

Ludwig Boltzmann, cujo centenário de morte se celebrou em 2006, foi não apenas um pensador original como também um cientista de múltiplos interesses. Além da sua obra pioneira em mecânica estatística, os seus trabalhos em electromagnetismo e as suas palestras sobre aeronáutica foram fundamentais para a aceitação da teoria de Maxwell na Europa, assim como para a formação da opinião pública em ciência e tecnologia na transição do século XIX para o século XX.

SÍLVIO RENATO DAHMEN

Instituto de Física da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul
91570-051 Porto Alegre RS
Brasil

Institut für Physik der Universität Würzburg
D-97074 Würzburg
Alemanha

silvio.dahmen@physik.uni-wuerzburg.de

LUDWIG BOLTZMANN

VIDA E OBRA

Em Setembro de 1906 encerrava-se, de forma trágica, a vida daquele que é considerado um dos maiores expoentes da Física do século XIX: Ludwig Boltzmann (1844-1906). O seu suicídio, fruto de um profundo estado depressivo que, segundo alguns dos seus biógrafos, teria sido causado pelos constantes ataques e incompreensão dos seus pares, parece não condizer com uma vida académica precoce e brilhante: com apenas 25 anos Boltzmann já havia sido nomeado para a cátedra de Física Matemática em Graz, vindo a ocupar posteriormente cátedras noutras distintas universidades, como Leipzig, Munique e Viena. Aclamado como físico e admirado como professor, mas incompreendido pela sua originalidade, Boltzmann teve uma vida cujas contradições reflectem de certo modo as grandes mudanças políticas e sociais da época em que viveu.

Se hoje, passado um século da sua morte, ainda nos lembramos de Ludwig Boltzmann acima de tudo como um dos criadores da mecânica estatística, a sua obra em física foi tão vasta e multifacetada quão multifacetados foram os seus interesses. De facto, esta universalidade, característica dos grandes físicos, teve em Boltzmann um de seus expoentes máximos. Ao longo de 41 anos de actividade como professor e pesquisador Boltzmann publicou 139 artigos sobre os mais diversos assuntos: trabalhos experimentais em electromagnetismo e acústica, teoremas sobre séries de Fourier, além de importantes contribuições para a mecânica, óptica e teoria da elasticidade. Foram porém as suas contribuições seminais para a termodinâmica e para a teoria cinética e o volume desta sua obra – 57% da totalidade dos seus artigos foram publicados nesta área – que fizeram dele o mais profícuo de entre os fundadores da mecânica estatística. Os seus trabalhos, não raro longos tratados de mais de cem páginas, ainda hoje são objecto de importantes estudos. A esta portentosa obra científica jun-

ZMANN:

taram-se artigos populares de cunho filosófico, histórico, assim como livros, elegias e resenhas.

Analisar Boltzmann, apesar de ser uma tarefa gratificante, constitui uma empreitada cercada de desafios em função do volume, da abrangência e da necessária contextualização histórica da sua vasta obra. Restringir-nos-emos assim a alguns aspectos que nos parecem mais relevantes por permitirem uma visão geral sobre a vida e a obra de tão importante cientista.

ESBOÇO BIOGRÁFICO

Ludwig Eduard Boltzmann nasceu em Viena em 29 de Fevereiro de 1844, na noite de terça-feira gorda para quarta-feira de cinzas. Este facto, como ele jocosamente gostava de lembrar, seria a razão pela qual o seu estado de espírito estava sujeito a súbitas mudanças, da mais efusiva alegria à mais profunda tristeza. O seu pai, Ludwig Georg, cujos antepassados se haviam mudado das regiões de Berlim e Frankfurt-am-Oder para Viena, era um funcionário fiscal.

A mãe Katharina, de baptismo Pauernfeind, provinha de uma família de pequenos comerciantes de Salzburgo. Boltzmann cresceu em Wels e Linz e, até à sua entrada no liceu em 1854, teve aulas sob a responsabilidade de tutores privados. Não apenas excelente aluno, Boltzmann era também excelente pianista, tendo sido estudante do ainda jovem compositor Anton Brueckner (1824-1896). A profunda paixão pela obra de Ludwig van Beethoven (1770-1827) só se comparava à sua admiração pelo poeta Friedrich Schiller (1759-1805), em quem constantemente buscou inspiração nos seus escritos populares. Em 1863, ano de conclusão da sua *Matura*, Boltzmann iniciou

estudos em matemática e física na Universidade de Viena, um período auspicioso dadas as reformas inovadoras que as universidades do Império então experimentavam. Em Viena encontrava-se o ainda jovem Joseph Stefan (1835-1893), que viria mais tarde a ser seu orientador de doutoramento, bem como Andreas Freiherr von Ettingshausen (1796-1878), um dos pioneiros das ciências exactas na Áustria. Também Christian Doppler (1803-1853), falecido alguns anos antes, aí deixara a sua profunda marca.



Fig. 1 - Ludwig Boltzmann numa gravura de August Steinberger para o frontispício da colectânea dos seus trabalhos.

Seis semestres após o seu ingresso na universidade, mais precisamente no dia 19 de Dezembro de 1866, Boltzmann recebeu o título de Doutor em Filosofia. Ainda estudante Boltzmann publicou dois artigos científicos e após o doutoramento concluiu os estudos em Física e Matemática ao completar um bem sucedido estágio prático no *Akademisches Gymnasium* de Viena no ano escolar de 1867/1868. Em 1869 foi nomeado para a cátedra de *Ordinarius* em Física Matemática na Universidade de Graz, cargo no qual permaneceu até 1873. A nomeação de Boltzmann para esta cátedra tem uma história interessante: com a abertura

da Faculdade de Medicina em Graz no ano de 1863, as autoridades universitárias viram-se diante da necessidade de melhorar consideravelmente a oferta de disciplinas em Ciências Naturais não apenas em quantidade mas principalmente em qualidade. A Física estava então representada por apenas um professor cuja capacidade face às novas exigências deixava muito a desejar. Foi assim criada uma vaga de *Extraordinarius* que, por questões políticas, foi mascarada sob a designação de Física Matemática. Ernst Mach (1838-1916), então *Ordinarius* do Instituto de Matemática, conseguiu que esta vaga fosse elevada à categoria de *Ordinarius*, vindo a ocupá-la até 1867. Quando trocou Graz por Praga um ano depois, a cadeira ficou novamente vaga e, ao ocupá-la em 1869, Boltzmann foi incumbido, entre outras coisas, de renovar os laboratórios do Instituto. Começava assim o seu longo envolvimento com a Física Experimental.

Os anos posteriores de Boltzmann foram marcados por uma produção científica crescente, de qualidade, bem como por várias mudanças de domicílio, muitas vezes ditadas por questões financeiras. Entre 1873 e 1876 Boltzmann foi *Ordinarius* de Matemática em Viena, para então retornar a Graz, onde ficou 14 anos na cátedra de Física Geral e Experimental. Foi o maior período que Boltzmann passou numa única universidade e, segundo as suas próprias palavras, os anos mais felizes da sua vida. No ano da sua mudança para Graz, 1876, Boltzmann casou-se com Henriette von Eigentler. Desta união nasceram três filhas e dois filhos. A esposa de Boltzmann, a primeira mulher a cursar a Licenciatura em Física Matemática em Graz numa época em que o acesso de mulheres à universidade não era permitido na Áustria, teve um efectivo apoio conjugal. Ao feliz período em Graz seguiram-se as cátedras de Física Teórica em Munique (1890-1894), Viena (1894-1900), Leipzig (1900-1902) e novamente Viena (1902-1906).

Durante a sua carreira científica Boltzmann viajou muito pelo estrangeiro. Muito importantes foram as visitas ao Instituto dirigido por Hermann Helmholtz (1821-1894) em Berlim. Foi aí que Boltzmann iniciou o seu envolvimento experimental com o Electromagnetismo (o contacto teórico já ocorrera com a sua tese de doutoramento). A sua atitude tipicamente “austríaca”, de bem com a vida, parece não ter gerado boas impressões na rígida capital prussiana, motivo pelo qual ele viria a renunciar à oferta de uma cátedra naquela cidade em favor de Munique.

Os últimos anos de Boltzmann foram marcados por crescentes problemas de saúde, entre eles a perda progressiva da visão e crises depressivas. Durante uma estadia de repouso na costa do Adriático, em Duino, Boltzmann suicidou-se no dia 6 de Setembro, um dia antes de regressar a Viena.



Fig. 2 - Caricaturas de Boltzmann (1904) feitas por K. Przibram, seu aluno e futuro genro.

A OBRA DE BOLTZMANN EM FÍSICA

Uma parcela significativa dos trabalhos de Boltzmann em Física foi voltada para a aplicação de conceitos mecânicos ao movimento de partículas microscópicas como um meio de compreender as propriedades macroscópicas da matéria. Esta sua predilecção por modelos mecânicos, que inclusive o aproximou de Maxwell, foi a espinha dorsal do seu *modus operandi* e colocou-o posteriormente em rota de colisão com grandes cientistas da sua época. A aplicação de ideias da mecânica na termodinâmica não teve a sua origem em Boltzmann, mas ele foi talvez quem mais contribuiu para completar o programa mecânico-atomístico no século XIX. Rudolf Clausius (1822-1888) demonstrara em 1857 que a energia térmica de um gás era a energia cinética das suas moléculas – por outras palavras, a Primeira Lei da Termodinâmica não era mais do que uma lei mecânica de conservação de energia aplicada às partículas do gás. A partir de 1859 James Clerk Maxwell (1831-1879) desenvolveu uma teoria de processos de transporte em gases através da introdução de um novo e importante elemento: uma lei de distribuição *estatística* de velocidades de moléculas. Porém, se Maxwell e Clausius conseguiram explicar muitas das propriedades dos gases ao remeter uma parte da Termodinâmica para os fundamentos da Mecânica, o que dizer da Segunda Lei? Como explicar a evolução temporal irreversível da maioria dos processos naturais, a chamada *flecha do tempo*, a partir de leis mecânicas reversíveis temporalmente? A Segunda Lei era assim um corpo estranho no caminho da fundamentação mecânica da Termodinâmica. Foi através da busca da solução deste paradoxo que Boltzmann nos presenteou com aquele que é, nas palavras de Erwin Schrödinger (1887-1961), o seu maior legado à Física: mostrar que o que nos parece impossível é, na realidade, apenas improvável. Nenhuma lei física é violada se estilhaços de um copo

que caiu ao chão se juntarem novamente. Nunca observamos tal evento pelo simples facto de a sua probabilidade ser inimaginavelmente pequena. Boltzmann mostrou de maneira inquestionável como o conceito de probabilidade é fundamental para a descrição da Natureza.

Em 1866 Boltzmann publicou o seu primeiro artigo na área, cujo título “Acerca do significado mecânico da segunda lei da teoria do calor” deixa claro o objectivo do seu autor. Ele marca o início de um programa que levaria Boltzmann a generalizar em 1868 o trabalho de Maxwell sobre a distribuição de velocidades para o caso geral de partículas em interacção e o manteria ocupado ao longo da sua frutífera carreira. Entre 1868 e 1871 Boltzmann publicou uma série de trabalhos onde não apenas fez sua a técnica desenvolvida por Maxwell como a estendeu consideravelmente. Mas mais do que isso, foi nestes trabalhos que Boltzmann generalizou o teorema da equipartição da energia e , do ponto de vista dos desenvolvimentos futuros, lançou as sementes daquela que viria a ser uma importante área de pesquisa até aos nossos dias: a hipótese ergódica. O cerne da questão está na interpretação da função de distribuição de velocidades $f(\vec{r}, \vec{v}, t)$ que, segundo Maxwell, representava uma densidade de probabilidade, ou seja, $f(\vec{r}, \vec{v}, t)dV$ representava o número de moléculas num elemento de volume $dV = dx dy dz$ em torno do ponto $P(\vec{r})$, cujas velocidades se encontram entre \vec{v} e $\vec{v} + d\vec{v}$ num dado instante t . Para Boltzmann a função $f(\vec{r}, \vec{v}, t)$ pode ser interpretada não apenas deste modo, como também ser vista como a fracção de tempo, de um intervalo suficientemente longo, durante o qual a velocidade de uma molécula qualquer se mantém dentro de certos limites. A equivalência destas diferentes interpretações é uma questão não só pouco trivial, e Boltzmann sabia disto, como também fundamental para a validade da Mecânica Estatística como ciência, embora nem todos partilhem deste ponto de vista. De entre estes trabalhos, o de 1872, fruto de um longo processo de maturação, marca o grande passo da sua carreira, sendo considerado por muitos historiadores o seu mais importante trabalho: a dedução da Segunda Lei a partir das propriedades de uma equação hoje conhecida por *equação de Boltzmann*. A dedução em si é conhecida por *teorema H*¹. Se este trabalho é realmente o mais importante dentro da sua obra é algo questionável. Porém, não restam dúvidas de que o título “Estudos adicionais acerca do equilíbrio termodinâmico entre moléculas de um gás” do longo tratado de mais de cem páginas não faz jus à importância dos seus resultados.

A motivação de Boltzmann era estudar a natureza do equilíbrio termodinâmico e provar a unicidade da distribuição de Maxwell para descrever estados de equilíbrio. Maxwell já mostrara que a sua distribuição era estacionária, ou seja, que não se alterava em função de eventuais colisões entre partículas, mas para Boltzmann tal não bastava,

pois era necessário também provar que, qualquer que fosse o estado inicial do gás, ele tenderia sempre para uma distribuição de Maxwell. A solução de Boltzmann para esta questão veio na forma de duas equações. A primeira, a *equação de Boltzmann*, diz respeito à variação temporal da distribuição de velocidades e pode ser escrita como:

$$\frac{\partial f(x, t)}{\partial t} = \int_0^{\infty} \int_0^{x+x'} \left[\frac{f(x, t) f(x+x'-\chi, t)}{\sqrt{x} \sqrt{x+x'-\chi}} - \frac{f(x, t) f(x', t)}{\sqrt{x} \sqrt{x'}} \right] \sqrt{xx'} \Psi(x, x', \chi) dx d\chi.$$

onde x representa a energia cinética (Boltzmann, ao contrário de Maxwell, preferiu usar a energia cinética $x = \frac{1}{2}mv^2$ como variável, motivo pelo qual as raízes quadradas surgem na expressão acima). A interpretação física desta equação é simples: a variação da densidade f para uma dada energia x , é dada pelo acréscimo de partículas que antes da colisão tinham energia x' e após a mesma passaram a ter uma energia x menos aquelas partículas que tinham energia x e pela colisão passaram a ter uma energia diferente, ou seja, a equação acima nada mais é do que uma equação mestre. As raízes quadradas surgem pela escolha de Boltzmann em usar energias, quando hoje usamos velocidades, e a função Ψ leva em conta o tipo de interacção entre partículas. Se substituirmos nesta expressão a função f pela distribuição de Maxwell $f_M(x, t) \sim \sqrt{x} \exp(-ax)$ veremos que $\partial f_M / \partial t = 0$. Para Boltzmann, fora apenas isto que Maxwell conseguira provar e nada mais. Era necessário mostrar que, qualquer que fosse a distribuição inicial, esta evoluiria após um tempo suficientemente longo para a distribuição estacionária $f_M(x, t)$. Para tanto ele introduziu a grandeza

$$E = \int_0^{\infty} f(x, t) \ln \left[\frac{f(x, t)}{\sqrt{x}} - 1 \right] dx$$

e mostrou que, na eventualidade de $f(x, t)$ satisfazer a equação de Boltzmann, então

$$\frac{dE}{dt} \leq 0,$$

aplicando-se a igualdade apenas quando $f(x, t) = f_M(x, t)$. Verificou-se que esta grandeza, mais tarde por ele chamada H , era nada mais nada menos do que o simétrico da entropia de Clausius a menos de um factor multiplicativo e de uma constante aditiva.

De fundamental importância para o desenvolvimento da Mecânica Estatística foram as críticas dirigidas aos trabalhos de Boltzmann, em particular o *Umkehrwand* (objecção da reversibilidade) de Johann Loschmidt (1821-1895) e o *Wiederkehrwand* (objecção do retorno) de Ernst Zermelo (1871-1953). Estas e outras críticas que a elas se somaram foram importantes na medida em que permitiram a Boltzmann não apenas rever posições, buscando esclarecer pontos de seu trabalho, como também aprofundar questões de cunho mais metodológico, lançando as bases da Mecânica Estatística tal como hoje a conhecemos. O *Umkehrwand* de 1876 diz que se, por algum motivo, as velocidades das partículas de um gás mudassem de sinal num dado instante $t=\tau$, elas percorreriam trajectórias inversas, atingindo em $t=2\tau$ o mesmo estado em que se encontravam no instante inicial $t=0$. Se a entropia aumentasse no primeiro caso, a reversibilidade implicaria uma evolução na qual a entropia diminuiria. Para Boltzmann este argumento era apenas um belo sofisma, pois a sua inaplicabilidade advinha do facto de o número de moléculas, mesmo num pequeno volume de um gás, ser tão espantosamente grande que uma inversão de todas as velocidades só poderia ocorrer com uma probabilidade infinitamente pequena. Com esta réplica, Boltzmann asseverou de maneira clara o carácter probabilístico da Segunda Lei, pois, segundo ele, a objecção de Loschmidt tornava clara a íntima relação entre probabilidades e a Segunda Lei.

Na sua resposta a Loschmidt, Boltzmann deduziu aquela que é sua equação mais famosa: $S=k_B \ln W$. Para mostrar que a entropia de um estado era uma medida da sua probabilidade de ocorrência e, portanto, o seu aumento poderia ser entendido como a evolução de um sistema de estados de menor probabilidade para aqueles de maior probabilidade, Boltzmann recorreu a uma técnica por ele já utilizada em 1872: a discretização do espectro de energias. Utilizando assim resultados da análise combinatória e da probabilidade, Boltzmann calculou o número de maneiras de distribuir um conjunto finito mas grande de partículas entre níveis, tal que a energia total fosse constante. A maximização da probabilidade assim calculada leva à equação mencionada acima. Ao aplicá-la a um gás não interaccionante Boltzmann chegou novamente à entropia de Clausius.

O *Wiederkehrwand* de 1896 baseava-se no teorema da recorrência de Poincaré, segundo o qual todo o sistema mecânico sob a acção de forças conservativas e cujas posições e velocidades sejam limitadas, obrigatoriamente passará, em algum instante t , num ponto do espaço de fase tão próximo quanto se queira do ponto em que se encontrava em $t=0$. Portanto, segundo Zermelo, a teoria cinética seria assim incapaz de explicar o fenómeno da irreversibilidade pois, nalgum momento, as condições



Fig. 3 - Lápide do túmulo de Boltzmann no Zentralfriedhof em Viena com a sua famosa equação.

iniciais do sistema retornariam, contradizendo a Segunda Lei. A resposta de Boltzmann foi irónica e directa: embora o teorema de Poincaré fosse correcto, não se poderia concluir que a teoria cinética estivesse incorreta sem antes se calcular o tempo necessário para uma recorrência. Para um pequeno volume de gás, da ordem de alguns centímetros cúbicos, este tempo é muitas ordens de grandeza superior à idade do universo e embora H possa aumentar, a probabilidade de que isto ocorra é infinitamente pequena. Utilizar Poincaré para concluir que a teoria cinética não é válida seria o equivalente à falácia de concluir que um dado é viciado apenas pelo facto de a probabilidade de lançar mil “uns” seguidos é muito pequena.

Se, do ponto de vista da metodologia e dos fundamentos, Boltzmann fez tão importantes contribuições, cabe aqui a pergunta sobre o motivo pelo qual a Mecânica Estatística nos é apresentada na formulação de Josiah Willard Gibbs (1839-1903). Boltzmann foi quem introduziu a ideia de *ensembles* (por ele chamados *Monoden*) num trabalho pouco citado de 1884. Gibbs, por quem Boltzmann tinha uma grande admiração, merece sem dúvida ser colocado ao lado deste como um dos criadores da Mecânica Estatística. Embora o grande historiador Martin J. Klein tenha afirmado que foi Boltzmann e não Gibbs ou Maxwell quem mostrou precisamente como a Segunda Lei está relacionada com a probabilidade, criando assim a Mecânica Estatística, a sistematização desta foi, em grande parte, obra de Gibbs. Mas as razões históricas da “preferência” por Gibbs e não Boltzmann estão bem documentadas e estão intimamente relacionadas com as disputas atomísticas do século XIX tão ao estilo do próprio Boltzmann. Embora considerado um professor brilhante, Boltzmann

era um escritor difícil. Esta dificuldade estava relacionada mais com a extensão dos seus trabalhos e com o facto de Boltzmann mudar muitas vezes o seu ponto de vista sem deixar isso claro para os seus leitores do que com o seu impecável alemão. Os seus artigos representavam um verdadeiro *tour-de-force* para a maioria de seus contemporâneos, inclusive Maxwell, que certa vez se manifestou a este respeito. Gibbs, por outro lado, era considerado um grande estilista, cujo trabalho, na sua formulação abstracta, evitava qualquer hipótese atomística da matéria ou “construtos” mecânicos. O atomismo de Boltzmann, juntamente com a sua predilecção por analogias mecânicas, que o aproximam de Maxwell, eram vistos como desprovidos de significado físico por alguns dos mais influentes físicos da época como Wilhelm Ostwald (1853-1932), Georg Helm (1851-1923) e Ernst Mach (1838-1916). Embora Boltzmann fosse ele próprio uma grande autoridade, estes nomes suscitavam respeito e a sua batalha parece ter sido a de um só homem, como o prefácio das suas *Aulas acerca da Teoria do Gás* deixa transparecer:

“Seria na minha opinião um infortúnio para a ciência caso a teoria dos gases fosse simplesmente esquecida em função da atitude litigiosa que contra ela hoje predomina... quão impotente uma única pessoa é contra a corrente vigente bem o sei. E ainda, naquilo que estiver ao alcance das minhas forças, faço aqui a minha contribuição retomando os aspectos mais difíceis e polémicos da teoria dos gases para que um dia, ao retornarem a ela, não seja necessário descobrir tudo novamente.”

No final, a história colocou-se ao lado de Boltzmann.

BOLTZMANN, O ELECTROMAGNETISMO E A TECNOLOGIA

Menos exploradas na literatura boltzmanniana foram as suas importantes contribuições para a verificação experimental da Teoria de Maxwell e a divulgação da mesma na Áustria e na Alemanha. Boltzmann era um grande admirador da obra do físico escocês: não apenas se doutorou com uma tese sobre Electromagnetismo como também leccionou a teoria maxwelliana nas universidades por onde passou, chegando a publicar um livro sobre o assunto. Foi também pelo estudo da obra de Maxwell em Electromagnetismo que Boltzmann tomou conhecimento dos trabalhos daquele cientista em Teoria Cinética.

Entre 1873 e 1874 Boltzmann publicou quase exclusivamente trabalhos experimentais sobre Electromagnetismo. Como a teoria de Maxwell afirmava que a luz era uma onda electromagnética, esperava-se que as propriedades ópticas dos meios pudessem ser explicadas com base nas suas propriedades eléctricas. Em particular, Maxwell

previra uma relação entre a constante dieléctrica ϵ e o índice de refração n na forma $\epsilon \sim n^2$. Boltzmann realizou uma série de experiências em cristais de enxofre e em gases para verificar a validade dessa relação. No enxofre a luz propaga-se com diferentes velocidades ao longo dos diferentes eixos ordenados, o que implica que os índices de refração dependam da direcção de propagação da luz. O caso dos gases representava um grande desafio experimental, dado que as respectivas constantes dieléctricas eram muito próximas da unidade, exigindo uma precisão nas medidas para além da terceira casa decimal. Boltzmann, numa demonstração de grande habilidade como físico experimental, desenvolveu técnicas e realizou as experiências com êxito, mostrando que os resultados obtidos eram, tendo em conta os erros experimentais, os previstos pela teoria maxwelliana. Apesar do seu importantíssimo trabalho em Electromagnetismo, Boltzmann comparava-o ao de um trabalhador braçal, cuja função era apenas a de retocar alguns pormenores no grande edifício construído por Maxwell. Talvez o seu mais significativo resultado nesta área, uma “*verdadeira pérola da Física Teórica*” nas palavras de Lorentz, tenha sido a dedução teórica da dependência da intensidade de radiação electromagnética com a temperatura, a chamada Lei de Stefan. Em 1879 Stefan havia estabelecido, a partir de resultados experimentais que a relação entre a densidade da energia de radiação térmica ρ_E e a temperatura T de um corpo negro tinha a forma $\rho_E \sim T^4$. Boltzmann deduziu a lei de Stefan a partir de argumentos puramente teóricos, partindo da hipótese de que a radiação exercia pressão sobre as paredes do recipiente que a continha. Desde então esta lei passou a ser conhecida como Lei de Stefan-Boltzmann.

Um outro capítulo interessante na vida de Boltzmann, em particular no que diz respeito à sua actuação como divulgador da ciência, revela-nos a admiração que ele tinha por novas tecnologias, em particular a aviação. Boltzmann viveu numa época de grandes pioneiros desta área. A sua palestra “*Acerca das Viagens Aéreas*”, apresentada por ocasião do 66º Encontro da Sociedade Alemã de Médicos e Cientistas Naturais em Viena, em 1894, é um contundente libelo em defesa desta actividade então pouco considerada pelas autoridades de seu país. Uma grande parcela da comunidade científica via nestes estudos apenas tentativas amadoras, carentes de uma fundamentação teórica mais sólida. Embora pioneiros como Otto Lilienthal (1844-1896) em Berlim, Wilhelm Kress (1836-1913) em Viena e Octave Chanute (1832-1910) nos EUA fossem engenheiros de sólida formação, um relatório de Helmholtz publicado em 1874, seis anos após o seu trabalho como presidente de uma comissão cujo objectivo era avaliar a possibilidade da construção de aparelhos voadores, manifestava uma posição relativamente pessimista sobre tal empreitada. Embora este relatório se referisse, a bem da verdade, apenas à inviabilidade de balões como meio

eficiente de transporte de passageiros e cargas, ele passou a ser visto como um documento de valor científico sobre qualquer tipo de transporte aéreo e recebeu grande atenção por parte da comunidade acadêmica da época. Boltzmann, ciente da sua envergadura como físico aclamado e do efeito que uma palestra sua em tão prestigiado evento teria sobre a opinião pública, defendeu de uma maneira apaixonada investimentos na área, sem porém deixar de apontar aquilo que considerava ideias errôneas nos trabalhos destes engenheiros, uma atitude que demonstra, sem sombra de dúvida, uma atitude de grande integridade ética para com a ciência, integridade esta que foi um dos marcos da sua carreira como cientista e homem público.

CONCLUSÃO

Não obstante Ludwig Boltzmann estar colocado junto a Maxwell e a Gibbs no panteão dos fundadores da Mecânica Estatística, os seus trabalhos experimentais em Electromagnetismo e sua decidida defesa dos avanços tecnológicos fazem dele um dos mais influentes físicos do século XIX. As suas muitas palestras de cunho científico, filosófico e histórico tornam-no um dos primeiros divulgadores da ciência. Como grande polemista, também se envolveu em grandes questões científicas da sua época: o atomismo e a teoria da evolução de Charles Darwin (1809-1882), para ele o maior cientista do seu século. A incompreensão relativamente à sua obra foi fruto de sua atitude combativa e desafiadora dos cânones da sua época.

BIBLIOGRAFIA

1. L. E Boltzmann, *Wissenschaftliche Abhandlungen*, F. Hasenöhr (Ed.), J. Barth, Leipzig 1909 (obras coligadas em três volumes).
2. L.E. Boltzmann, *Populäre Schriften*, Ambrosius Barth, Leipzig, 1905 (*Escritos Populares*. Tradução e Notas de A. A. Passos Videira, Ed. Unisinos, Novo Hamburgo, 2005. Esta tradução não inclui todos os textos da obra original).
3. E. Broda, *Ludwig Boltzmann: Mensch, Physiker, Philosoph*, Franz Deuticke, Viena, 1983.
4. C. Cercignani, *Ludwig Boltzmann: the man who loved atoms*, Oxford University Press, Oxford, 1998.
5. S. R. Dahmen, *A obra de Ludwig Boltzmann em Física*, Revista Brasileira de Ensino de Física **28**, 3 (2006).
6. M.J. Klein, “The development of Boltzmann's Statistical Ideas”, em *The Boltzmann Equation: Theory and Application*, E.G.D. Cohen e G. Uhlenbeck (Eds.), Springer, Viena, 1973.

NOTAS

- ¹ Na verdade, ao contrário do que muitos pensam, o H do teorema não se refere à oitava letra do alfabeto latino mas sim à maiúscula da letra grega η .



**SEGREDOS
DA LUZ
E DA MATÉRIA**
UMA EXPOSIÇÃO INTERACTIVA
DE CIÊNCIA

**A DIVERSIDADE
DA VIDA**
300 ANOS DE LINEU
EXPOSIÇÃO TEMPORÁRIA
SETEMBRO DE 2007
A FEVEREIRO DE 2008

ATELIERS PEDAGÓGICOS
VISITAS GUIADAS

HORÁRIO
TERÇA A DOMINGO
10:00 H - 18:00 H

MUSEU DA CIÊNCIA
LABORATÓRIO QUÍMICO
LARGO MARQUÊS DE POMBAL
3000 - 272 COIMBRA
T: +351 239 85 43 50
F: +351 239 85 43 59
GERAL@MUSEUDACIENCIA.PT
WWW.MUSEUDACIENCIA.PT

MUSEU DA CIÊNCIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA