uma idéia nova. Ultimamente tive um pressentimento bem claro, pois algumas vezes me encontro pensando na possibilidade de fazer uma fonte eletrostática para o jardim!

Em sua máquina original Kelvin utilizava garrafas de Leiden que continham ácido sulfúrico concentrado e eram provavelmente muito boas (Fig. 10a). O projeto modificado utiliza lucite como sendo o dielétrico para o capacitor e toda parte da máquina é apoiada por este capacitor, Fig. 10b. Esta característica, além da adição de uma blindagem pulverizada, garante tanto quanto possível que o imprescindível isolamento elétrico não é afetado pela água. Os principais materiais para construir as máquinas incluem os seguintes. O isolamento elétrico por lucite tem uma espessura de 1,5 mm. Os jatos de água são feitos a partir de alguns milímetros de agulha hipodérmica, com furo de 0,6 mm. Para as partes metálicas utilizo bastante tubos de cobre, tanto na forma cilíndrica quanto achatados; estes tubos têm um furo de 6 mm e uma espessura de parede de 1 mm. Também utilizo folhas de cobre ou de outro metal, com a borda curvada para dentro. É importante não ter bordas pontiagudas em qualquer parte metálica. A plataforma de gaze, utilizada nos coletores, tem 20 fios para 1 cm. Todas as máquinas parecem faiscar na mesma

<sup>4</sup>Um grande canhão de latão que disparava uma carga de pólvora.

<sup>5</sup>Um recipiente de vidro com o formato de um ovo contendo eletrodos, sendo que podia ser produzido vácuo em seu interior.



taxa, de 3 a 5 s. Raramente elas foram afetadas pela umidade, de fato apenas uma vez fui obrigado a utilizar um secador de cabelo nas máquinas para fazê-las começar a funcionar. Obviamente a potência da faísca depende da capacidade e também da taxa com que caem as gotas de água. Praticamente todas as máquinas possuem cada uma vários jatos que podem estar agrupados ou espaçados tendo uma distância mínima de apenas 2 mm entre eles. Um ponto interessante é que os jatos se separam na medida em que as cargas elétricas se acumulam. Na maior máquina, a “máquina de relâmpagos”,

(Fig. 12), existem ao todo 46 jatos: o capacitor tem ao redor de 500 pF, a faísca alcança até 2 cm de comprimento e é viciosa. A máquina de relâmpagos é de fato muito surpreendente; existe tanta água envolvida que não se esperaria que funcionasse. Para ser bem honesto, fico perplexo; ver todos os jatos caindo em dois coletores que estão separados por 20 kV parece bem impossível; talvez seja de fato verdade que a gaze dentro do coletor esteja em um potencial bem baixo - pois a carga vai imediatamente para o lado de fora do recipiente!

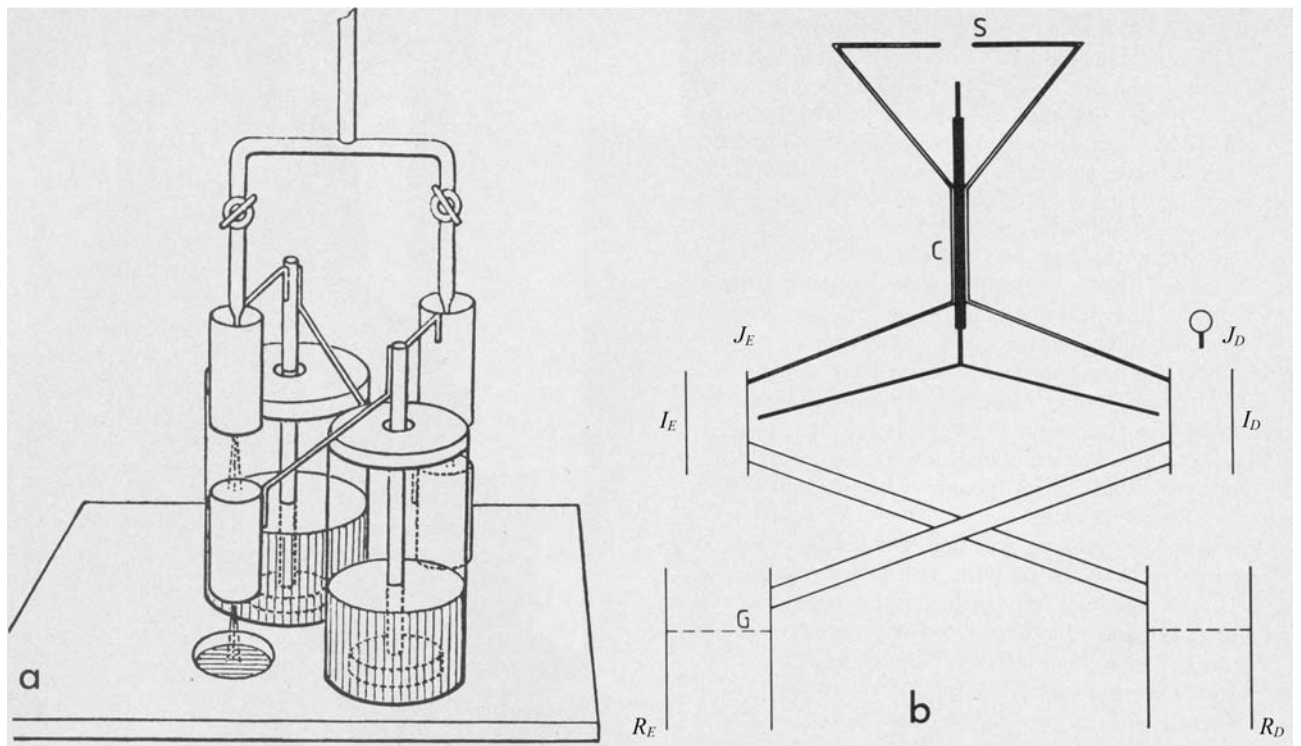


Figura 10 - **a**: O gerador eletrostático gotejante original de Kelvin, de 1867. **b**: Gerador eletrostático gotejante, variante básica prática de Lloyd. Se o indutor da esquerda  $I_E$  for carregado positivamente, +, ele induzirá uma carga negativa, -, nas gotas caindo no recipiente coletor da esquerda  $R_E$ . O indutor da direita  $I_D$ , ligado a  $R_E$ , também é carregado negativamente, -, induzindo uma carga positiva, +, nas gotas caindo no recipiente coletor da direita  $R_D$ . O capacitor  $C$  é carregado por este processo 100% retroalimentado.

O próprio Kelvin descreve a ação de uma forma bem mais sucinta do que eu sou capaz. Ele diz (Proc. Roy. Soc., junho de 1867) "... arranjo recíproco, no qual o corpo carregado pelas gotas de água torna-se o indutor para um outro feixe, sendo que as gotas deste feixe, por sua vez, mantêm a carga do indutor do primeiro feixe". Talvez a única dificuldade se relacione à pequena carga inicial que tem de ser suposta como estando presente em um dos indutores. Kelvin resolveu este problema de maneira bem elegante promovendo a idéia de que um indutor pudesse ser feito de zinco e o [indutor do] jato adjacente de cobre, produzindo assim uma pequena di-

ferença de potencial. Na prática as máquinas descritas são arranjos simétricos, e embora possa haver alguma dificuldade em começar quando são novas - e com isto quero dizer que elas podem não começar a funcionar por um ou dois minutos - quase sempre não existem problemas subsequentes, devido à carga residual.

Penso que as máquinas são mais instrutivas do que os geradores Van de Graaff; elas certamente são muito surpreendentes e possuem a simplicidade que é tão desejável em uma boa máquina. Incidentalmente o gerador eletrostático gotejante é considerado como o primeiro ancestral do Van de Graaff.



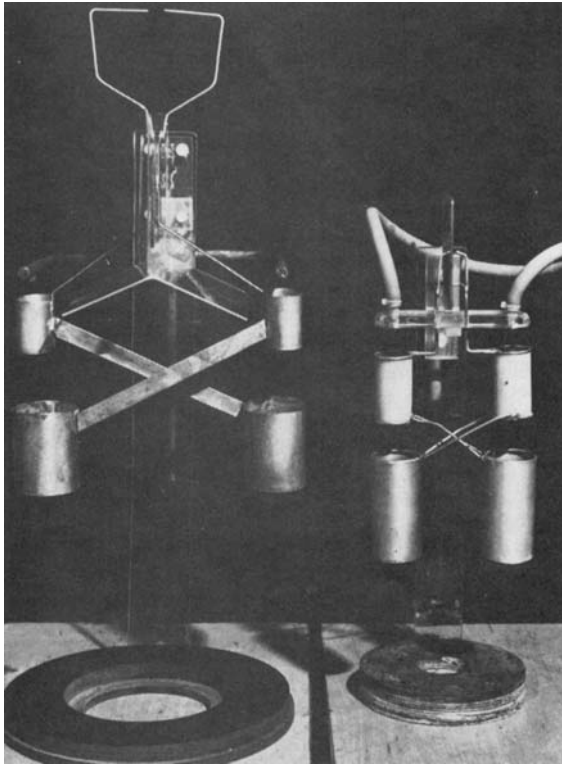


Figura 11 - Modelos simples do gerador eletrostático gotejante, gerando faíscas de aproximadamente 1 cm.

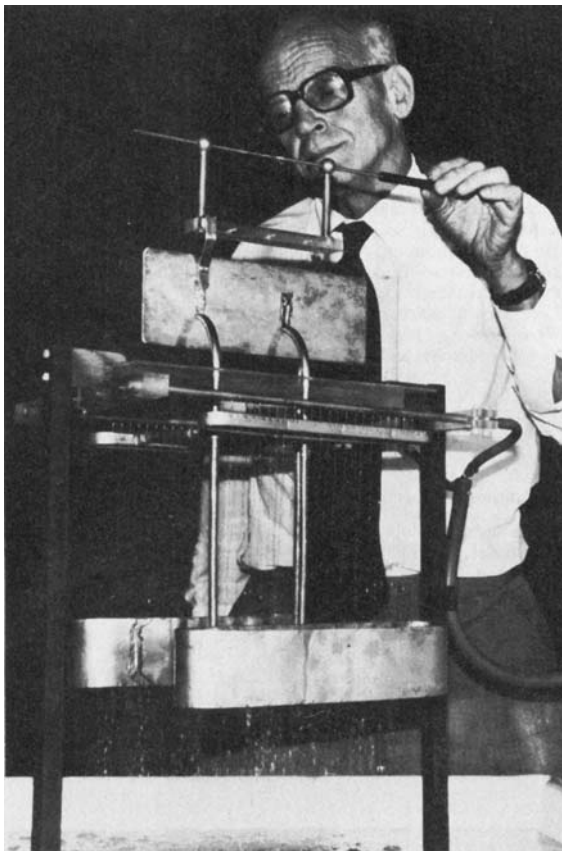


Figura 12 - A “máquina de relâmpagos”, gerando faíscas de até 2 cm. São essenciais bordas plásticas e drenagem adequada.

Mencionei anteriormente que Kelvin, ao dar aulas, era inclinado a falar acima da capacidade de compreensão de seus estudantes. Isto era exacerbado por uma peculiaridade no sistema de ensino de Glasgow, a saber, que os estudantes de teologia tinham de ter aulas de Filosofia Natural - e, obviamente, a maioria deles não estava muito interessada neste assunto. Embora estes estudantes formassem a maior parte da classe do primeiro ano, não havia dúvida de que Kelvin tinha a tendência de dar aulas para o nível daqueles que fossem continuar em física. Ele tinha um instrumento que era muito eficiente em induzir um interesse naquilo que tinha para dizer; que era chamado de “a Caixa do Purgatório” (Fig. 13). A caixa era preparada todo dia e possui três compartimentos - Purgatório, Céu e Inferno. Ele costumava escolher nomes em pedacinhos de papel do “Purgatório”, fazer perguntas a cada uma das pessoas nomeadas e, finalmente, depositar os pedacinhos de papel no “Céu” ou no “Inferno”, dependendo do mérito das respostas.

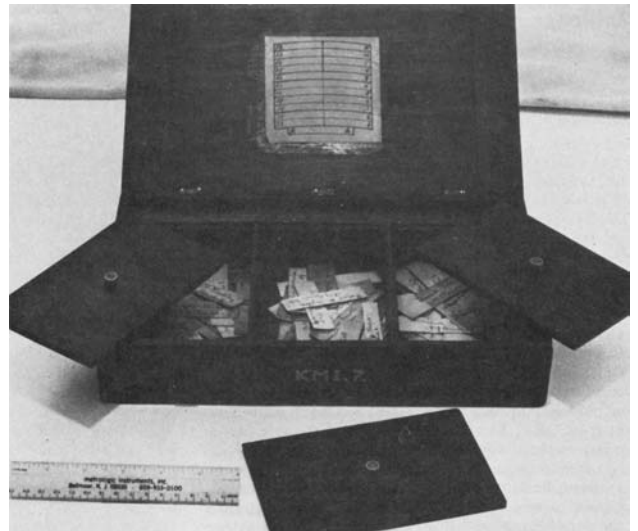


Figura 13 - A Caixa Purgatória de Kelvin. Utilizada para avaliações diárias.

Apesar destas histórias, acredito que para o estudante sério de física Kelvin era um professor altamente eficiente. Várias pessoas muito inteligentes não deixam dúvida em relação a isto. David Murray, que foi um estudante de Filosofia Natural no final da década de 1850, tem o seguinte a dizer sobre ele (em seu livro *Memories of the Old College of Glasgow*) - “Lorde Kelvin possuía o dom da exposição clara em linguagem comum notavelmente livre dos termos técnicos. Ocasionalmente ia além do alcance da maioria da classe, mas não havia obscuridade nas suas afirmações, o assunto estava simplesmente além do alcance dos alunos”, “Ele ...não usava anotações ao ministrar aulas”. “Estava sempre sério, e ao lidar com problemas importantes, falava com o fervor de um missionário sobrecarregado com uma mensagem significativa”. “Era uma visão estranha observá-lo enquanto tornava-se cada vez mais

ansioso na sua exposição; parecia brilhar uma luz acima de sua testa como uma emanção”. “Possuía uma personalidade única; um gênio da maior magnitude associado com um julgamento bem embasado e com habilidade prática; uma seriedade veemente e reverência profunda; com uma modéstia e simplicidade de caráter raramente encontradas”. De fato, um elogio completo!

Obviamente, também deve ser considerado o lado complementar do ensino - trabalho prático de laboratório. Atribui-se a Kelvin a introdução das primeiras aulas práticas que já houve em física, em 1848. Contudo, parece que Kelvin utilizava os “Assistentes de Laboratório” para ajudá-lo em suas próprias pesquisas - um arranjo bem satisfatório para o professor e claramente uma oportunidade muito privilegiada para os alunos. Algumas pessoas muito famosas passaram pelos laboratórios de Kelvin. Recentemente tivemos o prazer de descobrir que um de seus alunos de laboratório em 1887 foi Gerard Philips, pesquisando sobre instrumentação e a calibração das “lâmpadas incandescentes”. Foi ele, juntamente com seu irmão, quem fundou a firma Philips Gloeilampenfabrieken de Eindhoven, que é, aparentemente, a maior empresa do mundo fora dos Estados Unidos da América.

Finalmente, tenho de relatar que uma coisa notável aconteceu recentemente: uma gravação em gramofone feita por Lorde Kelvin e mantida, sem que soubéssemos, nos fundos do Museu Britânico foi descoberta pelos esforços de um estudante - acredite ou não - na Tasmânia. O Museu Britânico deu permissão ao Museu Kelvin de possuir uma cópia. Kelvin, neste antigo disco, e no último ano de sua vida, está fazendo uma leitura de um artigo seu publicado na *Philosophical Magazine*, descrevendo uma possível explicação para a radioatividade dos elementos pesados (baseada, novamente, em princípios mecânicos).

Portanto, posso dizer com segurança o seguinte. Lorde Kelvin falava com um sotaque escocês bem marcante - embora algumas pessoas concordem comigo que há um pouco de irlandês na sua fala. Ele possuía uma boa articulação, especialmente considerando sua idade avançada e a natureza primitiva da gravação. Obviamente ele tinha um grande estilo de exposição, havendo autoridade e convicção plena em toda sílaba que pronuncia. É lamentável que sua teoria do átomo - o “átomo de pudim de ameixas” - não seja a teoria correta, mas ao menos podemos dizer com certeza hoje em dia, que Lorde Kelvin foi um grande orador - e um grande professor.

## Leia mais

- [1] S.P. Thompson, *Life of Lord Kelvin* (Macmillan, Londres, 1910), 2 volumes (Esta é a biografia oficial, que começou em 1906).
- [2] A. Gray, *Lord Kelvin* (J.M. Dent, Londres, 1908). (Gray foi um aluno de Kelvin e mais tarde seu assistente. Também foi seu sucessor).
- [3] D. Murray, *Memories of the Old College* (Jackson, Wylie, 1927).
- [4] G. Green e J.T. Lloyd, *Kelvin's Instruments and the Kelvin Museum* (Glasgow University Publications, Glasgow, 1970). (O Dr. Green foi secretário científico de Kelvin).
- [5] Sir William Thomson, *Popular Lectures and Addresses* (Macmillan, Londres, 1891). (Estas fazem parte de suas palestras públicas e institucionais e constituem uma excelente leitura).
- [6] Lord Kelvin, *Baltimore Lectures on Molecular Dynamics and the Wave Theory of Light* (C.J. Clay and Sons, London, 1904). (Reunidas a partir de notas feitas por um estenógrafo e, portanto, uma descrição literal de suas palestras).

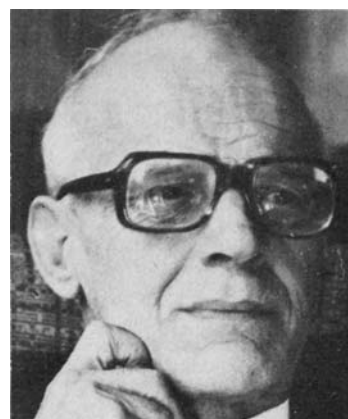


Figura 14 - J.T. Lloyd, autor deste artigo, recebeu um título *honoris causa* pela Universidade de Glasgow em 1961 por seu trabalho sobre os aceleradores e detectores de partículas, assim como por seus serviços ao Museu Kelvin. Ele é bem conhecido por suas palestras sobre Lorde Kelvin. Ele também exibiu suas próprias invenções incluindo o velocímetro falante que pode ser adaptado para ler todas as unidades e que pode ser usado no futuro por estudantes de ciência cegos (Department of Natural Philosophy, The University of Glasgow, Glasgow, G12 8QQ, Scotland).