



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**  
**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA**  
**INSTITUTO DE FÍSICA – IF/UFBA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO,  
FILOSOFIA E HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS**



**LEONARD FERNANDES E SILVA**

**O PLURALISMO TEÓRICO EM LUDWIG BOLTZMANN**

Salvador

2019

**LEONARD FERNANDES E SILVA**

**O PLURALISMO TEÓRICO EM LUDWIG BOLTZMANN**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências da Universidade Federal da Bahia para obtenção do título de Mestre em Ensino, Filosofia e História das Ciências. Área de concentração: história e filosofia das ciências e implicações para o ensino das ciências.

Orientador: Prof. Dr. Olival Freire Jr.

Salvador

2019

Fernandes e Silva, Leonard  
O Pluralismo Teórico em Ludwig Boltzmann / Leonard  
Fernandes e Silva. -- Salvador, 2019.  
130 f. : il

Orientador: Olival Freire Jr..  
Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em  
Ensino, Filosofia e História da Ciência) --  
Universidade Federal da Bahia, Instituto de Física,  
2019.

1. Ludwig Boltzmann. 2. Pluralismo Teórico. 3.  
Física Teórica. 4. Filosofia da Ciência. 5. História da  
Ciência. I. Freire Jr., Olival. II. Título.

LEONARD FERNANDES E SILVA

**O PLURALISMO TEÓRICO EM LUDWIG BOLTZMANN**

**Comissão Examinadora**

---

Prof. Dr. Olival Freire Jr.

Universidade de Federal da Bahia

---

Prof. Dr. Antônio Augusto Passos Videira

Universidade Estadual do Rio de Janeiro

---

Profa. Dra. Indianara Lima Silva

Universidade Federal da Bahia.

Salvador

2009

Ao Ser Supremo.

À minha Família.

## AGRADECIMENTOS

Ao Ser Supremo, que nutre os meus dias e o de todos que me rodeiam, que me permite viver novamente em cada amanhecer para seguir com projetos, sonhos e luta, na busca por dias felizes, experiências intensas e boas recordações.

Ao professor Olival Freire Jr. pelas oportunidades, acolhimento, confiança, atenção e orientação, assim como pelo prazer de observar a construção constante de um Mestre.

Aos meus pais, às minhas irmãs, aos meus avós, tios, primos e familiares pelas alegrias de poder compartilhar as experiências que vivi até agora, que me ensinaram a dividir, pensar no outro e a vencer a cada dia e de poder contar sempre com o amor, carinho e orações de todos vocês.

À Luana, pela presença constante, pelo incentivo, nossas profundas conversas e seus ouvidos atentos, suas palavras reconfortantes, mesmo a quilômetros de distância, pelo amor, carinho e alegrias em meio a momentos de (re)descobertas constantes.

À Leonardo Lacerda, pelas risadas, aprendizados, lições sábias, sinceridade e zelo pela amizade. Obrigada pelo apoio incondicional, pelos dias de conversa e pela companhia e ajuda.

A todos os professores do PPGEFHC, pela dedicação, competência, apoio e todo conhecimento compartilhado.

Aos colegas do Laboratório Ciência como Cultura, pois um ambiente de trabalho agradável, com pessoas que nos querem bem, é o que nos ajuda a vencer.

Aos colegas do Programa, que também vivenciam as mesmas dificuldades e tensões de um mestrado, e cuja a presença e força nos trazem leveza ao nosso trabalho.

À FAPESB pela bolsa concedida durante a realização deste trabalho de mestrado.

Ao Instituto de Física e Universidade Federal da Bahia por ter tido a chance de conhecer o mundo acadêmico abrindo suas portas desde a graduação.

Aos funcionários do IF e da Secretaria de Pós-graduação pela atenção e disponibilidade sempre que necessitei.

*“Quem vê o futuro? Deixem nos ter espaço livre para todas as direções de pesquisa; para longe com o dogmatismo, seja atomista ou anti-atomista!”*

Ludwig Eduard Boltzmann

## RESUMO

A figura de Ludwig Eduard Boltzmann, físico austríaco do século XIX, é reconhecida pelas suas grandes contribuições na Termodinâmica, Eletromagnetismo e na Teoria Cinética dos Gases, sendo reconhecido como um dos pais fundadores da Mecânica Estatística. Menos conhecida, no entanto, é a imagem de Boltzmann como filósofo da ciência. Em seus pensamentos acerca da natureza e desenvolvimento da ciência, Boltzmann desenvolveu uma filosofia que via no processo social de desenvolvimento desta, uma analogia com o processo de evolução darwiniano. A partir dessa ideia e de outras bases filosóficas, Boltzmann desenvolveu a tese do pluralismo teórico. Boltzmann defendeu essa tese era um ponto fundamental no desenvolvimento da Ciência, e alertava que a falta do pluralismo levaria ao dogmatismo científico. O objetivo deste trabalho é, portanto, destacar a imagem do filósofo da ciência que, dentro do debate científico de sua época, defendeu tanto uma visão pluralista das teorias científicas como a suas próprias teorias. Buscaremos contextualizar o desenvolvimento da tese do pluralismo com os fatores internos e externos que podem ter afetado a vida e a filosofia de Boltzmann, mostrando como os principais acontecimentos políticos-sociais e descobertas científicas do período influenciaram o seu pensamento.

Palavras-chave: Ludwig Boltzmann; pluralismo teórico; física teórica; filosofia da ciência; história da ciência.

## ABSTRACT

The figure of Ludwig Eduard Boltzmann, austrian physicist of the nineteenth century, is recognized for his great contributions in thermodynamics, electromagnetism and kinetic theory of gases, being recognized as one of the founding fathers of Statistical Mechanics. Less well known, however, is Boltzmann's image as a philosopher of science. In his thoughts on the nature and development of science, Boltzmann developed a philosophy that saw in the social process of development of this, an analogy with the Darwinian evolution process. From this idea and from other philosophical bases, Boltzmann developed the thesis of theoretical pluralism. Boltzmann defended this thesis was a fundamental point in the development of Science, and warned that the lack of pluralism would lead to scientific dogmatism. The objective of this work is to highlight the image of the philosopher of science who, within the scientific debate of his time, defended both a pluralistic view of scientific theories and his own theories. We will seek to contextualize the development of the thesis of pluralism with the internal and external factors that may have affected Boltzmann's life and philosophy, showing how the main political-social events and scientific discoveries of the period influenced his thinking.

Key words: Ludwig Boltzmann; theoretical pluralism; theoretical physics; philosophy of science; history of science.



**LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

<b>Figura 1.</b> Lápide de Ludwig Boltzmann no jazigo da família Boltzmann, localizado no cemitério Zentralfriedhof, Viena, Áustria..	9
<b>Figura 2.</b> Ludwig Boltzmann, aos 24 anos de idade, quando ele era palestrante na Universidade de Viena.....	34
<b>Figura 3.</b> Ludwig Boltzmann, aos 31 anos, quando ele era Professor em Viena. ....	39
<b>Figura 4.</b> Ludwig Boltzmann e sua família em 1886 .....	42
<b>Figura 5.</b> A propriedade da família Boltzmann em Oberkroisbach, Graz.....	43
<b>Figura 6.</b> Desenhos feitos por K. Przibram .....	58
<b>Figura 7.</b> Ludwig Boltzmann aos 58 anos .....	63
<b>Figura 8.</b> Manuscrito da última palestra de Boltzmann.....	113

**LISTA DE EQUAÇÕES**

Equação 1. Equação do Transporte de Boltzmann. ....	35
Equação 2. Equação da Entropia .....	41
Equação 3. Equação de Stefan-Boltzmann.....	45

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1 METODOLOGIA .....	15
<b>1.1.1 Objetivo geral.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>15</b>
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	16
1.3 CRÍTICAS E RECONSIDERAÇÕES .....	17
<b>2. OS CAMINHOS BIOGRÁFICOS DE LUDWIG BOLTZMANN.....</b>	<b>20</b>
2.1. ASPECTOS GERAIS DO CONTEXTO EUROPEU NO INÍCIO DO SÉCULO XIX .....	20
2.2. O CONTEXTO AUSTRO-HÚNGARO .....	27
2.3. INFÂNCIA E JUVENTUDE EM VIENA (1844-1869).....	35
2.4. MUDANÇA PARA GRAZ E RETORNO À VIENA (1869-1876) .....	39
2.5. RETORNO À GRAZ (1876-1889) .....	43
2.6. CURTA ESTADIA EM MUNIQUE (1890-1894) .....	53
2.7. RETORNO À VIENA E BREVE ESTADIA EM LEIPZIG (1894-1902).....	58
2.8. ÚLTIMOS ANOS EM VIENA E MORTE (1902-1906) .....	65
<b>3. O PLURALISMO TEÓRICO SEGUNDO LUDWIG BOLZTMANN.....</b>	<b>73</b>
3.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA FILOSOFIA DE BOLTZMANN .....	73
<b>3.1.1 Teoria, representação e modelo.....</b>	<b>73</b>
<b>3.1.2 Evolução e darwinismo .....</b>	<b>79</b>
<b>3.1.3 Realismo, materialismo e atomismo .....</b>	<b>84</b>
<b>3.1.4 Pragmatismo .....</b>	<b>89</b>
3.2 O PLURALISMO TEÓRICO .....	91
<b>4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>109</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>115</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>119</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Uma das imagens que destaca a personalidade científica de Ludwig Eduard Boltzmann (1844-1906) é a imagem do seu túmulo no cemitério de Viena. Como mostrado na Figura 1, um busto construído em mármore capturando a expressão séria do cientista impassivo é acompanhado do epitáfio pouco comum nos cemitérios: cravada na pedra, a expressão matemática que lhe deu o reconhecimento como um dos principais físicos teóricos do século XIX, a equação probabilística da Segunda Lei da Termodinâmica –  $S = k \cdot \log W$ . A equação foi denominada por Albert Einstein (1879-1955) como o *Princípio de Boltzmann*.

**Figura 1.** Lápide de Ludwig Boltzmann no jazigo da família Boltzmann, localizado no cemitério Zentralfriedhof, Viena, Áustria.



Fonte: Olival Freire (2018)

Podemos dizer que entre os sonhos de um físico, ter sua própria equação cravada em seu túmulo como símbolo de reconhecimento por uma vida de contribuição à ciência que ama pode soar como um triunfo. Ainda mais quando o princípio cuja equação versa é nomeado com o seu nome pelo maior físico do século XX. Incrivelmente, a equação pode estar associada à morte do próprio Boltzmann de forma mais íntima do que os físicos gostariam que ocorressem nas suas histórias. Além das contribuições dadas nas áreas do Eletromagnetismo e da Termodinâmica, uma das contribuições menos conhecidas de Boltzmann diz respeito à sua defesa do atomismo e sua tese, na Filosofia das Ciências, do pluralismo teórico. Alguns estudiosos da obra de Boltzmann apontam que as complicações psicológicas que sofria, muito aumentadas pelos intensos debates que tinha com aqueles que buscavam eliminar suas ideias e teorias do debate na Física, podem ter influenciado no seu suicídio em setembro de 1906.

Apesar de ser mais um cientista que integra o *hall* dos mártires da ciência, não obstante, estudos sobre as ideias filosóficas de Boltzmann mostraram que a tese do pluralismo teórico, defendida por esse cientista-filósofo, pode ser bem demonstrada através de uma análise dos diversos textos filosóficos dele, organizados no volume que ficou conhecido como *Populäre Schriften*, além de citações de suas publicações científicas, cartas e palestras. Baseado em uma série de argumentações filosóficas e descobertas científicas, bastante difundidas na cultura científica da época, Boltzmann propõe uma abordagem evolucionista da natureza da Ciência como um processo histórico-social que leva ao desenvolvimento progressivo do intelecto humano, através da adaptação das representações teóricas às novas condições e problemas que emergem nos fenômenos da Natureza.

Na *Encyclopedia of Philosophy*, Paul Feyerabend declara: “Em suas realizações sobre o caráter hipotético de todo o nosso conhecimento, Boltzmann estava muito a frente de seu tempo e talvez do nosso próprio tempo.” A contribuição da obra física de Boltzmann é bem conhecida no meio acadêmico da física. Contudo, as contribuições filosóficas de Boltzmann, especialmente aquelas no âmbito da filosofia da ciência são muito menos conhecidas.

O estudo da tese do pluralismo teórico de Boltzmann, que não pode ser desvinculado e descontextualizado de fatores históricos e sociais, como a sua defesa do materialismo e o atomismo, a luta por direitos e liberdades políticas na Áustria e o surgimento das repúblicas democráticas e seus respectivos ideais, nos permite uma melhor compreensão do pensamento e

das atitudes de Boltzmann, bem como do desenvolvimento do seu pensamento científico-filosófico e sua defesa pragmática deste.

Esse trabalho busca apresentar a tese do pluralismo teórico segundo Boltzmann, com as premissas filosóficas que ele utilizava para justificá-lo, além de levantar os fatores históricos, socio-culturais e biográficos que podem tê-lo influenciado a defender essa tese como algo fundamental para o desenvolvimento da Ciência e do próprio ser humano. Analisando tais fatores, presentes no contexto europeu e, especificamente, no contexto austríaco, onde Boltzmann passou a maior parte de sua vida, buscamos compreender suas relações e possíveis influências na tese de Boltzmann.

Esse estudo torna-se relevante pelas seguintes razões. Primeiramente, #elenão. O período político extremamente polarizado que vivemos no Brasil levou ao poder grupos de interesses que vão contra o progresso científico e defendem valores dogmáticos e anacrônicos. A negação de fatos científicos comprovados por anos de estudo e de coleta de evidências pode nos levar à exclusão de diversas teorias no meio acadêmico ou escolar. Teorias científicas, biológicas ou políticas, físicas ou educacionais, dos grupos de oposição e resistência ao governo podem ser excluídas sumariamente por políticas retrógradas ou corte de financiamentos. A defesa do pluralismo teórico de Boltzmann nos dá, antes de tudo, um exemplo de alguém que lutou e resistiu por suas ideias, contra o preconceito e a intolerância de seus pares, e defendeu a liberdade e criatividade do cientista.

Segundo, tendo o próprio trabalho de Boltzmann se passado em um contexto histórico social definido no tempo, este trabalho se passa em um contexto histórico cuja palavra “definido” seria pouco adequado. Com as dificuldades atuais da Ciência, tendo passado por eventos como a *Science Wars* – o advento das mais diversas linhas de pensamento científico que colocam em cheque a visão tradicionalista de uma ciência isenta de valores – as dificuldades filosóficas inerentes à Mecânica Quântica (que colocam uma interrogação na capacidade da teoria física mais formal, coerente e experimentalmente confirmada de explicar sobre o que ela fala) resumidas em frases como “ninguém entende a mecânica quântica” ou “não sabemos o que a mecânica quântica significa”, somam-se à exarcebação do comportamento humano em outras esferas da atividade social. Tal fenômeno pode ser visto explicitamente na polarização política e os novos governos autoritários, alguns religiosamente inclinados, que tomam posse em nossos dias, nosso tempo possui as suas próprias dificuldades quanto a limitação do discurso e das teorias. Essa indefinição pode se revelar como o momento

onde a nossa sociedade pode partir para aquilo que amedrontava Boltzmann: um dogmatismo que exclui sumariamente quaisquer outros pensamentos divergentes, eliminando o contraditório do debate, “atirando-o na lata de lixo da história”.

Nossa época, com uma crescente dificuldade em lidar com o discurso oposto, mostra uma tendência ao enrijecimento das posições, ou como diria Boltzmann “ao dogmatismo.” Aquele seria um mal em um ambiente social, como o ambiente científico, que se beneficia diretamente de um debate livre e democrático. A liberdade de expor diferentes visões sobre um mesmo objeto é que deveria ser um dos princípios essenciais do debate científico e de uma sociedade verdadeiramente democrática.

As diferentes representações, modelos e interpretações colocadas pelas diversas teorias, ou como diria Kuhn, os diversos “paradigmas,” seriam sempre passíveis de oposição e de contestamento<sup>1</sup>. Mas a exclusão sumária do debate, por quaisquer motivos que não aqueles admitidos como fundamentais para a prática e teorização científica, e.g., a experimentação, seriam prejudiciais à manutenção e progresso da Ciência. O debate científico deve, portanto, se mostrar sempre inclusivo com as representações e teorias, mesmo que opostas.

Por esse motivo, o pensamento científico-filosófico de Boltzmann, embora realizado no séc. XIX, tem relevância atual pela conjuntura socio-político-científica que vivemos. Palavras como exclusão já são ouvidas nas ruas e, infelizmente, dentro do ambiente acadêmico. Teorias científicas, como o próprio darwinismo defendido por Boltzmann, estão ameaçadas de serem excluídas do ensino escolar de ciências, sendo justificada por motivos políticos e/ou religiosos. As palavras de Boltzmann são importantes pela carga da experiência pessoal na defesa de suas próprias ideias em um ambiente que preconcebidamente buscava excluí-las. Não só pelo grau de importância científica e filosófica, mas sobretudo pela dimensão ética de sua obra e do seu comportamento dentro da comunidade científica, Boltzmann deixa um importante exemplo de defesa da liberdade de pensamento, até o fim trágico de sua vida.

---

<sup>1</sup> Cercignani (1994) afirma que a teoria das revoluções científicas de Kuhn já estava presente em germe no pensamento de Boltzmann.

## 1.1 METODOLOGIA

Para que seja possível apresentar a tese do pluralismo teórico, a seguinte metodologia é proposta: realizaremos uma análise histórica e social da vida de Ludwig Boltzmann, utilizando como literatura as biografias publicadas por estudiosos da sua vida e literatura secundária sobre o período histórico; e uma análise conceitual de suas ideias filosóficas e científicas, utilizando seus artigos e livros originais e a literatura secundária. Deste modo, buscamos construir uma narrativa que ponha em diálogo ambas as literaturas e que nos possibilite um melhor entendimento da construção da tese e da sua defesa pelo nosso protagonista. Como resultado, tentaremos compreender os principais problemas e oposições que Boltzmann enfrentou no debate científico de sua época e a solução que propôs para o mal que ele enxergava estar minando o desenvolvimento da própria Ciência. Para isso, propomos os objetivos a seguir.

### 1.1.1 Objetivo geral

- Apresentar a tese do Pluralismo Teórico segundo o pensamento de Ludwig Boltzmann, contextualizando-a com os fatores históricos, sociais e filosóficos que o influenciaram a desenvolver e defender tal tese.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Apresentar o contexto histórico e social da vida de Ludwig Boltzmann;
- Apresentar os fundamentos filosóficos e científicos da tese do pluralismo teórico proposta Ludwig Boltzmann;
- Contextualizar a influência dos fatores histórico-sociais, biográficos e filosóficos no desenvolvimento e defesa do pluralismo teórico por Ludwig Boltzmann.

Para cumprir com esse objetivo, utilizaremos os seguintes materiais: 1) como literatura biográfica, utilizaremos os trabalhos de Carlos Cercignani, John Blackmore, Ilse Marie Fasol-Boltzmann. Como literatura histórica, os trabalhos de Eric Hobsbawn, Taylor, Johnson; 2) como literatura científica e filosófica sobre os fundamentos e a tese do pluralismo: a) primária:



as obras de Boltzmann; b) secundária: os trabalhos realizados por Videira, De Regt, Blackmore, Ribeiro, Visser, D'Agostino e outros.

Imprecindíveis para a realização desse trabalho são os escritos de Boltzmann: em seus artigos, ele mostra de maneira bastante fragmentária durante a vida, todas as ideias que sustentam a sua filosofia da ciência. Uma importante contribuição foi a tradução do *Populäre Schriften* realizada por Augusto Videira, que facilitou o entendimento dos textos de Boltzmann.

A abordagem da presente investigação adota uma postura contextualista. Isso se deve pelas diferentes interações e relações de subordinação e dominação que o processo de evolução da ciência tem com outros processos sociais. Não podemos conceber a evolução das ideias da ciência e da filosofia da ciência como um mero desenrolar cronológico simples, linear e mecânico, mas devemos levar em conta as relações entre as pessoas como membros agentes de uma comunidade científica e, simultaneamente, de outras comunidades em esferas sociais diversas, muitas vezes até antagônicas entre si. Conforme argumenta Bernal (1975), os fatores internos e externos influenciam a maneira como os cientistas constroem conceitos. – os primeiros dependentes da teoria científica especificamente e os segundos os fatores técnicos, culturais e econômicos de um contexto local específico integrado na história geral. Esses fatores definem como as descobertas e teorias se enquadram na tradição cumulativa da ciência. Como a tese do pluralismo científico de Boltzmann pertence à sua filosofia da ciência e foi utilizada para justificar a defesa de uma tese científica no âmbito da física teórica, elementos internos da própria filosofia de Boltzmann podem ser mais ou menos afetados pelos fatores internos e externos. Diferentemente das ideias científicas, cujos fatores não são determinantes e decisivos nas descobertas científicas, as ideias filosóficas são mais intimamente relacionadas e influenciadas por aqueles.

## 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho é composto por essa Introdução onde expomos o tema, a motivação, a metodologia e os objetivos e a estrutura do trabalho.

O Primeiro Capítulo consiste em uma análise do contexto em que se deu a vida de Boltzmann, partindo da apresentação do contexto histórico geral europeu e específico da Áustria no século XIX, seguido da análise biográfica e das principais influências na vida de

Boltzmann. Procura-se neste capítulo enfatizar a importância dos aspectos sociais que implicaram no desenvolvimento das ideias. Buscaremos também apresentar o desenvolvimento dos trabalhos no campo da física e as implicações das críticas de Maxwell, Ostwald, Mach, Poincaré e Zermello em relação ao atomismo no desenvolvimento e na defesa da tese do pluralismo teórico.

O Segundo Capítulo é considerado a parte central desta dissertação, onde são apresentados os principais conceitos filosóficos e científicos de Boltzmann e o desenvolvimento da tese do pluralismo teórico como consequência daqueles e das críticas que suas ideias recebiam. A análise conceitual do trabalho de Boltzmann deve ser o princípio para a boa compreensão do leitor devido ao caráter fragmentário dos escritos dele. Não tendo escrito explicitamente a tese do pluralismo, o que aparecem nos escritos são diversas conexões entre os conceitos científicos e filosóficos. Para compreender a tese, a literatura secundária sobre as ideias de Boltzmann nos ajuda a construí-la com coerência e a contextualização com história facilita o entendimento.

O Terceiro Capítulo tem caráter puramente exploratório, onde realizamos algumas considerações sobre as relações que podem estar, direta ou indiretamente, relacionadas com desenvolvimento da tese do pluralismo teórico. Por fim, sugerimos futuras pesquisas que podem ser realizadas dentro do tema. Esta investigação histórica apresenta um potencial de implicações para a história da Filosofia das Ciências e da Ciência, para a pesquisa científica – principalmente sua relação com outros âmbitos sociais – e para o Ensino de Ciências, tendo em vista a importância do livre debate científico e a liberdade de criação e conceituação do cientista.

Por fim, as referências utilizadas e os anexos.

### 1.3 CRÍTICAS E RECONSIDERAÇÕES

A presente seção foi inserida após a revisão sugerida pela banca avaliadora do trabalho. Aqui, discorrerei sobre dois principais pontos que gostaria que o futuro leitor levasse em consideração ao ler o trabalho.

- 1) Como sugerido pelo Prof. Dr. Antônio Augusto Passos Videira, realizei algumas adições com a leitura sugerida pelo mesmo do livro *Atoms, Mechanics, and Probability* (2018) de Olivier Darrigol. Para o futuro estudioso de Boltzmann, que se interessa pelas conexões entre os conceitos de átomos, probabilidades, mecânica estatística e teoria cinética dos gases, esse livro é essencial para entender como o conceito de átomo é inserido nas equações físicas desenvolvidas por Boltzmann e ressaltam a importância fundamental desse conceito na forma como Boltzmann concebia a Mecânica. O capítulo final faz uma síntese geral do pensamento de Boltzmann, incluindo sua filosofia, que são bastante valiosos para o pesquisador possuir uma visão mais integrada da personalidade e mentalidade do físico. Essa mentalidade é bem expressa por Boltzmann em sua última palestra, em 28 de outubro de 1905, *Erklärung der Entropie und der Liebe aus der Wahrscheinlichkeitsrechnung*, realizada na Sociedade Filosófica em Viena. Uma tradução dessa palestra, que estava inédita até sua publicação em 2006, encontra-se em anexo. Espero com isso melhorar a compreensão dos estudiosos sobre as últimas opiniões declarada publicamente por Boltzmann acerca do futuro da Ciência.
- 2) A leitura recente do livro *The Study of Man* de Michael Polanyi me levou a reconsiderar o papel do historiador e filósofo da ciência. Isso levou a uma revisão da metodologia previamente escolhida, i.e., uma abordagem que contextualiza os aspectos externos e internos. Diferente do que a maioria dos autores contextualistas propuseram, proponho ao futuro leitor uma visão diferenciada. Essa visão parte dessa modificação da minha posição como um historiador que, partindo de uma posição professoral, que de uma alta bancada isolada distribui o conhecimento pronto aos alunos, mas antes como um indivíduo que, ao exercer um tipo especial de compreensão na sua pesquisa histórica, tem busca levar o leitor por um tipo de “interiorização” da vida do objeto de estudo. Essa compreensão do historiador é diferenciada do leitor apenas na medida em que seu horizonte de consciência foi amplificado e preenchido com um conteúdo diferenciado fruto dos seus estudos. Esse estudo nada mais é do que uma busca em profundidade das principais evidências para as ações que um indivíduo toma no decorrer de sua dramática vida. O historiador é motivado pela obra do indivíduo a ser estudado, e de certa forma busca a máxima compreensão da consciência do seu objeto de estudo, e busca, em sua exegese, ampliar a consciência do leitor tanto quanto lhe foi possível. O resultado dessa

interiorização que o autor e o leitor realizam depende, obviamente, da extensão e do conteúdo do pensamento da pessoa que realiza a interiorização. Assim, escrever história é em si mesmo um processo histórico em que o autor progride na sua interiorização da consciência do seu objeto de estudo a medida em que descobre, na pesquisa histórica, mais e mais evidências que o fariam imitar o mesmo comportamento do indivíduo estudado. E a leitura da história é para o leitor um processo de interiorização que lhe alarga o próprio horizonte de consciência, e ao mostrar as grandes batalhas e vitórias desses personagens históricos, de alguma forma é persuadido a mimetizá-los e, até mesmo, continuar com as lutas e sonhos desses grandes personagens da história mundial.

Dito isso, espero que o leitor possa se admirar com a vida de Boltzmann, suas vitórias e derrotas, e inspire-se para resistir as adversidades da pesquisa científica, pois há esperança de algum dia encontrar a Luz que preenche nosso espírito com a verdade da realidade.

## 2. OS CAMINHOS BIOGRÁFICOS DE LUDWIG BOLTZMANN

No presente capítulo, iniciamos com a investigação de como fatores extrínsecos, históricos e sociais, seguidos dos fatores intrínsecos, como a comunidade científica, influenciaram o desenvolvimento da obra científica e filosófica de Ludwig Boltzmann. Para isso utilizaremos uma abordagem contextual, já que acreditamos que o processo evolutivo da ciência e de seus conceitos possuem uma carga histórica, cultural, política e econômica que não podem ser reduzidas à conceitos científicos precisos ou equações matemáticas. Os cientistas constroem seus conceitos em um momento histórico e geográfico específico, com um contexto local específico, e as relações sociais ocorrem para audiências particulares, principalmente no ambiente científico acadêmico. Por isso, buscaremos ressaltar o contexto em que aquele processo ocorre.

### 2.1. ASPECTOS GERAIS DO CONTEXTO EUROPEU NO INÍCIO DO SÉCULO XIX

O século XIX foi um século de grandes mudanças nos aspectos gerais da cultura e sociedade, principalmente na Europa Ocidental. Hobsbawn (2014a, 2014b, 2014c) argumenta como o “Grande Século” que vai de 1789, com o início da Revolução Francesa até 1918, com o fim da Primeira Guerra Mundial, implicou em grandes mudanças socioculturais nunca antes vistas na história da humanidade, modificando muitas tradições centenárias. Em sua análise, destaca os fatores externos, como as influências econômicas, sociais e políticas na ciência no período de 1789 até 1914. Segundo o autor, a ciência “lhes colocou novas e específicas exigências, em parte porque lhes abriu novas possibilidades e confrontou-as com novos problemas, e em parte porque sua própria exigência sugeria novos padrões de pensamento” (HOBSBAWM, 2014a, p. 383).

É importante ressaltar os símbolos, conceitos, imagens e representações que se desenvolveram nesse período devido à necessidade de expressar e descrever o que os indivíduos viviam na época: fábrica, indústria, engenharia, ciência, cientistas, utilitário, estatística, capitalismo, socialismo, estado-nação, república moderna, estado democrático de direito, etc. Todos eles contribuíram para determinar o contexto social em que as grandes descobertas da ciência teriam grandes consequências filosóficas.

A Revolução Americana (1776-1783) foi uma influência externa ao contexto europeu e impactou significativamente com ideias políticas como a república moderna e a democracia. Os *anciens régimes* passaram a ser cada vez mais ameaçados pelos novos ideais de humanidade. A Revolução Francesa (1789) foi, no solo europeu, a primeira grande implosão do combate entre os antigos e novos símbolos. Na monarquia de Habsburgo da Áustria, Joseph II tentou implementar os novos ideais em 1781, mas sua tentativa não teve sucesso em face da grande resistência do *establishment* político e de uma rebelião camponesa pouco organizada. Não obstante, instigou tumultos similares na Bélgica, que em 1789 uniu-se ao movimento revolucionário francês.

O desenvolvimento da técnica e da ciência são o maior triunfo do período quando comparado aos períodos anteriores. O principal motivo foi a Revolução Industrial na Inglaterra. As ciências, antes divididas em “puras” e “aplicadas”, passaram a ser unificadas em um corpo teórico único com o desenvolvimento do academicismo. As ideias do Iluminismo, tendo como convicção o progresso humano baseado na racionalidade, teve um apoio significativo quando o progresso da produção industrial, do comércio e da organização dos estados com base na racionalidade e na ciência, tornou material aquilo que só existia nas ideias de alguns indivíduos. Dentre os grandes propagadores desses ideais estavam: Benjamin Franklin, Diderot e d’Alembert, Erasmus Darwin, James Watt, James Mill, entre outros.

Apesar de ter iniciado na Grã-Bretanha, a ideia de uma economia industrial foi logo absorvida de Portugal à Rússia, promovida pelas monarquias iluminadas que se preocupavam com o crescimento econômico. A união da indústria e da ciência se deve sobretudo à necessidade de produzir pessoas qualificadas para promover essa nova revolução. Foram fundadas as *Bergakademie* e a *École Polytechnique*, como incentivo dos governos para o desenvolvimento técnico e científico. Entretanto, a maior parte da técnica necessária para produzir máquinas como fiadeiras, teares e lançadeiras pertencia aos profissionais que não recebiam uma educação “formal”: artesãos, vidraceiros, carpinteiros, ferreiros, moleiros e serralheiros.

Esses novos inventos, fruto da combinação do saber técnico dos artesãos e aperfeiçoadas pouco a pouco pelos avanços e descobertas dos cientistas nas ciências naturais, permitiram a construção de maquinário simples e barato, que aumentava significativamente a produção, com rendimentos altos em curto prazo. A expansão industrial favorecida pelos lucros correntes, associadas às revoluções nos transportes pela implementação das máquinas a vapor nas

ferrovias e nos navios mercantis, impactou todo o comércio mundial, as estruturas sociais das nações e, principalmente, as cidades.

O desenvolvimento das cidades teve grande influência na forma como os indivíduos viviam e se relacionavam no dia-a-dia. As características culturais que remanesciam da época do Renascimento deram lugar à cidade burguesa. As classes sociais do mundo medieval estavam sendo substituídas por outras mais adequadas ao novo mundo: o senhor feudal foi substituído pelo empresário capitalista e o servo pelo trabalhador do chão de fábrica. A população agrícola sofreu grande declínio e a população urbana cresceu com as constantes migrações e com o aumento da população em geral. As inovações industriais, pouco a pouco, passaram dos produtos têxteis à todas as mercadorias de consumo doméstico, marcadamente cerâmicas, alimentos e bebidas.<sup>2</sup> Os termos indústria e fábrica passaram a ser utilizados cada vez mais no sentido moderno.

Os processos e funções sociais passaram por intensa especialização e progressiva divisão do trabalho. Os estados-nação formentavam o crescimento econômico e o desenvolvimento industrial. Entretanto, as primeiras crises do sistema capitalista de produção levaram descontentamento entre os trabalhadores pobres, pequenos comerciantes, à pequena burguesia e a outras ramificações das classes baixas. Movimentos nacionais começaram a irromper em movimentos de massas do “radicalismo,” da “revolução,” da “democracia,” ou da “república.” O sucesso do modelo americano foi um dos maiores incentivadores das massas no Velho Mundo.

A Revolução Francesa foi o grande exemplo dessa “era de revoluções democráticas” na Europa. Outros movimentos similares ocorreram na Irlanda (1782-1784), Bélgica (1787-1790), Holanda (1783-1787), entre outros, mas o movimento francês foi significativo devido ao seu grande alcance e repercussão, pois a França possuía um entre cada cinco europeus e sua revolução foi um movimento predominantemente social de massa e mais radical que todos os outros. O consenso de ideias gerais entre os grupos sociais deu ao movimento revolucionário uma unidade efetiva. Esses ideais eram os ideais do liberalismo clássico, que culminou com a

---

<sup>2</sup> James Prescott Joule (1818-1889) desenvolveu a maioria de seus experimentos em Termodinâmica na fábrica de cerveja de sua família na cidade de Manchester na Inglaterra. A cervejaria era um negócio técnico e cientificamente mais avançado e mecanizado do que as outras indústrias da época, sendo pioneira em inovações químicas e eletrificação industrial. (Heilbron, 2005).

Declaração dos Direitos do Homem e do Cidadão, de 1789.<sup>3</sup> Também eram partidários do constitucionalismo, do Estado secular com liberdades civis e garantias da propriedade privada e um governo de contribuintes e representantes. O “povo” passou a ser identificado com a “nação”. As mudanças sociais subsequentes nos países europeus levaram esses ideais para dentro dos empreendimentos e instituições sociais.

Das evoluções institucionais que ocorreram, a adoção de uma ideologia secular foi um dos aspectos mais importantes do século XIX. Todos os indivíduos passaram a integrar na sua linguagem um idioma secular, independentes de quais fossem suas convicções religiosas. Uma nova simbologia se superpôs às ideologias religiosas, propondo uma nova natureza da sociedade, bem como a direção que essa deveria tomar, e passaram a ser discutidas com os novos símbolos e signos que eram fornecidos pelas Artes e pelas Ciências pós-revolucionárias.<sup>4</sup>

Filosoficamente, esses grupos estavam inclinados ao materialismo ou ao empiricismo-racionalismo, condizentes com uma ideologia que tinha como fundamento as forças e os métodos da ciência, principalmente a Matemática e a Física.<sup>5</sup> Ambos os fundamentos formaram as bases das ideologias capitalistas e socialistas do século XIX, com consequências diretas sobre a organização social e as interações entre os indivíduos das sociedades. Cada ideologia fornecia um simbolismo de ordem política diferente e as consequências dos debates em todas as esferas da vida humana foram intensas ao longo do século.

Nas nações germânicas, ao contrário da francesa e da inglesa, os ideais revolucionários eram vistos de forma dúbia, possivelmente influenciada pelo preconceito com ideias estrangeiras advindo da Reforma, principalmente as ideias francesas. O mecanicismo newtoniano, a análise cartesiana e todo o resto desagradava a maioria dos pensadores

---

<sup>3</sup> “Os homens são livres e iguais perante a Lei” consta no primeiro artigo da Declaração.

<sup>4</sup> “Em certo sentido, havia só uma *Weltanschauung* de grande significação[...] Seus expoentes acreditavam firmemente (e com razão) que a história humana era um avanço mais que um retrocesso ou um movimento oscilante ao redor de certo nível. Podiam observar que o conhecimento científico e o controle técnico do homem sobre a natureza aumentavam diariamente. Acreditavam que a sociedade humana e o homem individualmente podiam ser aperfeiçoados pela mesma aplicação da razão, e que estavam destinados a seu aperfeiçoamento na História” (Hobsbawn, 1977a, p. 363)

<sup>5</sup> “Em poucas palavras, para o liberalismo clássico, o mundo humano estava constituído de átomos individuais com certas paixões e necessidades, cada um procurando acima de tudo aumentar ao máximo suas satisfações e diminuir seus desprazeres, nisto igual a todos os outros, e naturalmente não reconhecendo limites ou direitos de interferência em suas pretensões. Em outras palavras, cada homem era “naturalmente” possuído de vida, liberdade e busca da felicidade [...]” (Hobsbawn, 1977a, p. 364).



germânicos, que se encontravam distantes da tradição filosófica da Europa Ocidental. Uma exceção ao pensamento romântico germânico foi o filósofo Imanuel Kant, que buscava uma compreensão epistemológica adequada para explicar o sucesso da física newtoniana.

Contudo, entre 1760 e 1830, a filosofia e a literatura germânica sofreram um grande impulso com os trabalhos de pensadores como Goethe, Schiller, Kant, Fichte, Schelling e Hegel. Todos foram influenciados pela ideia de evolução, tanto do Cosmos como um todo, como das sociedades em geral. Diferente dos ideais liberais “pragmáticos” dos ingleses, a tendência liberal dos germânicos tinha aspectos distintos: era predominantemente idealista, rejeitando o empirismo e o materialismo clássico; a sociedade, não o indivíduo, é o ponto de partida do desenvolvimento humano.

Os movimentos artísticos e culturais ajudaram a mudar a forma de expressar as percepções individuais desses novos tempos. Na música, Mozart, Haydn, Beethoven, Schubert, Chopin, Mendelssohn, Schumann expressavam as intensidades típicas do Romantismo Europeu. Na literatura, Balzac, Goethe, Dickens, Schiller, Stendhal, Dostoiévski, Gogol, Jean Paul, Novalis, Walter Scott, Leopardi, Manzoni, Victor Hugo, Dumas, Grillparzer e Petofi eram a máxima expressão do Romantismo nas letras, fornecendo os símbolos e as expressões linguísticas para as novas impressões e sentimentos humanos. As artes forneciam, assim, os símbolos básicos que expressavam a nova situação do homem no século XIX. E de certa forma, o que era expresso eram os extremos: a maioria dos artistas e pensadores românticos são encontrados na extrema esquerda ou na extrema direita, e possuíam especial repulsa para com a sociedade burguesa.<sup>6</sup>

Semelhante às Artes, a Ciência também desenvolvia um simbolismo completamente novo para descrever a Natureza, colocando novas possibilidades e problemas, padrões de pensamento distintos e exigências cada vez mais específicas para lidar com os problemas naturais. Com o desenvolvimento da Técnica, proporcionado pela Revolução Industrial, a ciência pode resolver problemas anteriores e colocar novos problemas, criando campos de investigações novos, novos

---

<sup>6</sup> No Manifesto Comunista, famoso documento redigido em meados do século apresenta bem uma visão da época: “Ele impiedosamente quebrou os fortes laços feudais que uniam o homem a seus superiores naturais, e não deixou nenhum outro vínculo entre os homens a não ser o puro interesse pessoal e o insensível ‘pagamento em espécie’. Ele afogou os mais divinos êxtases de fervor religioso, de entusiasmo nobre, de sentimentalismo filisteu, na congelada água do cálculo egoísta. Transformou o valor social em valor de troca, e em lugar das inumeráveis e inquebrantáveis liberdades ergueu uma simples e inescrupulosa liberdade – a liberdade de Comércio.” (MARX & ENGELS, 1983, p. 123).

instrumentos práticos e de medição e, principalmente, novos instrumentos de teorização. Todo esse estímulo e formação desse pensamento alterou radicalmente alguns campos de pesquisa, fundando ciências completamente novas, como a química, a geologia, a biologia e as ciências sociais.

Com o desenvolvimento das instituições sociais, fruto das ideias revolucionárias, a ciência se aliou à indústria e ao governo de cada nação, conforme as condições predisponentes fossem favoráveis ou não. Um esforço conjunto entre os dois empreendimentos aparecia nos esforços de guerra e na expansão ferroviária. O estímulo à educação técnica e científica por parte dos governos, principalmente das repúblicas democráticas, fundou diversos institutos de ensino como a *Politechnique*, da Bélgica até São Petersburgo, o Instituto dos Mecânicos de Londres, entre outros, bem como um muito mais modesto incentivo à pesquisa, que foi materializada em grupos como a Royal Society e a Sociedade Lunar. Apesar da ciência ter se ampliado para abarcar países e povos antes considerados insignificantes, passou a ser feita primordialmente dentro dos estados-nação: o cientista permanecia dentro de uma determinada área simbólica e linguística, comunicando-se com seus colegas apenas através de jornais especializados, exceto por pequenas visitas a outros países ou nos ainda raros congressos científicos.<sup>7</sup>

A Física, ainda influenciada pela mecânica newtoniana que havia substituído os fluidos imponderáveis, seguia com as pesquisas que tinham se desenvolvido no século anterior, com novas descobertas, novos métodos e novas questões, tentando coordenar os assuntos em teorias científicas mais amplas. A profissão de físico passou a ser reconhecida e essa profissionalização, pelas próprias necessidades extrínsecas à academia, fez com que os institutos, universidades e escolas técnicas passassem a treinar os estudantes tanto para serem professores como profissionais técnicos propriamente ditos (HEILBRON, 2015).

A partir de meados do século XIX, a física cumpriu cada vez mais a promessa de Bacon, de que a ciência experimental melhoraria a condição humana. Novas indústrias competiam para fornecer comunicação elétrica, luz e energia, e para inventar eletrodomésticos para a casa e o local de trabalho. Novas agências governamentais, nacionais e internacionais, passaram a existir para regular os serviços e padronizar os produtos. Universidades antigas introduziram novos currículos para competir com as novas escolas superiores técnicas e substituiu academias como o principal local de pesquisa. Ao mesmo

---

<sup>7</sup> Típico desse período foi o surgimento de periódicos dos tipos: compêndios, anais, atas e journals.

tempo, sociedades de físicos surgiram para atender aos interesses profissionais de seus membros (HEILBRON, 2015, p. 128).

O eletromagnetismo, por exemplo, teve grande desenvolvimento com as descobertas de Galvani (1786), Volta (1799), Oersted (1820) e Faraday (1831), que permitiram o desenvolvimento do conceito de corrente elétrica, desenvolvimento de baterias e pilhas, descoberta das relações entre eletricidade e magnetismo, e o desenvolvimento do conceito de campo, que mais tarde seriam unidos teoricamente por Maxwell (1873). Os desenvolvimentos desse campo da Física tiveram impactos tecnológicos imediatos e expressivos, principalmente no segundo estágio da Revolução Industrial (ROCHA, 2002).

Outro campo da Física que se desenvolveu consideravelmente nessa época foi a Termodinâmica. De acordo com Bernal (1975, p. 586), a ciência do calor e energia é um tema que foi influenciado diretamente pela Revolução Industrial, incluindo o desenvolvimento econômico relacionado com a eficiência das máquinas a vapor. O tratado de Sadi Carnot (1824) é um dos grandes exemplos onde a fecundidade dos problemas científicos pode ser atribuída ao fato de que o estímulo à atividade científica naquela época estava voltado para problemas suscitados pela indústria (BERNAL, 1975; HOBBSAWM, 2014a; NÓBREGA, 2009).

Na Química, o *Tratado elementar de química* (1789) de Lavoisier (1733-1789) buscou propor uma teoria química elementar para os processos químicos fundamentais através de medições precisas. A teoria atômica (1803) desenvolvida por John Dalton (1766-1844) criou símbolos e representações como a fórmula química e a estrutura química. Friedrich Wöhler (1800-1882) descobriu (1828) que a uréia, um composto orgânico, poderia ser produzido em laboratório através de reações entre compostos inorgânicos.

Em campos como a Biologia e a Geologia em suas buscas pelas origens do mundo e das espécies, levantaram questões importantes acerca da evolução do mundo e de outros “tempos.” Ampliando imensamente a escala de tempo no imaginário humano e associada à História, recém-criada como disciplina acadêmica, as descobertas de fósseis e antigas civilizações levaram a grandes desenvolvimentos, principalmente em disciplinas como a Antropologia, a Arqueologia e a Paleontologia. Juntamente com as disciplinas naturais, as ciências sociais também apresentaram um desenvolvimento significativo nesse período.

É importante notar que esse desenvolvimento não se deu isolado do resto da sociedade como um todo. Hobsbawm (2014a) aponta as relações entre os fatores extrínsecos da ciência como a relação da geologia e da religião, cujo pensamento dogmático impedia os cientistas de desenvolverem respostas adequadas às novas descobertas. O autor ainda aponta o paralelismo entre as ciências, as artes e as atitudes políticas sociais: tanto o Classicismo como o Romantismo “existiram também nas ciências e, como já vimos, cada um se ajustava a um enfoque particular da sociedade humana” (HOBSBAWM, 2014a, p. 451).

Hobsbawm conclui que, seja pela indústria ou pelo governo, “a ciência se beneficiou tremendamente com o surpreendente estímulo dado à educação científica e à técnica” (HOBSBAWM, 2014a, p. 385). Isso implicou um crescimento do número de cientistas e, conseqüentemente, o desenvolvimento da ciência em seus mais diversos aspectos, desde novos métodos e instrumentos até conceitos e teorias. Aqueles se beneficiaram dos estímulos da revolução industrial e da expansão do comércio propiciado pelo capitalismo crescente nos países ocidentais.

## 2.2. O CONTEXTO AUSTRO-HÚNGARO

O império austríaco começou o século XIX envolvendo-se nas guerras napoleônicas contra a França revolucionária. No início, sofreu sucessivas derrotas nas mãos de Napoleão, empreendendo uma campanha de pouco sucesso. De 1792 até 1801, os austríacos sofreram 754.700 baixas. A derrota significou o fim do antigo Sacro Império Romano. Os estados satélites de Napoleão no sul e no oeste da Alemanha separaram-se do Império no verão de 1806, formando a Confederação do Reno e, alguns dias depois, Francisco proclamou o Império dissolvido e renunciou à antiga coroa imperial em 6 de agosto de 1806 (JUDSON, 2016).

Dois anos antes, em 1804, o Império da Áustria havia sido fundado, sob a regência dos Habsburgos. Em 1814, conjuntamente com as forças aliadas, os exércitos austríacos invadiram a França e puseram fim às guerras napoleônicas. Seguiu-se à vitória o Congresso de Viena, em 1815, que elevou a Áustria como uma das quatro potências dominantes do continente. Foi um grande evento social dos representantes das grandes potências como um verdadeiro Congresso e foi presidido por Metternich. A ordem resultante foi referida como o Concerto da Europa. Estabeleceu um equilíbrio de poder e esferas de influência. Além de redesenhar o mapa político, criou uma nova entidade a partir das cinzas do Sacro Império Romano, a Confederação Alemã.

Alcançar a presidência desta nova entidade foi o maior ganho da Áustria no Congresso. O que o Congresso não pôde fazer foi recuperar a antiga ordem na qual a autoridade austríaca e dos Habsburgos havia descansado (JOHNSON, 1989).

No mesmo ano, a Confederação Alemã (*Deutscher Bund*) foi fundada sob a presidência da Áustria. Sob o controle de Metternich, o Império Austríaco entrou em um período que ficou conhecido por período de Biedermaier ou *Vormärz*, referindo-se ao período anterior à revolução de março de 1848. Foi um período de censura e um estado policial entre 1815 e 1848. Metternich manteve uma mão firme no governo resistindo às liberdades constitucionais exigidas pelos liberais. O governo era realizado ou com base nos costumes germânicos, ou por decreto imperial (*Hofkanzleidekrete*). No entanto, tanto o liberalismo quanto o nacionalismo estavam em ascensão, o que resultou em conturbação política, principalmente em 1848.

Segundo Péter & Pynsent (1988, p. 1), “a cultura na monarquia de Habsburgo sempre foi fragmentada. Mesmo no nível social mais elevado, a elite da Monarquia consistia em grupos culturalmente diversos. A diversidade no topo refletia uma sociedade que carecia de homogeneidade cultural.” Essa heterogeneidade cultural se refletia em questões políticas. Por causa de conflitos sociais, políticos e nacionais não resolvidos, iniciou-se a revolução de 1848 com o objetivo de criar uma Alemanha unificada. Metternich e Imperador Ferdinand I foram forçados a renunciar para serem substituídos pelo jovem sobrinho do imperador, Franz Joseph. Como a Áustria não estava disposta a abrir mão de seus territórios de língua alemã para o que se tornaria o Império Alemão de 1848, a coroa do recém-formado império foi oferecida ao rei prussiano Friedrich Wilhelm IV. Tendências separatistas (especialmente na Lombardia e na Hungria) foram suprimidas pela força militar. Uma constituição foi promulgada em março de 1848, mas teve pouco impacto prático, embora as eleições tenham sido realizadas em junho (JUDSON, 2016).

A década de 1850 foi politicamente caracterizada pelo retorno ao neoabsolutismo e a revogação do constitucionalismo (TAYLOR, 1948). No entanto, uma das concessões aos revolucionários com impacto duradouro foi a libertação de camponeses na Áustria. Isso facilitou a industrialização, já que muitos migraram para as cidades recém-industrializadas do domínio austríaco (nos centros industriais da Boêmia, Baixa Áustria, Alta Estíria e, principalmente a região de Viena). O motim social levou a um maior conflito em cidades etnicamente mistas, levando a movimentos nacionalistas de massa.

As políticas absolutistas do governo eram impopulares, gerando distúrbios internos, secessionismo húngaro, críticas à governação da Áustria e alegações de corrupção. As primeiras baixas foram os ministros do imperador. O resultado foi uma relutante tarefa do imperador e de seu principal conselheiro Goluchowski de retornar ao governo constitucional, culminando no *Oktoberdiplom* (Diploma de Outubro - outubro de 1860). Este estabeleceu uma monarquia constitucional, com uma assembleia legislativa e autonomia provincial. Isso nunca foi completamente implementado devido à resistência húngara, exigindo a autonomia total perdida em 1849. Consequentemente, o Diploma de Outubro foi substituído pela *Februarpatent* (Patente de Fevereiro – fevereiro de 1861) estabelecendo um órgão legislativo bicameral, o *Reichsrat*. A *Herrenhaus* (Câmara dos Lordes) consistia de posições nomeadas e hereditárias, enquanto a câmara baixa, a *Abgeordnetenhaus* (Câmara dos Deputados) era nomeada pelas provinciais. O Reichsrat se reuniria com ou sem os húngaros, dependendo das questões em consideração. Este foi um primeiro passo para o estabelecimento de uma legislatura separada de Cisleitana, por outro lado, o papel mais limitado das dietas na patente de fevereiro, em comparação com o diploma de outubro, enfureceu os defensores do regionalismo. O *Reichsrat* foi dominado pelos liberais, que seriam a força política dominante nas próximas duas décadas (TAYLOR, 1948; JOHNSON, 1989).

Em 1864, a Áustria e a Prússia lutaram contra a Dinamarca e garantiram a independência da Dinamarca dos ducados de Schleswig e Holstein (JOHNSON, 1989). Existindo uma discordância entre a Áustria e a Alemanha em como os dois ducados deveriam ser administrados, foi desencadeada a Guerra Austro-Prussiana em 1866. O resultado foi um realinhamento radical do poder na Europa Central. A Áustria trouxe a disputa contínua sobre Holstein antes da dieta alemã e também decidiu convocar a dieta de Holstein. A Prússia, declarando que a Convenção de Gastein havia sido anulada, invadiu a Holstein. Quando a dieta alemã respondeu votando por uma mobilização parcial contra a Prússia, Bismarck declarou que a Confederação Alemã estava acabada. Como resultado dessas guerras, a Áustria havia perdido todo o seu território italiano e agora estava excluída de outros assuntos alemães, que agora estavam reorganizados sob o domínio prussiano na nova Confederação da Alemanha do Norte. O conceito de *Kleindeutschland* prevaleceu. Para os austríacos na Itália, a guerra havia sido tragicamente inútil, uma vez que Veneza já havia sido cedida. Derrotados pela Prússia na Batalha de Königgrätz, a Áustria teve que deixar a Confederação Alemã e subsequentemente não mais tomou parte na política alemã (JOHNSON, 1989; TAYLOR, 1948).

A partir da revolução de 1848, na qual participava grande parte da aristocracia húngara, a Hungria estava pressionando a Áustria por mais autonomia, restauração da constituição, realizando uma oposição ao centralismo realizado por Viena e recusando-se a pagar os impostos ao imperador. A Hungria teve pouco apoio na corte de Viena, que era fortemente boêmia e considerava os húngaros como revolucionários. O imperador Franz Joseph viajou para Budapeste em junho de 1865 e fez algumas concessões, como a abolição da jurisdição militar e a concessão de uma anistia à imprensa, garantindo a liberdade de expressão. Não agradou, no entanto, aos liberais húngaros, cujas exigências mínimas eram a restauração da constituição e a coroação separada do imperador como rei da Hungria. Em janeiro de 1866, uma delegação do parlamento húngaro viajou a Viena para convidar a família imperial a fazer uma visita oficial à Hungria, o que aconteceu, de certa forma, de janeiro a março. Enquanto os sentimentos anti-húngaros cresciam na corte, a posição do imperador estava se tornando cada vez mais insustentável, com o exército prussiano agora em Pressburg (Bratislava) e Viena abarrotada de exilados, enquanto a esperança da intervenção francesa se mostrou infrutífera. Os húngaros recrutaram a Imperatriz Elisabeth, que se tornou uma forte defensora de sua causa (JOHNSON, 1989; TAYLOR, 1948).

O Compromisso Austro-Húngaro de 1867, o *Ausgleich*, concedia dupla soberania ao Império Austríaco e o Reino da Hungria, sob o comando do imperador Franz Joseph I. O domínio austro-húngaro deste império multicultural incluiu vários grupos eslavos, incluindo croatas, tchecos, poloneses, rusyns, sérvios, eslovacos, eslovenos e ucranianos, bem como grandes comunidades italianas e romenas (JOHNSON, 1989). Assim, os húngaros finalmente alcançaram seus objetivos de autonomia. O império tinha agora duas capitais, dois gabinetes e dois parlamentos, com metade ocidental do reino conhecido como *Cisleithania* e a oriental húngara *Transleithania*, isto é, os reinos de cada lado do afluente Leitha do rio Danúbio, tornaram-se dois reinos com uma política interna diferente, mas com governante, políticas externa e militar comuns.

O imperador Franz Joseph fez um discurso em maio ao *Reichsrat* pedindo ratificação retroativa e prometendo mais reformas constitucionais e maior autonomia para as províncias, mostrando uma redução voluntária do poder absolutista. Em 8 de junho, o imperador e a imperatriz foram coroados rei e rainha da Hungria em uma cerimônia cuja pompa e esplendor pareciam fora da recente humilhação militar e política da Áustria e da extensão das reparações financeiras. Como parte das comemorações, o imperador anunciou novas concessões, anistia e

reversão do confisco de propriedades. Em troca do apoio dos Liberais ao *Ausgleich*, concessões foram feitas na nova lei constitucional de 21 de dezembro de 1867, que foi a base do governo austríaco até o fim do império, e foi amplamente baseada na Patente de Fevereiro, o *Reichsrat* e incluiu uma Declaração de Direitos dos cidadãos. Em última análise, o equilíbrio político da monarquia representou um compromisso dialético entre o autoritarismo (*Obrigkeitsstaat*) e do parlamentarismo (*Rechtsstaat*).

Como resultado, as questões políticas na Áustria-Hungria tornaram-se cada vez mais complexas e de difícil solução em uma era de movimentos nacionalistas emergentes, exigindo uma considerável dependência de uma polícia secreta. No entanto, o governo da Áustria tentou o seu melhor para se acomodar em alguns aspectos: O *Reichsgesetzblatt*, publicando as leis e decretos da Cisleithania, foi emitido em oito idiomas. Todos os grupos étnicos nacionais tinham direito a escolas com instrução dada na sua própria língua e ao uso de suas respectivas línguas maternas em gabinetes estatais e assuntos governamentais (JOHNSON, 1989).

Os partidos políticos tornaram-se entidades legítimas na Áustria a partir de 1848, mas a Patente de Fevereiro forneceu pouco espaço para a organização partidária. A Igreja Católica possuía um papel importante na vida política do império, em conjunto com a aristocracia e os conservadores. Aliadas contra essas forças estavam uma classe média urbana secular, refletindo o Iluminismo e a Revolução Francesa com seu anticlerismo, além de elementos da esquerda nacionalista alemã, defendendo os interesses da Grande Alemanha contra os eslavos, e o apoio da *intelligentsia*. No entanto, a estrutura partidária não era coesa e os agrupamentos continham facções (*Klubs*) internas opostas com relação ao governo da época. Esses partidos refletiam a divisão tradicional direitaXesquerda da visão política. A esquerda derivou seu nome de seu apoio em princípio à constituição de 1861-7 e foram os elementos impulsionadores da revolução de 1848, a direita apoiou os direitos históricos. A esquerda atraiu seu apoio da burguesia proprietária (*Besitzbürgertum*), profissionais afluentes e do funcionalismo público. As eleições de 1867 viram os liberais tomarem o controle da câmara baixa e foram instrumentais na adoção da constituição de 1867 e na revogação da Concordata de 1855 (1870) (JOHNSON, 1989).

O sufrágio melhorou progressivamente durante o período 1860-1882. A seleção de deputados ao Reichsrat pelas legislaturas provinciais mostrou-se impraticável, particularmente quando a dieta boêmia efetivamente boicotou o Reichsrat em uma tentativa de adquirir status igual aos húngaros em uma monarquia tripartida. Como resultado, o sufrágio foi mudado para



a eleição direta para o *Reichsrat* em 1873. As divisões iniciais entre partidos católicos, liberais, nacionais, radicais e agrários diferem em termos étnicos, fragmentando ainda mais a cultura política. No entanto, surgia agora a presença de partidos extra-parlamentares, enquanto anteriormente os partidos eram puramente intra-parlamentares. Isso proporcionou uma oportunidade para os desprivilegiados encontrarem uma voz. Essas mudanças estavam ocorrendo contra um cenário em rápida transformação de uma economia austríaca que estava se modernizando e industrializando e crises econômicas como a de 1873 e sua resultante depressão (1873-1879), e os partidos tradicionais demoraram a responder às demandas econômicas da população austríaca (TAYLOR, 1948).

Nesse período, existia a promoção de um forte sentimento pangermanista dentro de todos os diferentes círculos sociais austríacos. Intelectuais e políticos austríacos de ascendência germânica, como Karl Lueger (1844-1910), que foi prefeito de Viena, e Georg Ritter von Schönerer (1842-1921), cujas ideias influenciaram o movimento nazista no século XX, promoveram um forte pangermanismo na esperança de reforçar uma identidade étnica alemã e a anexação da Áustria à Alemanha. Alguns austríacos também usaram o pangermanismo como uma forma de populismo para promover seus próprios objetivos políticos. Embora as políticas de Bismarck excluíssem a Áustria e os austríacos alemães da Alemanha, muitos pan-alemães austríacos o idolatravam e usavam flores azuis, conhecidas como a flor preferida do imperador alemão Wilhelm I, em seus trajes, além de chapéus com as cores nacionais alemãs. Esses atos, embora tenham sido temporariamente proibidos nas escolas austríacas, eram uma forma de demonstrar descontentamento em relação ao império multiétnico.

Esta era viu o crescimento dos sentimentos anti-liberais e o declínio das fortunas do Partido Liberal, que manteve o poder desde 1867, além de um breve período de governo conservador em 1870-1. Em 1870, o apoio liberal à Prússia na Guerra Franco-Prussiana de 1870 desagradou o imperador e ele se voltou para os conservadores para formar um governo sob o comando do conde Karl Sigmund von Hohenwart (1871). Hohenwart era o líder conservador no parlamento, e o imperador acreditava que suas visões mais simpáticas às aspirações eslavas e ao federalismo enfraqueceriam os liberais austríacos de ascendência alemã. Hohenwart nomeou Albert Schäffle como seu ministro do comércio e elaborou uma política conhecida como os artigos fundamentais de 1871 (*Fundamentalartikel*). A política falhou, o imperador retirou seu apoio e os liberais recuperaram o poder.

O partido liberal tornou-se nacionalista e não-liberal, e contra cujo conservadorismo social os intelectuais progressistas se rebelaram (GRANDNER, 1996). Durante sua oposição de 1870-1, eles bloquearam as tentativas de estender a monarquia dual a uma monarquia tripartida, incluindo os tchecos, promoveram o conceito de *Deutschtum* (concessão de todos os direitos de cidadania àqueles que exibiam as características de alemão) e opuseram-se à extensão do sufrágio porque o sufrágio restrito favorecia sua base eleitoral. Em 1873, o partido se fragmentou, com uma facção radical do Partido Constitucional formando o Clube Progressivo *Fortschrittsklub*, outra facção de direita formou o *Verfassungstreue Grossgrundbesitz*, deixando uma terceira facção de *Altliberale*. O resultado foi uma proliferação dos grupos alemão liberal (*Deutschfreiheitlichkeit*) e alemão nacional (*Deutschnationalismus*).

Embora as conquistas liberais incluíssem a modernização econômica, a expansão da educação secular e a reconstrução cultural de Viena, enquanto colaboravam com a Administração (*Verwaltung*), após 1873, uma série progressiva de divisões e fusões continuaram a enfraquecer o partido que efetivamente desapareceu em 1911. Nas eleições seguintes, os liberais perderam o parlamento e passaram para a oposição. O novo governo liderado pelo conde Edward Taaffe (1879-1893) consistia basicamente de um grupo de facções, o Anel de Ferro (*Der eiserne Ring*), unidos contra os liberais. No entanto, a oposição liberal obstruiu o governo para buscar a reforma eleitoral como uma estratégia para enfraquecer sua posição, que foi promulgada em 1882. A coalizão, nominalmente conservadora e comprometida com o antissocialismo, aprovou uma série de reformas sociais ao longo das décadas de 1880 e 1890. Estas foram reformas que os liberais foram incapazes de superar, devido ao governo fortemente ligado ao conceito de direitos individuais à autodeterminação, livre de interferência do governo (GRANDNER, 1996). Tais medidas tiveram o apoio de ambos os liberais, agora a Esquerda Unida (*Vereinigte Linke*) e o Partido Nacional Alemão (*Deutsche Nationalpartei*), um desdobramento do Movimento Nacional Alemão (*Deutschnationale Bewegung*). As reformas eleitorais de 1882 foram as mais influentes na medida em que emancipou proporcionalmente mais alemães.

No entanto, a política de inclusão étnica do governo Taaffe alimentou o nacionalismo entre a população de língua alemã. Os liberais mantiveram o forte centralismo da era absolutista, enquanto os conservadores tentaram um estado mais federalista que levou à queda do governo de Taaffe em 1893 (GRANDNER, 1996). À esquerda, a disseminação de ideias

anárquicas e governo opressor viu o surgimento de um Partido Social Democrata Marxista (*Sozialdemokratische Arbeiterpartei Österreichs*) em 1889, que conseguiu ganhar assentos nas eleições de 1897 que se seguiram à extensão do sufrágio em 1896 para incluir camponeses e as classes trabalhadoras, estabelecendo o sufrágio universal masculino, embora não igual (TAYLOR, 1948).

Culturalmente, Viena era a também o centro de massa, encerrando em seu círculo as mais diversas atitudes culturais, como descrevem Janik & Toulmin:

Surge um leve choque ao descobrir que Anton Bruckner dava aulas de piano a Ludwig Boltzmann; que Gustav Mahler levaria seus problemas psicológicos ao Dr. Freud; que Breuer era o médico de Brentano; que o jovem Freud travou um duelo com o jovem Viktor Adler, que freqüentou a mesma escola secundária, como os últimos dos Habsburgos, Carlos I, e Arthur Seyss-Inquart, mais tarde o comissário nazista da Holanda; e que o próprio Adler, como Schnitzler e Freud, tinha sido assistente na clínica de Meynert. [...] Esse fator precisa ser levado em conta quando descobrimos que toda uma gama de criações intelectuais e artísticas, variando da música de Arnold Schonberg à arquitetura de Adolf Loos - e incluindo até, à sua maneira, o *Tractatus de Ludwig Wittgenstein Logico-Philosophicus* - estavam intimamente e conscientemente relacionados. (JANIK & TOULMIN, 1973, p. 92-93)

Economicamente, a segunda metade do século XIX viu muita construção, expansão das cidades e linhas ferroviárias e desenvolvimento da indústria. Durante a primeira parte deste período, conhecido como *Gründerzeit*, a Áustria tornou-se um país industrializado, embora as regiões alpinas permanecessem caracterizadas pela agricultura. A Áustria pôde celebrar sua nova grandeza encontrada na Exposição Mundial de Viena (*Weltausstellung*) de 1873, com a participação de todas as cabeças coroadas da Europa e além. Este período de relativa prosperidade foi seguido pelo crash do mercado de ações de 1873.

Artisticamente, o período do Congresso de Viena até a revolução de 1848, conhecido como período *Biedermeier* de design e arquitetura. Com Franz Joseph surgiu um novo momento artístico, caracterizado pelo estilo *Belle Époque*, com amplos edifícios e a construção da *Ringstrasse* em Viena, com seus edifícios monumentais. 1897 viu a renúncia de um grupo de artistas da Associação de Artistas Austríacos (*Gesellschaft bildender Künstler Österreichs*). O movimento foi um protesto contra o historicismo e o conservadorismo da antiga organização, seguindo movimentos semelhantes em Berlim e Munique. Em parte, isso foi uma revolta contra os excessos percebidos da era anterior e um desejo de retornar à relativa simplicidade do

período Biedermaier. Arquiteticamente, essa era a era do *Jugendstil* (Arte Nova) e o trabalho contrastante de homens como Otto Wagner, conhecido por embelezamento, e Adolf Loos, que representava contenção. *Art Nouveau* e o estilo moderno chegaram relativamente tarde à Áustria, por volta de 1900.

Na literatura, uma das figuras proeminentes foi Karl Kraus, ensaísta e satirista, conhecido por seu jornal *A Tocha* (*Die Fackel*), fundado em 1899. Na cena musical, Johan Strauss e sua família dominaram a cena vienense durante todo o período, e que também produziu Franz Schubert, Ludwig van Beethoven, Anton Bruckner, Johannes Brahms, Arnold Schoenberg, Franz Lehár e Gustav Mahler. Nos primeiros anos do século XX (*Fin de Siècle*), a vanguarda estava começando a desafiar os valores tradicionais, muitas vezes chocando a sociedade vienense, como Reigen, a obra de Arthur Schnitzler, as pinturas de Klimt e a música de Schoenberg, Anton Webern e Alban. Berg e a Segunda Escola Vienense (*Zweite Wiener Schule*).

### 2.3. INFÂNCIA E JUVENTUDE EM VIENA (1844-1869)

No ano de 1844, na noite de 20 de fevereiro<sup>8</sup>, nasceu Ludwig Eduard Boltzmann, primeiro filho de Ludwig Georg e Maria Katharina Boltzmann. Seus pais tinham se mudado fazia pouco tempo para Viena, capital do Império Austríaco, vindo a residir no bairro Landstraße. No dia após seu nascimento, foi batizado na Igreja Católica Romana, religião de sua mãe, na paróquia de St. Rochus e St. Sebastian, apesar da família de seu pai ser protestante. Seus irmãos, Albert e Hedwig, nasceram, respectivamente, em 1846 e 1848 (FASOL-BOLTZMANN, 2006).

Seu pai, Ludwig Georg (1802-1859), havia estudado Direito na Universidade de Viena e trabalhava como comissário de gestão financeira no setor de impostos do serviço público. Sua mãe, Maria (1810-1885), era filha de um rico comerciante de Salzburg. As condições financeiras do casal eram altas o suficiente para lhes permitir pagar um tutor privado, que cuidou da educação elementar de seus filhos. Depois se mudaram para Wels e, posteriormente, Linz, onde Ludwig veio a ser matriculado no *Gymnasium* de Linz. Apesar do currículo tipicamente humanista do colégio, o jovem físico logo apresentou um alto desempenho em

---

<sup>8</sup> Uma noite de Terça-feira Carnaval para Quarta-feira de Cinzas. O fato de ter nascido nessa data entre festas era sempre lembrado pelo físico como responsável pelas mudanças bruscas em seu humor, passando de grande alegria para tristeza profunda.

matemática e ciências naturais e, mesmo tendo perdido muitas classes devido aos vários problemas de saúde que apresentava, era o primeiro da classe.

Dentro de educação escolar que recebeu, Ludwig também tomou aulas de piano com o professor Anton Drucker, que despertou nele um grande interesse pela música de Ludwig van Beethoven. Beethoven e outros artistas românticos, que habitavam o território austríaco e germânico, nesse período causariam grande impacto na personalidade de Boltzmann. Schiller e Goethe eram algumas das influências literárias do jovem Boltzmann.

Tragicamente, com a idade de quinze anos, seu pai faleceu vítima de tuberculose e quatro anos mais tarde faleceu seu irmão, fatos que deixaram um trauma indelével no jovem físico. Tendo se formado com excelência no ensino médio em 1863, a Família Boltzmann retornou para Viena. A viúva resolveu investir toda a riqueza familiar que herdara do falecido marido na educação de seu filho. No Outono de 1863, Ludwig iniciou o *Studium* de Matemática e Física na Universidade de Viena.

Como apontado por Hobsbawn (2014b), Viena, como capital do império austríaco, foi uma das grandes cidades europeias onde houve um grande investimento na esfera técnica e acadêmica, incluindo a pesquisa científica. O Instituto de Física da Universidade de Viena foi um dos frutos desses investimentos, tendo sido fundado em 1849 na Erdbergstraße, 15, por Christian Doppler (1803-1854). Este havia ganhado notoriedade ao descobrir o efeito que leva seu nome – o efeito Doppler, i.e., a mudança da frequência do som devido ao movimento relativo da fonte ao receptor. O diretor do Instituto e futuro professor de Boltzmann era o físico Josef Stefan (1835-1893) e o instituto possuía considerável autonomia e recursos dentro da universidade. Stefan e Boltzmann passariam a ter um contato próximo, e este escreveria no obituário daquele: “Quando eu aprofundei meu contato com Stefan, e eu ainda era um estudante universitário naquela época, a primeira coisa que ele fez foi me entregar uma cópia dos artigos de Maxwell e desde que naquele tempo eu não entendia uma palavra de Inglês, ele também me deu uma gramática de Inglês; eu havia recebido um dicionário de meu pai” (CERCIGNANI, 1998, p. 6). Posteriormente, os trabalhos de Maxwell, tanto no eletromagnetismo como na teoria dos gases, teriam considerável influência nos trabalhos de Boltzmann.

Enquanto aluno da Universidade de Viena, Ludwig frequentou aulas de professores como Andreas von Ettingshausen (Física), Josef Petzval (Matemática), Josef Stefan (Física), August Kunzek (Física), Robert Zimmermann (Filosofia) – com este último, Boltzmann realizou oito

de suas nove disciplinas em Filosofia (WILSON, 1993). Boltzmann teve contato, desde muito cedo, com a teoria eletromagnética de Maxwell, que teve sua importância reconhecida por Helmholtz e Stefan, ambos professores de Ludwig. Em 1865, ainda como estudante, Boltzmann publicou uma aplicação da teoria de Maxwell com o título *Über de Bewegung der Electricität in krummen Flächen* e um segundo trabalho, na área de termodinâmica, *Über die mechanische Bedeutung des zweiten Hauptsatzes der Wärmelehre*. Para ele, esses trabalhos eram “... uma prova do que, em áreas pobres de importância, pode ser feito” (FASOL-BOLTZMANN, 2006, p.4).

Como vimos, a termodinâmica foi uma das áreas que apresentou grande crescimento dentro da ciência física e a relação direta entre os estudos sobre a segunda lei e as eficiências das máquinas nos mostra como áreas específicas da ciência podem ser afetadas por fatores extrínsecos. Após a publicação do trabalho de Carnot por Clayperon, o campo se desenvolveu com os trabalhos de Mayer, Thomson, Joule e Helmholtz, acerca do Princípio da Conservação da Energia, conhecida também como a Primeira Lei da Termodinâmica. Posteriormente, Clausius e Thomson lidaram com um segundo problema derivado das teorizações de Carnot, relacionados à tendência do calor em se dissipar nos processos. O conceito de entropia foi criado para formalizar teoricamente os ciclos reversíveis, e Clausius enunciou o Princípio de Aumento de Entropia, que ficou conhecido como a Segunda Lei da Termodinâmica (HEILBRON, 2015; PINHO; ANDRADE, 2002).

Antes de sua graduação em outubro de 1866, Boltzmann foi promovido a assistente de Stefan e passou no exame para o tornava apto para lecionar matemática e física em escolas secundárias. Em 19 de Dezembro de 1866, recebeu o grau de Doutor em Filosofia. O grau de doutor foi obtido sem a apresentação de uma tese, visto que o curriculum de filosofia da Universidade de Viena só passou a exigi-lo em 1972 (CERCIGNANI, 1998).

No ano acadêmico de 1867/68, completou o *Studium* (estágio probatório) do Ginásio Acadêmico. Publicou o seu primeiro trabalho no tema da teoria dos gases, *Über die Anzahl der Atome in den Gasmolekülen und die innere Arbeit in Gasen* (1867) Nesse ano, a fortuna de sua mãe chegou ao fim, mas o jovem filho já tinha condições de prover para a sua família. Com apenas 23 anos, ele havia feito o pedido à Faculdade de Filosofia de Viena do *venia docendi* – habilitação de pós-doutorandos para serem elegíveis ao cargo de *Privatdozent* (Professor Associado) em países germânicos – para ensinar todos os assuntos de Física-Matemática. O

pedido foi confirmado pelo Ministério em 19 de março de 1868, dando a ele o *venia legendi* (direito de palestrar).

Durante esse período em que dava palestras nas universidades, publicou os trabalhos *Über die Integrale linearer Differentialgleichungen mit periodischen Koeffizienten* e *Studien über das Gleichgewicht der lebendigen Kraft zwischen bewegten materiellen Punkten*. A Figura 2 mostra Boltzmann na época em que lecionava na Universidade de Viena, onde permaneceu até o dia 31 de julho de 1869 (FASOL-BOLTZMANN, 2006).

**Figura 2.** Ludwig Boltzmann, aos 24 anos de idade, quando ele era palestrante na Universidade de Viena.



Fonte: Adaptada de Cercignani (1998).

#### 2.4. MUDANÇA PARA GRAZ E RETORNO À VIENA (1869-1876)

Nesse período, devido às transferências de Ernst Mach para Praga, de August Toepler para Riga e a aposentadoria de Hummel, surgiu uma oportunidade de lecionar e Boltzmann acabou sendo selecionado para cadeira de Física-Matemática da Universidade de Graz, a capital do estado da Styria, segunda maior cidade da Áustria. A recomendação de Stefan foi importante para a seleção do jovem pupilo pelo ministério do imperador austríaco, que no dia 17 de julho de 1869 o nomeou definitivamente para o cargo de professor pleno da universidade (FASOL-BOLTZMANN, 2006). O Instituto de Física sofria expressivo desenvolvimento graças ao trabalho de seu diretor August Toepler, que tinha construído um novo prédio – cerca de 100.000 florins -, comprado novos aparelhos e instrumentos – cerca de 28.000 florins – e angariou fundos para as pesquisas ali desenvolvidas (CERCIGNANI, 1998). Assim como a Universidade de Viena, a Universidade de Graz se transformou numa referência graças aos investimentos em pesquisa que conseguiu.

Em Graz, iniciando o semestre em setembro, Boltzmann dedicou-se a uma extensa e árdua atividade de ensino e pesquisa. Seu trabalho intenso o levou a escrever cinco artigos até maio de 1870, entre eles *Über die elektrodynamische Wechselwirkung der Teile eines elektrischen Stromes von veränderlicher Gestalt* (1869), *Bemerkung zur Abhandlung des Herrn R. Most: Ein neuer Beweis des zweiten Wärmegesetzes* (1869) e *Über die von bewegten Gasmassen geleistete Arbeit* (1870), onde mostrava sua continuidade nos estudos do eletromagnetismo, da termodinâmica e da teoria dos gases.

Boltzmann buscou gerar uma relação amistosa de troca de ideias com outros cientistas e, buscando contato, visitou os grandes físicos e matemáticos das grandes universidades da Europa continental como Robert Bunsen, Gustav Kirchhoff, Leo Koenigsberger e, especialmente no semestre de inverno de 1871-72, Hermann von Helmholtz na Universidade Friedrich Wilhelm em Berlim. As viagens foram possíveis graças aos fundos de pesquisas obtidos por Toepler para o Instituto. O tratamento com os físicos alemães não era muito semelhante ao que ele estava acostumado com os físicos austríacos, tendo expressado sobre a



pouca diplomacia desses: "Um único olhar para Helmholtz me fez perceber" (BOLTZMANN, 1979, p. 65).<sup>9</sup>

No ano de 1871, continuou suas pesquisas na área de equilíbrio térmico e teoria cinética dos gases, publicando *Zur Priorität der Auffindung der Beziehung zwischen dem zweiten Hauptsatze der mechanischen Wärmetheorie und dem Prinzip der kleinsten Wirkung* (1871), *Über das Wärmegleichgewicht zwischen mehratomigen Gasmolekülen* (1871), *Einige allgemeine Sätze über Wärmegleichgewicht* (1871) *Analytischer Beweis des zweiten Hauptsatzes der Wärmetheorie aus den Sätzen über das Gleichgewicht der lebendigen Kraft* (1871), este último sendo um dos grandes trabalhos que deram origem a interpretação estatística da segunda lei da termodinâmica.

Em 26 de janeiro de 1872, ante a Sociedade Física em Berlim, deu uma palestra sobre o equilíbrio térmico das moléculas de gás. Nesse mesmo ano, ele publicou seu trabalho *Übergang von Gasen zum thermodynamischen Gleichgewicht* no Procedimentos da Academia Imperial de Ciências de Viena, onde veio a demonstrar sua famosa equação de transporte, hoje nomeada Equação de Transporte de Boltzmann, mostrado na equação 1. Também demonstrou a relação entre a função H e a entropia, através da distribuição estatística da energia das moléculas, formalizando matematicamente a segunda lei da termodinâmica – lei do aumento de entropia ou lei da irreversibilidade de fenômenos macroscópicos – e demonstrando sua relação com a evolução temporal da probabilidade termodinâmica (FASOL-BOLTZMANN, 2006). Depois publicou o artigo *Über das Wirkungsgesetz der Molekularkräfte* (1872), explanando as diversas forças moleculares e *Weitere Studien über das Wärmegleichgewicht unter Gasmolekülen* (1872), onde continuou com os estudos acerca do equilíbrio térmico em gases moleculares.

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\vec{p}}{m} \frac{\partial f}{\partial \vec{x}} + \vec{F} \frac{\partial f}{\partial \vec{p}} = \frac{df}{dt} \Big|_{col} \quad (1)$$

---

<sup>9</sup> Com relação à Helmholtz, Boltzmann tinha uma opinião bastante positiva. Escrevendo para sua mãe em 1872, ele disse: "Ontem falei na Sociedade de Física de Berlim. Você pode imaginar o quão difícil eu tentei fazer o meu melhor para não colocar nossa pátria em uma luz ruim. Assim, nos dias anteriores, minha cabeça estava cheia de integrais ... Aliás, não havia necessidade de tal esforço, porque a maioria dos ouvintes não teria entendido minha conversa de qualquer maneira. No entanto, Helmholtz também esteve presente e uma discussão interessante se desenvolveu entre nós dois. Como você sabe o quanto eu gosto de discussões científicas, você pode imaginar minha felicidade. Especialmente porque Helmholtz não está tão acessível de outra forma. Embora ele tenha sempre trabalhado no laboratório nas proximidades, eu não tinha tido chance de falar com ele antes." (CERCIGNANI, 1998, p. 10)

Assumindo a cadeira de professor de matemática na Universidade de Viena em agosto de 1873, Boltzmann continuou seu trabalho como físico teórico e experimental em conjunto com Toepler, vindo a publicar sete trabalhos. Como trabalhos experimentais, Boltzmann se dedicou a diversos experimentos na área do eletromagnetismo, principalmente em investigações acerca das constantes dielétricas, como *Experimentaluntersuchung über die elektrostatische Fernwirkung dielektrischer Körper* e o *Experimentelle Bestimmung der Dielektrizitätskonstante von Isolatoren* (1873). No ano seguinte, publicou o *Experimentelle Bestimmung der Dielektrizitätskonstante einiger Gase*, o *Über einige an meinen Versuchen über die elektrostatisch Fernwirkung dielektrischer Körper anzubringende Korrekturen* e *Experimentaluntersuchung über das Verhalten nicht leitender Körper unter dem Einflusse elektrischer Kräfte*, confirmando com eles a Teoria Eletromagnética de Maxwell, além de outros trabalhos sobre equilíbrio térmico e condução de calor de gases, como o *Über das Wärmegleichgewicht von Gasen, auf welche äußere Kräfte Wirken* (1875). Um dos poucos trabalhos de ótica de Boltzmann foi publicado nesse ano, onde avaliava a relação entre os planos de polarização e a mudança dos comprimentos de ondas das cores, o *Über den Zusammenhang zwischen der Drehung der Polarisationssebene und der Wellenlänge der verschiedenen Farben*.

Entre os trabalhos mais teóricos, Boltzmann se dedicava na tentativa de explicar o Paradoxo de Loschmidt. Essa foi uma das mais intensas críticas que o trabalho de Boltzmann recebeu. A crítica de Josef Loschmidt ao Teorema H de Boltzmann, que empregou a teoria cinética baseada no atomismo para explicar o aumento da entropia em um gás ideal a partir de um estado de não-equilíbrio, quando as moléculas do gás podem colidir. Em 1876, Loschmidt apontou que se há um movimento de um sistema do tempo  $t_0$  para o tempo  $t_1$ , para o tempo  $t_2$ , que leva a uma diminuição constante de H (implicando no aumento da entropia) com o tempo, então há outro estado de movimento permitido do sistema em  $t_1$ , encontrado quando invertemos todas as velocidades, em que a quantidade H deve aumentar. Isso revelou que uma das principais suposições de Boltzmann, o caos molecular, ou o *Stosszahlansatz*, de que todas as velocidades de partículas eram completamente não correlacionadas, não seguia a dinâmica newtoniana. Assim, não deveria ser possível deduzir um processo irreversível a partir de uma dinâmica simétrica no tempo e um com um formalismo matemático simétrico no tempo. Essa dificuldade só viria a ser resolvida em 1895.

Essas contribuições que lhe renderam a admissão na Academia Imperial de Ciências de Viena em 1874 e o prêmio *Freiherr von Baumgartner Preis* da mesma academia em 1875. Em

março desse mesmo ano, ele havia recebido um chamado da Politécnica de Zurique – instituição na qual Albert Einstein, que faria uso de ideias de Boltzmann adaptadas por Planck, estudaria – para ser professor com um alto salário e muitas regalias, mas negou o pedido. No final do mesmo ano receberia uma chamada da Universidade de Freiburg, que lhe ofereceu o cargo de Diretor do Instituto de Física, que também recusou (FASOL-BOLTZMANN, 2006).

Em maio de 1873, Boltzmann fez uma caminhada na área de Graz e aconteceu, por acaso, no Centro de Treinamento de Professores de Graz o encontro com sua futura esposa, Henriette Edler von Aigentler, com quem ele permaneceu em contato via correspondência. Orfã e dez anos mais nova que Ludwig, ela trabalhava como professora enquanto morava na casa do prefeito de Graz. Após o início do relacionamento com Boltzmann, ela começou a estudar matemática na Universidade de Graz, mas teve seus estudos interrompidos devido a uma lei aprovada na Faculdade que baniu alunas. Mesmo apresentando uma petição ao tribunal de Graz, os problemas continuaram e, após o noivado com Ludwig em setembro de 1875, ela abandonou os estudos. Em suas visitas a Graz, além do trabalho com Toepler em Graz, Boltzmann visitava frequentemente sua noiva. Em 17 de julho de 1876, Ludwig e Henriette se casaram na igreja paroquial de Maria Himmelfahrt em Graz

Boltzmann ficou como segundo colocado, mas devido a dificuldades do primeiro colocado na aplicação para a vaga, Ludwig foi nomeado pelo ministro responsável e aceitou a nomeação imediatamente. Na figura 3, Boltzmann na época em que prestou concurso para a vaga de professor na Universidade de Viena. A posição de professor em Viena era tida como o mais alto nível na carreira acadêmica que um cientista austríaco poderia almejar (FASOL-BOLTZMANN, 2006; CERCIGNANI, 1998).

**Figura 3.** Ludwig Boltzmann, aos 31 anos, quando ele era Professor em Viena.



Fonte: Adaptada de Fasol-Boltzmann (2006).

## 2.5. RETORNO À GRAZ (1876-1889)

Ao optar pela estrada que retonava à Graz, Boltzmann enveredou-se por um dos caminhos mais árduos de sua vida. A alta carga de trabalho, as responsabilidades administrativas e dispustas acadêmicas, somadas à frágil saúde física e mental passariam a se tornar elementos comuns na caminhada de Boltzmann. Ao final desse período, as crises psicológicas se tornaram um peso considerável na vida de Boltzmann.

Em 1876, Toepler escreveu uma carta a Boltzmann. Nela, ele lamentava sua demasiada expedição de energia e saúde na reforma do instituto e os problemas derivados da atual falta de recursos. Também informava ao amigo que viria a deixar Graz, partindo para Dresden. A saída de Toepler motivou Boltzmann a retornar à Graz, visto que ele herdaria o laboratório daquele,

voltaria a lecionar física ao invés de matemática, teria uma carga administrativa menor do que na Universidade de Viena e os custos de vida em Graz seriam reduzidos, além de ser a cidade natal de sua esposa. Tendo que disputar a vaga de professor com físicos de alto calibre como Mach, esses dias foram dias de ansiedade para Boltzmann e Henriette, inclusive devido as dificuldades de moradia que tinham em Viena. Em carta a Henriette, Boltzmann confessou: “Eu odeio essa contínua batalha secreta; eu sei muito melhor como integrar do que como intrigar” (FASOL-BOLTZMANN, 2006, p. 35).

Pouco depois do casamento, em 18 de agosto, a nomeação para o cargo de professor titular de física e diretor do Instituto de Física da Universidade de Graz foi aprovada pelo Ministério (CERCIGNANI, 1998). O instituto possuía uma quantidade considerável de recursos, espaço, instrumentos e assistentes. Dentro os assistentes de Boltzmann estava Albert von Ettingshausen (1850-1932), futuro descobridor do efeito termoelétrico.

Nesse período, sua teoria cinética estava se tornando apreciada, principalmente na Inglaterra. Juntamente com Maxwell, os avanços promovidos nesse campo por Boltzmann já estavam circulando como no livro *A treatise on the kinetic theory of gases* por Henry William Watson (1827-1903). Posteriormente, Ludwig realizaria uma disputa científica com dois cientistas britânicos famosos Peter G. Tait (1831-1901) e William Burnside (1852-1927), que iriam aumentar o impacto de sua obra na física anglo-saxônica. Tal impacto o levaria ainda aos Estados Unidos da América para uma série de palestras sobre o tema, que teria como consequência uma das formalizações da Mecânica Estatística, notadamente aquela de J. W. Gibbs (1839-1903). Publicou nesse ano *Über die Aufstellung und Integration der Gleichungen, welche die Molekularbewegungen in Gasen bestimmen* (1976) e *Über die Natur der Gasmoleküle* (1976), continuando suas investigações e tentativas de formalização da teoria cinética dos gases.

Após um ano de readaptação em Graz, Boltzmann completou seu mais fundamental trabalho *Über die Beziehung zwischen dem zweiten Hauptsatze der mechanischen Wärmetheorie und der Wahrscheinlichkeitsrechnung respektive den Sätzen über das Wärmegleichgewicht* (1877) que relacionavam a entropia com o logaritmo do número de possibilidades de realização para a ocorrência de um macroestado provável, uma interpretação que estava muito à frente de seu tempo e o fez alcançar o clímax de seu trabalho. Einstein (1905) veio a chamar essa relação de Princípio de Boltzmann, e pode ser expressado segundo a equação 2.

$$S = k \cdot \log W \quad (2)$$

A equação soma uma série de conceitos, desde os átomos até a hipótese érgodica de Boltzmann e Maxwell.

Também publicou *Bemerkungen über einige Probleme der mechanischen Wärmetheorie* (1877) e alguns trabalhos relacionados à teoria da capilaridade e na mecânica. Nesse mesmo período, Arthur von Ettiingshausen (1850-1932) recebeu a posição de *Extraordinarius* (professor associado) para ajudar Boltzmann a cuidar dos assuntos administrativos do Instituto. Em julho de 1878, Boltzmann se tornou *Dekan* (reitor) da Faculdade de Filosofia da Universidade de Graz (FASOL-BOLTZMANN, 2006; CERCIGNANI, 1998).

Na Figura 4, uma foto da família Boltzmann na sua residência em Graz. Nesse período, o casal Boltzmann teve quatro dos seus cinco filhos: Ludwig Hugo (9 de fevereiro de 1878-1889) - ele morreu com uma idade de 11 anos de uma apendicite não reconhecida; Henriette (12 de maio de 1880 - 8 de março de 1945); Arthur Ludwig (25 de julho de 1881 - 6 de novembro de 1952); Ida Katharina (17 de setembro de 1884 - 11 de abril de 1910). Henriette e Ida, que permaneceram solteiras, ambas estudaram matemática e física e fizeram os testes de gramática para a Escola de Gramática. O segundo filho, Arthur Ludwig passou sua infância em Graz, sua juventude em Munique e Viena. Estudou na Universidade de Berlin e terminou seu doutorado em física em 1904 na Universidade de Viena, também tendo estudado engenharia mecânica e engenharia elétrica na Universidade Técnica de Viena (FASOL-BOLTZMANN, 2006).

**Figura 4.** Ludwig Boltzmann e sua família em 1886. Boltzmann em pé e sentados (da esquerda para a direita) Henriette (filha), Henriette, Ida, Hugo e Arthur.



Fonte: Adaptada de Cercignani (1996).

Nos primeiros anos de Graz, a família Boltzmann habitava uma *Naturalwohnung* (residência oficial) do Instituto de Física. Como Boltzmann tinha uma grande atração pela natureza, fruto de sua natureza bucólica e romântica, e queria deixar seus filhos crescerem no campo, comprou uma fazenda na Sonnleitenweg e construiu sua casa de campo na encosta da montanha Platte, acima da aldeia de Oberkroisbach. A Figura 5 mostra a fachada da residência da família nos arredores de Graz. Tendo sofrido devido a inúmeras doenças durante a juventude, sem qualquer melhoria considerável, ele conseguiu recuperar um pouco sua condição física e saúde após mudar para o campo. Praticava ginástica com aparelhos que havia instalado em sua

casa e colocou grande valor em seu uso constante por seus filhos, com quem regularmente realizava extensas excursões, patinava no gelo durante o inverno e nadava durante o verão. Nessas excursões, apresentava sempre bom humor com seus filhos e lhes dava explicações sobre botânica, as quais conhecia bem, chegando a possuir um herbário em sua casa de campo e uma extensa coleção de borboletas (FASOL-BOLTZMANN, 2006).

**Figura 5.** A propriedade da família Boltzmann em Oberkroisbach, quando Ludwig trabalhava como professor na Universidade de Graz.



Fonte: Adaptada de Cercignani (1996).

Possuíam também uma vaca e um cachorro da raça pastor alsaciano, com o qual ia à cidade todos os dias. Era sabido que, ao meio-dia, o cachorro parava e esperava na frente do instituto para acompanhar seu dono até uma pousada próxima à universidade, onde Boltzmann normalmente almoçava. Dentro da pousada, o cão se deitava debaixo de sua mesa, aos pés de Boltzmann. Posteriormente, viria a vender o cachorro, por achar que essa rotina para o cão não seria apropriada.



Era comum para a família Boltzmann receberem amigos e orientandos em sua casa nos fins de tardes e muitas vezes as reuniões se prolongavam até tarde da noite. Boltzmann gostava muito de socializar e nessas ocasiões escrevia poemas jocosos, tocava música de câmara com seu filho Arthur e declamava poemas e citações da literatura clássica alemã (CERCIGNANI, 1998). Dos artistas germânicos, Ludwig van Beethoven era o seu favorito na música, vindo até a escrever um poema denominado *Beethoven in Himmel* (Beethoven no Céu) e comparecia frequentemente a casa de Opera em Viena. Friedrich Schiller era seu ídolo na literatura, ao qual dedicou o seu livro *Populäre Schriften*. Boltzmann via na poesia de Schiller a exaltação do conceito de liberdade individual e a integração da ética com a mensagem do artista. Podemos perceber uma grande influência dos valores românticos na personalidade de Boltzmann, que acabariam se tornando fatores extrínsecos que iriam influenciar seu pensamento, na defesa do pluralismo teórico<sup>10</sup>.

Boltzmann também era eventualmente convidado a comparecer na corte em diversas ocasiões formais. A dura etiqueta austríaca era um fardo para o cientista. Devido a sua miopia, ele comia vagarosamente e a etiqueta não permitia que os convidados continuassem a refeição após o imperador ter parado a sua. O imperador Franz-Joseph malmente tocava em sua comida nas ocasiões oficiais, o que fazia o cientista ficar desapontado quando os garçons removiam sua refeição tão rapidamente, sem que ele chegasse a provar as iguarias da corte. Apesar de sua próxima relação com a corte, Boltzmann recusou o título de nobreza oferecido pelo imperador, alegando que “o nome de nossa família de classe média era bom o bastante para os meus ancestrais e será para os meus filhos e netos também” (CERCIGNANI, 1998, p.16). Segundo Fasol-Boltzmann (2006), apesar de ter uma relação amistosa com o império, Boltzmann se declarava em favor da democracia e do republicanismo. Naturalmente, os valores humanos de liberdade e igualdade defendidos por Ludwig, influenciado sobretudo pelo movimento romântico, não o levariam a apoiar um governo que foi continuamente ambíguo quanto à defesa dos direitos políticos de seus cidadãos, principalmente do sufrágio para cidadãos não-germânicos. O valor e a defesa da liberdade, principalmente de pensamento e de expressão, era muito importante para Boltzmann, e está fundamentalmente presente na tese do pluralismo teórico.

---

<sup>10</sup> Uma tradução do poema esta anexado no fim do trabalho.

O interesse de Boltzmann, no campo da pesquisa física, ia de problemas termodinâmicos até especulativos filosóficos, como o artigo *Besprechung einer Arbeit von E. Cook über die Existenz eines lichttragenden Aethers* sobre a existência do éter luminoso. Em 1884, Boltzmann deu uma de suas grandes contribuições para a física ao demonstrar a Lei de Stefan no artigo *Ableitung des Stefanschen Gesetzes, betreffend die Abhängigkeit der Wärmestrahlung von der Temperatur aus der Lichttheorie*. Nesse trabalho ele apontava que a relação entre a energia irradiada por uma fonte é proporcional à quarta potência da sua temperatura absoluta, como mostrado pela equação 3. Muito foi realizado experimentalmente por Boltzmann, que se aproveitou da estrutura que Toepler havia legado ao Instituto com a reforma que realizara. Boltzmann também havia demonstrado grande aptidão como físico experimental. Ao saber sobre a detecção de ondas eletromagnéticas por Heinrich Hertz, construiu um arranjo experimental correspondente com o qual apresentou esse fenômeno diante de um grande auditório. Sua reputação internacional já atraía jovens pesquisadores de física e química para o Instituto. Entre eles estavam Svante Arrhenius e Walther Nernst. Arrhenius descreveu mais tarde as palestras de Boltzmann como muito transparente e cativante e o chamou de um grande pesquisador e pensador, o maior ornamento das ciências exatas austríacas. Porém, diferente do que viria a fazer depois, Boltzmann evitava discussões sobre a filosofia da ciência e epistemologia.

$$Q_{rad} = \sigma \cdot T^4 \quad (3)$$

Como relata Hobsbawn, “essas transformações científicas não teriam sido possíveis sem o desenvolvimento técnico da economia industrial, com, e. g., o advento da livre disponibilidade da eletricidade, a fabricação de bombas de vácuo adequadas e instrumentos de precisos de medição” (HOBSBAWN, 2014c, p. 386). Os investimentos na pesquisa dos fenômenos magnéticos e elétricos ganharam maior notoriedade com os desenvolvimentos tecnológicos que o uso da corrente elétrica promovia, principalmente a transformação da revolução industrial de sua fase movida unicamente pela energia do vapor, para também englobar a energia elétrica na transformação dos bem materiais. Dentre os experimentos realizados por Boltzmann, estava os experimentos de Hertz sobre a equivalência das ondas eletromagnéticas e da luz, além de outros experimentos que confirmavam a teoria de Maxwell. A grande quantidade de trabalhos publicados nesse período de sua vida lhe rendeu grandes recompensas. Por decreto de 25 de agosto de 1881, Boltzmann recebeu o título de Conselheiro de Governo. No dia 9 de dezembro de 1882, ele se tornou um membro correspondente da Royal Society of Sciences em Göttingen,

em 20 de maio de 1885 da Academia Imperial de Ciências Matemática e Naturais em Viena e, em 12 de novembro, Membro Externo da Royal Society of Sciences de Göttingen na Classe Matemática. Em 29 de junho de 1888, Boltzmann tornou-se membro honorário da Academia Prussiana de Ciências em Berlim.

Em 25 de junho de 1887, foi eleito Reitor da Universidade de Graz para o ano letivo 1887/88. Sua atividade científica era agora muito variada, trabalhando principalmente com eletromagnetismo e termodinâmica, e estava em contato com os físicos mais famosos daquele período: Hendrik Lorentz (1853-1928), Wilhelm Ostwald (1853-1932) e John Strutt, o Lord Rayleigh (1842-1919), sucessor de Maxwell em Cavendish. Lorentz descreveu a derivação de Boltzmann da lei de Stefan-Boltzmann como uma verdadeira pérola da física teórica. Durante vários anos, ocorreu um diálogo científico muito frutífero entre Helmholtz e Boltzmann. Boltzmann usou os sistemas monocíclicos de Helmholtz e em seu trabalho *Über die Eigenschaften monozyklischer und anderer damit verwandter Systeme* (1890), ele introduz a hipótese de que um sistema termodinâmico ao longo do tempo seria compatível com todas os microestados compatíveis com sua energia. Esta hipótese agora é chamada de hipótese ergódica. (FASOL-BOLTZMANN, 2006; CERCIGNANI, 1998).

A morte de sua mãe Katharina, em 23 de janeiro de 1885, foi um duro golpe para Boltzmann, levando-o a ter a primeira grave crise psicológica que se tem registro, uma provável consequência do falecimento da matriarca. Mais tarde, 1888, ele sofreu de uma outra grave crise mental, que o levou a descobrir que sofria de neurastenia, tendência a desenvolver síndrome maníaco-depressiva. Boltzmann também vinha forçando constantemente seus olhos durante seus longos períodos de estudos noturnos, muitas vezes com pouca iluminação. A sua visão foi se tornando cada vez mais difícil, prejudicando-o especialmente na realização de experimentos mais difíceis. Desde sua juventude ele sofria de asma grave, da qual fazia constantes queixas, porém esses anos em Graz pertenceram entre os poucos períodos em que essa doença não perturbou sua vida, ocorrendo apenas algumas vezes.

Em 1887, um evento digno de nota também o levou a ter outro episódio psicológico. Apesar de ter sido um evento dentro da esfera acadêmica, tinha uma dimensão política considerável. Em 22 de novembro, os estudantes pró-alemães de Graz, descontentes com as decisões políticas do Imperador Franz-Joseph vistas anteriormente, tiraram o busto do imperador austríaco de um dos salões principais e fizeram discursos anti-Habsburgos. Boltzmann, como Reitor, foi obrigado a tomar medidas disciplinares contra os estudantes num

processo que durou mais de quatro meses, tendo ficado sob constante tensão com o governador da Estíria, a administração central em Viena e o próprio imperador. Isso produziu um estado de tensão psicológica, devido a um excesso de responsabilidade que o evento lhe trouxe.

O falecimento de Kirchhoff<sup>11</sup> deixou um caminho livre para Boltzmann na Universidade de Berlim, o centro da física naquela época. Boltzmann foi proposto pela Faculdade de Filosofia de Berlim como o sucessor de Kirchhoff, nas seguintes palavras: "... um matemático altamente astuto e distinto, que conseguiu resolver alguns dos problemas mais difíceis e abstratos da termodinâmica mecânica" (FASOL-BOLTZMANN, 2006, p. 16). Porém, o convite de Berlim tornou-se um trágico caso. Em 6 de janeiro de 1888, Boltzmann recebeu o chamado à Faculdade de Filosofia da Universidade Friedrich Wilhelm como sucessor de Kirchhoff. Ele foi nomeado professor de física teórica em 19 de março. Em 5 de abril de 1888, ele foi aceito como membro de pleno direito da Academia Prussiana de Ciências na Classe Físico-Matemática. Em 6 de abril de 1888, Boltzmann confirmou a nomeação, mas na sua carta referiu-se à fraqueza (miopia) de seus olhos. Ele não queria confiar no próprio 'auto-exame' e consultaria um especialista.

Em 24 de junho de 1888 ocorreu a inesperada recusa de Boltzmann ao cargo na Universidade de Berlim. Boltzmann escreveu ao ministério real em Berlim, apelando para o fato de que ele apenas praticava física experimental e tinha que preparar as palestras para a física teórica e "agora que eu estava tentando enfrentar este trabalho, vi pela primeira vez que

---

<sup>11</sup> Em seu discurso em 15 de novembro de 1887, para comemorar o 30º aniversário da Universidade Karl Franzens em Graz, Boltzmann prestou homenagem aos méritos científicos de Gustav Kirchhoff: "Especialmente entre os últimos tratados mencionados de Kirchhoff são uma beleza incomum. Beleza, eu os ouço perguntar; não é que as Graças escapam, onde as integrais esticam seus pescoços, podem ser algo bonito, em que o autor está faltando o mais pequeno enfeite externo? Mas, como o músico reconhece Mozart, Beethoven e Schubert nos primeiros bares, o matemático, depois de algumas páginas, distinguiria seus Cauchy, Gauss, Jacobi, Helmholtz. A elegância mais extrema, às vezes um esqueleto fraco das multas, caracteriza os franceses, a maior força dramática do inglês, especialmente Maxwell. Quem não conhece sua teoria dinâmica de convidados? Em primeiro lugar, as variações das velocidades se desenvolvem majestosamente, então, por um lado, as equações de estado, as outras as equações do movimento central, o caos das fórmulas; De repente, as quatro palavras tocam: "Coloque  $n = 5$ ". O demônio maligno desaparece, como na música uma figura selvagem, até então sempre reconfortante dos baixos, de repente se deteriora; como acontece com uma varinha mágica, que anteriormente era indomável. Não há tempo para dizer por que essa ou aquela substituição é feita; Quem não sentir, coloque o livro; Maxwell não é um programador que precisa explicar as notas sobre suas anotações. Os resultados das fórmulas agora lideram os resultados, até que, surpreendentemente, o equilíbrio térmico de um gás pesado seja obtido como o efeito final, e a cortina afunda ... O próprio Kirchhoff nunca escreveu sobre a teoria da gastrite. Toda a sua direção era outra, e também a sua imagem fiel, a forma de sua representação, que somos justificados como um protótipo do tratamento alemão de problemas matemáticos-físicos ao lado de Euler, Gauss e Neumann. Caracteriza a precisão mais acentuada das hipóteses, a inteligência sutil, a calma, o desenvolvimento mais épico com uma consistência de ferro, sem ocultação de nenhuma dificuldade, com brilho da sombra mais fraca. Para retornar à minha alegoria, ele se lembrava do pensador em tom: Beethoven. Quem duvida que as obras matemáticas podem ser artisticamente lindas, leia seus ensaios sobre absorção e emissão, ou a seção de sua mecânica dedicada à hidrodinâmica" (FASOL-BOLTZMANN, 2006, p. 15).

não o permitia sem um esforço ininterrupto dos meus olhos, mas, por outro lado, seria contrário à minha consciência assumir uma cátedra tão responsável sem dominar completamente e plenamente o assunto que eu represento” (FASOL-BOLTZMANN, 2006, p. 17). Ele acrescentou dois relatórios médicos a essa recusa. Um, datado de 14 de abril de 1888, foi expedido pelo professor Isidor Schnabe que escreveu: "Ambos os olhos estão com Staphyloma posticum - uma mudança patológica da retina na mácula, mais altamente miópica, a miopia ainda é progressiva e deve ter grande cuidado com os olhos" (FASOL-BOLTZMANN, 2006, p. 18). O segundo relatório do psiquiatra Professor Dr. Richard von Krafft-Ebing declarou que Boltzmann era "de constituição neuropática e sofreu em 1885, um ataque de fraqueza irritável geral do sistema nervoso. Na primavera de 1888, o paciente novamente adoeceu, no sentimento da força nervosa enfraquecida, e também era muito miópico, ele teve que suportar os maiores movimentos e lutas mentais" (FASOL-BOLTZMANN, 2006, p. 18).

Em 9 de julho de 1888, o Rei da Prússia renunciou ao decreto de nomeação de Boltzmann. A recusa aumentou muito a excitação nervosa de Boltzmann e poucos dias depois, no dia 16 de julho, Boltzmann, atormentado "dia e noite, remorso mais amargo de suas lutas em excitação", perguntou a Althoff se havia alguma possibilidade de reverter o assunto. O então ministro Franz Eilhard Schulze considerou que o Decreto Supremo já havia sido expedido e que nada poderia ser alterado. Pela raiva passada durante seu período de reitorado, pela excitação causada pela nomeação para Berlim, pelas circunstâncias agonizantes de sua imprudente recusa e os inúteis esforços para reverter a recusa, Boltzmann estava tão exausto física e psicologicamente, que ele solicitou ao ministério seis semanas de licença de 1 de agosto a 13 de setembro de 1888 para fortalecer sua debilitada saúde. Em sua estadia de férias em Millstatt na Caríntia, ele se encontrou coincidentemente com Rudolf Virchow. Ele o convenceu de sua mudança de opinião, de que ainda desejava continuar com o processo de transferência para Berlim e pediu-lhe que o mediasse. Ele também entrou em contato com Althoff e Helmholtz, para que seus esforços fossem conhecidos por Berlim. Tudo isso, no entanto, não era mais possível, visto esta já havia começado as negociações com Max Planck. Boltzmann lamentou o resto de sua vida o fracasso de sua nomeação para Berlim e passou a ter períodos de intensa atividade seguidos com semanas de depressão (FASOL-BOLTZMANN, 2006).

Em 12 de dezembro de 1888, Boltzmann tornou-se membro estrangeiro da Royal Swedish Academy em Estocolmo e, em 13 de janeiro de 1889, Membro Correspondente da Academia de Ciências em Bolonha. Em 27 de outubro de 1889, recebeu o título de Conselheiro Judicial

e, em 2 de julho de 1890, por ocasião da partida para Munique, ele finalmente se tornou membro honorário da *Mathematical Physics Society* da Universidade de Graz.

Em seu último período de Graz de 1888 a 1890, Boltzmann ficou muito desequilibrado devido a morte do filho mais velho, Hugo, que morreu em março de 1889 aos 11 anos de idade devido as complicações de uma apendicite tardiamente reconhecida. Por esta pesada perda e sua autorreprovação por não reconhecer a gravidade da doença do filho, sua agitação e sua depressão se intensificaram, sofrendo cada vez mais de asma. Aprofundou-se no seu trabalho para distrair-se de suas autorreprovações e, durante muito tempo, viveu quase que exclusivamente no instituto, negligenciando a família. A crescente fraqueza de sua visão também tornava cada vez mais difícil o trabalho experimental e ele ficava em seu escritório dia e noite, permanecendo no instituto enquanto estivesse ocupado com um problema até que estivesse completamente exausto. Seu trabalho rendeu uma produção científica quase nula, devido aos contínuos acessos e crises que sofria. As flutuações dos sentimentos e a indecisão se intensificaram. Depois do infeliz resultado na tentativa de ser aceito por Berlim, ele subitamente buscou abandonar Graz. Uma oportunidade lhe surgiu através de uma articulação com Eugen Lommel (1837-1899) e Adolf von Baeyer (1835-1917) e Boltzmann aceitou a nomeação para a Universidade de Munique. Sua grande popularidade foi prestigiada na grande festa de despedida em 16 de julho de 1890 que foi dada em sua honra<sup>12</sup>. Apesar da Universidade de Graz deixar-lo ir relutantemente, Boltzmann tomou o caminho rumo à Bavaria (FASOL-BOLTZMANN, 2006).

## 2.6. CURTA ESTADIA EM MUNIQUE (1890-1894)

O caminho tomado para Munique também levou Boltzmann a traçar novos caminhos intelectuais. Nesse período, Ludwig começou a desenvolver os seus temas filosóficos,

---

<sup>12</sup> No evento de despedida Boltzmann proferiu as seguintes palavras: “Quando, alguns dias atrás, soube do plano para a cerimônia de hoje, foi no início minha firme intenção de pedir que você se abstinhasse. Pois como, eu me perguntei, um indivíduo pode merecer ser homenageado dessa maneira? Certamente, todos nós somos apenas colaboradores em um grande empreendimento, e todos que cumprem seu dever em seu cargo merecem elogios iguais. Se, portanto, um indivíduo for escolhido da comunidade, isso, a meu ver, nunca será dirigido a ele como pessoa, mas apenas à ideia que ele representa; só se entregando completamente a uma ideia é que o indivíduo pode ganhar maior importância. Por isso, decidi não insistir em meu pedido apenas quando relacionei todas as honras não ao meu próprio eu, mas à ideia que preenche meu pensamento e ação: *para o desenvolvimento da teoria nenhum sacrifício é grande demais para mim; já que a teoria é todo o conteúdo da minha vida, seja do mesmo modo o conteúdo das minhas presentes palavras de agradecimento*” (BOLTZMANN, 2004, p. 51-52) [grifo nosso].

publicando trabalhos como o *Über die Bedeutung von Theorien* e *Über die Methoden der theoretischen Physik*. A Faculdade de Filosofia da Universidade de Munique nomeou Boltzmann em 24 de novembro de 1889 como membro do Senado Acadêmico. Depois de acertadas as questões financeiras, foi então nomeado professor titular de física teórica na Universidade Real Ludwig Maximilian, em Munique, em 6 de julho de 1890, com um salário anual de 7800 marcos. Nesta universidade, familiarizou-se com uma série de cientistas de diferentes disciplinas, com quem ele discutiu intensamente. Ele entrou em contato com o matemático Christian Klein (1849-1925) que foi muito mais aberto às ideias físicas de Boltzmann.

Foi nesse período que a Física revelou o campo da Física Teórica propriamente dita. A cadeira de física teórica direcionada para Boltzmann era uma nova posição na Universidade de Munique, e não muito comum em outras intuições, e assim a faculdade tinha que justificá-lo. O argumento cuidadosamente escrito apontou que havia uma “crescente separação da teoria da física experimental”, devido à sua “diferença de métodos”. “Enquanto a física experimental em seu trabalho indutivo requer o conhecimento e a prática de técnicas experimentais que se tornam cada vez mais complicadas, a física teórica usa a matemática como sua principal ferramenta em seu processo dedutivo e exige familiaridade íntima com todos os meios dessa ciência que avança rapidamente” (CERCIGNANI, 1998, p. 23) Analogamente ao processo de especialização devido a progressiva divisão do trabalho no capitalismo, a academia passava por um rápido crescimento, com um amplo desenvolvimento da Matemática e da Física, que teria como consequência que cada vez menos físicos seriam capazes de dominar ambos os métodos com a mesma perfeição, obrigando-os a se especializarem em um dos dois ramos. O crescimento, ampliado pelos investimentos e descobertas, levaram à alienação inevitável dos físicos e um dos “métodos”. Boltzmann, por causa de seu excepcional talento para pesquisa teórica e "sua mais completa educação matemática", foi capaz de "se desenvolver mais e suplementar as teorias de Maxwell, Clausius e Helmholtz". A pesquisa filosófica associada ao seu trabalho lhe rendera a reputação de ser um dos melhores físicos teóricos. Tendo sua necessidade justificada, Boltzmann foi um dos primeiros físicos a assumir um cargo de professor apenas voltado para a teoria.

Em março de 1891, a primeira parte de seu *Vorlesungen über Maxwells Theorie der Electricität und des Lichte – Bd 1: Ableitung der Grundgleichungen für ruhende, isotrope Körper* foi publicado em Leipzig, que contribuiu para a popularização da teoria de Maxwell

no mundo de língua alemã. Em 1893 foi publicada a segunda parte, *Bd 2: Verhältnis zur Fernwirkungstheorie; spezielle Fälle der Elektrostatik, stationäre Strömung und Induction*. No semestre de inverno de 1892/93, a Universidade de Viena entrou em contato com Boltzmann propondo um retorno a Viena, que foi recusado. Ele negociou brevemente, mas finalmente recusou. O resultado foi, como muitas vezes em sua vida acadêmica, um aumento salarial considerável em Munique: de 7800 a 9100 marcos anualmente. Estando em posição de negociar, ele também pediu, para seu apoio, uma vaga de *Extraordinarius* de Física Teórica para realizar as palestras elementares, além do estabelecimento de um corpo docente extraordinário para a físico-química.

Elsa (1891-1966), a quinta criança do casal nasceu em Munique, vindo a se tornar fisioterapeuta e se casou com o Dr. Ludwig Flamm, Professor de Física da Universidade de Tecnologia de Viena. De forma geral, Boltzmann ministrava aulas e palestras sobre matemática, especialmente a teoria dos números. Nesses quatro anos que passou na cidade bávara, ele passou por um período bastante pacífico, durante o qual muitos estudantes de todos os países do mundo vieram estudar sob sua orientação. A princípio, Boltzmann morava na Maximilianstrasse, que era conveniente próxima tanto universidade quanto da ópera. Nesta ele podia ouvir as obras de um de seus compositores favoritos, Richard Wagner (1813-1883), atestando ainda a influência do movimento romântico sobre ele. O *Evangelimann* de Wilhelm Kienzl também foi muito apreciado por Boltzmann (CERCIGNANI, 1998). Como comenta Fasol-Boltzmann:

A partir daí, estava perto da universidade e também da ópera onde as obras de Richard Wagner, que eram amadas por Boltzmann, eram realizadas. Meu pai informou que, mesmo assim, a "fraqueza" de Boltzmann estava tão avançada que minha avó lia regularmente artigos científicos para poupar os olhos de seu marido. Como matemática, ela era uma leitora especializada. Contudo, também estava cheio de grande inquietação, principalmente pelas duas crises que ocorreram em um curto período em Munique (FASOL-BOLTZMANN, 2006, p. 33).

Em 1892, Ostwald e o matemático G. F. Helm (1851-1923) começaram os ataques às teorias de Boltzmann. Houve uma troca de cartas acalorada entre Mach, Ostwald e Boltzmann. Esses ataques públicos sobre questões fundamentais levariam Boltzmann, em última instância, a dedicar-se definitivamente à filosofia. No *65ª Naturforscherversammlung* em Nuremberg em setembro de 1893, Boltzmann deu uma palestra intitulada *Über die neueren Theorien der Elektrizität und des Magnetismus*, onde apresentou os avanços obtidos na teoria



eletromagnética de Maxwell e os experimentos que corroboravam tal representação do fenômeno físico.

Boltzmann sentia-se muito bem naquele ambiente universitário e descreveu mais tarde seus anos em Munique como o período mais bonito de sua vida acadêmica. Discutia, regularmente, questões científicas durante uma cerveja noturna com os matemáticos Alfred Pringsheim e Walter Dyck, o físico Eugen Lommel, o químico e depois prêmio Nobel Adolf von Bayer, o astrônomo Hugo Seeliger, o engenheiro Carl von Linde e Sebastian Finsterwalder. Como era uma personalidade atrativa em Munique, foi visitado, entre outros, pelo inglês Samuel Tolver Preston, bem como o japonês Hantaro Nagaoka (1865-1950), que descreveu as palestras de Boltzmann como particularmente claras e admirava sua memória, já que ele não precisava de notas mesmo para as funções e equações mais complicadas.

Além do *Vorlesungen*, Boltzmann publicou trabalhos na área de eletromagnetismo como *Über ein Medium, dessen mechanische Eigenschaften auf die von Maxwell für den Elektromagnetismus aufgestellten Gleichungen führen* (1892), *Über das den Newtonschen Farbenringen analoge Phänomen beim Durchgang Hertz'scher Planwellen durch planparallele Metallplatten* (1892) e *Über die Beziehung der Äquipotentiallinien und der magnetischen Kraftlinien* (1893). Como contribuições a termodinâmica, *Über die Bestimmung der absoluten Temperatur* (1893), *Der aus den Sätzen über Wärmegleichgewicht folgende Beweis des Prinzips des letzten Multiplikators in seiner einfachsten Form* (1893), *Über die Notiz des Hrn. Hans Cornelius bezüglich des Verhältnisses der Energien der fortschreitenden und inneren Bewegung der Gasmoleküle* (1893), *Über die mechanische Analogie des Wärmegleichgewichts zweier sich berührender Körper* (1894). Também continuou a desenvolver suas ideias no campo da teoria cinética dos gases, frutos de sua colaboração com Maxwell, publicando trabalhos como *On the Application of the Determinate Relation to the Kinetic Theory of Polyatomic Gases* (1894), *On Maxwells Method of Deriving the Equations of Hydrodynamics from the Kinetic Theory of Gases* (1894), *Über den Beweis des Maxwellschen Geschwindigkeitsverteilungsgesetzes unter Gasmolekülen* (1894).

As discussões científicas que teve com físicos ingleses foram de grande importância nesse período, tendo reconhecimento incomparavelmente mais científico na Inglaterra. O foco principal era conexão entre a termodinâmica e a teoria cinética dos gases. Em junho de 1892, ele foi convidado para o 300º aniversário do Trinity College em Dublin e conheceu Culverwell, William Thomson, o Lord Kelvin e John William Strutt. Em uma reunião da Associação

Britânica para o Avanço da Ciência em Oxford, Boltzmann defendeu a ideia da estrutura atomística da matéria. Ele foi homenageado em 15 de agosto de 1894 com um doutorado *honoris causa* da Universidade de Oxford, e ficou encantado pelo fato de ter recebido o doutorado honorário em Direito. Um colega britânico escreveu mais tarde na revista *Nature*: "Ele recebeu um diploma honorário e expressou diversão de ser doutor em direito. Seria melhor que eles tivessem me feito um doutor em ciências, ele observou. Foi apontado, no entanto, que como autoridade nas leis da termodinâmica, o título lhe cabia". O louvor da promoção da honra foi publicado na *Nature* em 23 de agosto de 1894:

Seu primeiro artigo foi sobre a distribuição de eletricidade em uma esfera e o segundo na significância da segunda lei da termodinâmica. Seus trabalhos subsequentes são muito numerosos para mencionar em detalhes, e foram publicados pela Academia de Ciências em Viena, e recentemente em Munique. O mais importante destes tratamentos do estado estacionário da energia cinética em moléculas de gás e sua conexão com a segunda lei da termodinâmica, da capacidade indutiva específica de sólidos e gases, e outros assuntos de termodinâmica e eletromagnetismo. Juntamente com Clausius e Maxwell, ele é um dos fundadores da teoria cinética de gases, especialmente em seus aspectos mais complicados e em suas conexões com a segunda lei da termodinâmica. Recentemente ele se dedicou em popularizando a teoria de Maxwell na Alemanha. (FASOL-BOLTZMANN, 2006, p. 21-22)

Boltzmann impressionou-se, particularmente, pela organização e a disciplina das discussões na *British Association for the Advancement of Science*, que foi seu modelo para a organização dos eventos da *Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte* em Lübeck em 1895. Em 14 de novembro de 1891, tornou-se membro de pleno direito da Academia de Ciências da Baviera em Munique e também membro da Associação Alemã de Matemáticos. Em 30 de janeiro de 1892, ele se tornou um membro honorário da *Naturwissenschaftliche Verein für Steiermark* em Graz, e em 26 de fevereiro de 1892, o título de conselheiro privado lhe foi conferido. Pouco depois, em 26 de abril de 1892, tornou-se membro honorário da *Manchester Literary and Philosophical Society* e, no dia 21 de maio deste ano, foi membro externo da Sociedade Holandesa das Ciências em Haarlem. Mais tarde, em 7 de abril de 1893, tornou-se membro estrangeiro da Sociedade das Ciências em Copenhague.

Com o falecimento em 7 de janeiro de 1893 de Josef Stefan, sua cadeira ficou vaga, levando a inúmeras reuniões da comissão de seleção que se alongaram por mais de um ano. Tendo seu nome mencionado pela comissão, Boltzmann, que se sentia compelido a retornar para Viena, iniciou as negociações. Em 20 de junho de 1894, o processo foi concluído. O

processo para retornar a Viena não perturbou Boltzmann como a de Berlin em 1888. O fato de que, depois de alguns anos tão gratificantes, ele quis sair de Munique novamente e deixar seus colegas e amigos, deveu-se, em primeira instância, à sua crescente fraqueza de visão e ao medo de uma cegueira completa que começou a se espalhar em seus últimos anos de vida. Por outro lado, temia que ele não pudesse trabalhar em Munique sem uma pensão de velhice. Ele pensou na morte precoce de seu pai e os relatos do falecido Georg Simon Ohm, que haviam morrido sem uma pensão, vivendo em condições precárias, cego e miseravelmente vestido. Apesar de ser professor universitário com cidadania bávara, além de *Königlich Bayerischer Geheimer Rat*, Boltzmann não tinha direito a pensão, e sua esposa e filhos teriam permanecido completamente desamparados no caso de seu repentino falecimento. Essa também foi a razão para Henriette pressioná-lo por um retorno à Áustria. Por decreto de 18 de julho de 1894, a demissão do Serviço do Estado da Baviera, vigente a partir de 1 de setembro, entrou em vigor.

## 2.7. RETORNO À VIENA E BREVE ESTADIA EM LEIPZIG (1894-1902)

Embora tenha declarado, em carta para Loschmidt em 1892, que levava contentemente a vida em Munique, “certamente não era melhor que na querida e velha Áustria” (CERCIGNANI, 1996, p. 25). Ludwig era um dos mais importantes cientistas austríacos vivos e os preparativos para recebê-lo de volta em sua terra natal, além das condições para persuadi-lo a ficar, eram impressionantes para a época. A *Philosophische Fakultät* chegou a cancelar uma cadeira de físico-química, que já havia sido solicitada, visto que o dinheiro para realizar tal curso havia sido necessário para aumentar o salário oferecido à Boltzmann. Além desse aumento de salário, foi-lhe prometida uma pensão completa no caso de ele ficar inapto para trabalhar, inclusive levando em conta os primeiros períodos de serviço na Áustria.

Em 22 de junho de 1894, Boltzmann foi nomeado professor de física teórica na Universidade de Viena, pelo Ministério Vienense para Cultura e Ensino, como sucessor de Stefan, tomando posse em 1 de setembro de 1894. Sua renda sofreu um aumento considerável: um salário anual de 6000 florins e um subsídio de pessoal de 1000 florins, que seriam incorporados na pensão; a chamada *Remuneration* de 600 florins pela gestão dos seminários em física teórica; um apartamento gratuito, ou o subsídio dos custos de aluguel, e os custos de mudança para Viena foram subsidiados com 2000 florins. O salário anual era quase o dobro da sua antiga remuneração em Graz (FASOL-BOLTZMANN, 2006).

Embora, aparentemente, o caminho de volta à Viena tenha parecido muito benéfico ao físico, ao se defrontar com a situação da Universidade de Viena, sua euforia foi reduzida. O caminho optado se mostrou muito mais tortuoso do que Boltzmann poderia prever, especialmente quando Mach, um dos grandes opositores dele assumiu a cadeira de filosofia e história da ciência em 1895. Boltzmann, que teve que lidar com os ataques cada vez mais frequentes e agressivos de seus adversários, ainda teve que lidar com problemas internos dentro da Universidade: problemas administrativos relacionados às aulas práticas do curso; poucos encontros e congressos das sociedades científicas; e, numa carta dirigida à Ostwald em dezembro de 1898, alegava que “muito poucos estudantes estavam aptos para executar trabalhos científicos” e que seu trabalho mais se assemelhava ao “personagem de um diretor escolar escavando candidatos na escola secundária” (CERCIGNANI, 1996, p. 28). Além de todos esses problemas acadêmicos, a situação política atual na Áustria o deixava muito insatisfeito.

Por ocasião do 66º *Naturforscherversammlung* em Viena em setembro de 1894, Boltzmann deu a palestra *Über Luftschiffahrt* (BOLTZMANN, 1979), com a presença do pioneiro austríaco, Wilhelm Kress. Boltzmann expressou seu interesse neste assunto e concluiu sua palestra resumindo o progresso do desenvolvimento na época, dizendo: " O inventor do dirigível deve ser como o padrão de todos os grandes exploradores, Cristóvão Colombo, que, por sua coragem pessoal e por sua engenhosidade, deu um exemplo a todos os exploradores do futuro. [...] Além da deliberação e do entusiasmo, só existe uma coisa que, como Colombo era mais difícil de ganhar, nomeadamente dinheiro." Boltzmann deu a Kress um apoio financeiro considerável, pois também estava interessado nas realizações técnicas, aliadas ao seu lado experimental, além das ciências naturais puras, Ele também trabalhou como mecânico, construindo uma unidade motora elétrica para a máquina de costura de Henriette e projetou uma panela de pressão (FASOL-BOLTZMANN, 2006).

Esteve também presente na *Naturforscherversammlung* em Lübeck, de 16 a 20 de setembro de 1895, onde se deu um dos mais fervorosos debates entre ele e os energicistas. Em 1896, Boltzmann demonstrou sua convicção em diversos ensaios publicados na obra *Populäre Schriften*, com cerca de 60 páginas impressas e em uma palestra *Ein Wort der Mathematik an die Energetik*. Em setembro de 1895, Boltzmann completou a primeira parte de sua *Vorlesung über Gastheorie*, publicada em 1896 e sendo, com 200 páginas, uma teoria abrangente de gases como moléculas monatômicas. A segunda parte, 260 páginas, foi publicada em 1898, lidando com a Teoria de Van der Waals, os gases com moléculas compostas e a dissociação de gases.

No prefácio ao segundo volume de sua teoria de gás: "Seria, daqui do meu ponto de vista, uma perda para a Ciência, se a Teoria do Gás devido ao imediato humor hostil dominante entrasse no esquecimento como, por exemplo, a Teoria da Ondulatória devido à autoridade de Newton". Boltzmann fez a primeira parte de suas *Vorlesungen über die Prinzipie der Mechanik* em 1897, a segunda parte no verão de 1904, enquanto a terceira parte foi publicada por Hugo Buchholz após sua morte em 1920. O fundamento de todas as áreas da física era, para Boltzmann, a mecânica e apresentou os princípios da mecânica em cinco palestras. "O Deus, de cuja graça reinam os reis, é a lei básica da mecânica", disse ele em uma aula inaugural em Leipzig (FASOL-BOLTZMANN, 2006, p. 27).

O Instituto de Física já não se encontrava mais em Erdberg, antes tão querida por Boltzman. Havia sido transferido para uma localização triste e desolada na Türkenstrasse, 3. A família Boltzmann mudou-se para uma *Naturalwohnung* e Ludwig agora só movia-se dentro da casa e entre o apartamento e o instituto, o que certamente prejudicava sua saúde. Não mais praticava os exercícios e excursões como em Graz. No entanto, Boltzmann gostava de assistir a concertos e a ópera, especialmente as de Richard Wagner, além da ópera *Der Evangelimann* de Wilhelm Kienzl, estreada em Berlim em 1895. Apenas um ano em Viena e ele não estava mais confortável, arrependendo-se de deixar Munique. Ele não tinha estudantes para o trabalho puramente científico e as reuniões e encontros sociais, que antes se realizavam na sua residência em Oberkroisbach e muito lhe estimulavam cientificamente, tornaram-se inexistentes. Nesta situação psicologicamente infeliz, pareceu-lhe que era desejável uma nova mudança (FASOL-BOLTZMANN, 2006). Na primavera, Boltzmann entrou em contato com Munique. A faculdade e a universidade tinham interesse na realocação do físico, no entanto a Administração Educacional bávara rejeitou a proposta financeira, e o seu caminho de retorno à Munique foi fechado.

Em 27 de maio de 1896, a reunião da delegação da empresa para a publicação da *Mathematischen Enzyklopädie* foi realizada na Academia em Viena. O contrato de publicação foi negociado nesta reunião e Boltzmann entregou trabalhos científicos para a enciclopédia pelo resto vida, o último em 1905, juntamente com Josef Nabl, sobre *Kinetische Theorie der Materie*, sua última publicação. Em 1897, Boltzmann deu uma palestra na *Braunschweig Nature Research Association: Über einige meiner weniger bekannten Abhandlungen über Gastheorie und deren Verhältnis zu derselben*. Em 1898, ele participou do *Naturforscherversammlung* em Dusseldorf. Suas contribuições foram, entre outros, *Zur Energetik* e *Über die kinetische*

*Ableitung von Formeln für den Druck des gesättigten Gases, für den Dissoziationsgrad von Gasen, für die Entropie eines das van der Waals'schen Gesetz befolgenden Gases.*

Em 9 de maio de 1895, Boltzmann tornou-se membro da *Royal Society* de Edimburgo. Também retornou à Academia Imperial das Ciências em Viena, da qual havia sido expulso pela sua transferência para Munique. O Imperador Franz Josef resistiu a uma renomeação imediata. Três semanas depois, em 29 de maio de 1895, foi reeleito como membro e em 7 de dezembro foi eleito membro regular da *Royal Society of Sciences* em Uppsala. Em 12 de janeiro de 1896, Boltzmann tornou-se membro estrangeiro da Academia de Ciências em Turim e, no dia 7 de setembro, tornou-se membro estrangeiro da *Regia Lynceorum Academia* em Roma e, em 9 de outubro de 1896, membro estrangeiro da Academia de Ciências em Roma. Em 10 de março de 1897, tornou-se membro da Academia Americana de Artes e Ciências de Boston, em 21 de abril de 1897, membro da Academia Holandesa das Ciências de Amsterdã e, em 6 de maio, membro da Sociedade Italiana de Ciências, Roma. Finalmente, em 24 de maio de 1897, membro honorário da *Cambridge Philosophical Society*. Outras adesões honorárias seguiram em 15 de junho de 1897 na *Physikalisch-Medicinische Gesellschaft Erlangen* e em 26 de maio de 1898 no *Physikalische Verein zu Frankfurt am Main*. Mais tarde, em 1 de junho de 1899, tornou-se membro da *Society for Natural Sciences* em Londres. A promoção honorária na Universidade Clark foi seguida de mais honras: em 21 de novembro de 1899, o prêmio da Ordem Real Bavarian Maximilian para Ciência e Arte, em 29 de dezembro de 1899, a eleição para o Membro Correspondente da Academia Imperial de Ciências em São Petersburgo e no dia 9 de fevereiro de 1900, a marca honorária austríaca de arte e ciência lhe foi concedida. Em 4 de maio de 1900, tornou-se membro estrangeiro da Academia Húngara das Ciências em Budapeste. Ainda em maio, tornou-se membro da Seção de Mecânica da Academia das Ciências em Paris e, em 15 de dezembro de 1900, tornou-se membro pleno da *Royal Saxon Society of Sciences* em Leipzig (FASOL-BOLTZMANN, 2006).

No início de 1899, Ludwig Boltzmann recebeu um convite à Universidade Clark em Worcester, Massachusetts. Este convite foi a ocasião para a primeira de suas três viagens aos EUA. Em 20 de junho de 1899, o casal Boltzmann embarcou em Bremen no navio "Kaiser Wilhelm the Great" do Lloyds do norte da Alemanha. A viagem de Cherbourg para Nova York durou sete dias. Nos Estados Unidos, eles visitaram as cidades de Nova Iorque, Boston, Cambridge. Posteriormente, o casal Boltzmann viajou de trem para Montreal, em seguida, ao longo do Lorenzstrom através das corredeiras, para o Lago Ontário, Niagara Falls e Buffalo,

onde uma viagem de barco a vapor no Lago Erie foi realizada. Continuaram para Nova York por Pittsburgh, Washington, Baltimore, Filadélfia. Lá, no dia 25 de julho, começou a travessia com o Trave, um pequeno navio a vapor. Em 2 de agosto de 1899, o casal retornou a Bremen. Após as dificuldades da longa jornada, Boltzmann e sua família se recuperaram em Abbazia.

**Figura 7.** Desenhos feitos por K. Przibram, aluno de Boltzmann: à esquerda, Boltzmann durante uma aula; à direita, palestrando na Califórnia.



Fonte: Adaptada de FASOL-BOLTZMANN (2006)

Em setembro, Boltzmann participou da Natural History Research em Munique e proferiu a palestra *Über die Entwicklung der Methoden der theoretischen Physik in neuerer Zeit*. Na primavera de 1900, Boltzmann havia caído em um estado de espírito profundamente deprimido. A principal razão para isso fora a veemente crítica de Thomson à distribuição de Maxwell-Boltzmann e os detalhes posteriores da teoria cinética dos gases. Em agosto de 1900, Boltzmann ainda estava em Seeboden e chegou a consultar o famoso oftalmologista Ernst Fuchs e ficou em um pequeno sanatório sob tratamento do Dr. Fasan, lutando contra uma grave crise. Como resultado de sua rápida decisão de mudar-se para Leipzig, Boltzmann foi atormentado por pensamentos suicidas (FASOL-BOLTZMANN, 2006).

Enquanto viajava pela América, Boltzmann havia desistido de uma vaga em Leipzig em 1899. Entretanto, e apesar dos grandes opositos profissionais, Ostwald estava intensamente envolvido na nomeação de Boltzmann para Leipzig, o que demonstra que apesar de estarem lutando ao nível das diferenças técnicas, a apreciação mútua era grande. Boltzmann, antes de tomar a decisão de mudar a universidade novamente, voltou a ficar inseguro e deprimido. Ostwald temia um retiro de Boltzmann após sua implantação, e ele escreveu: “... se você estiver cambaleando em sua conta, venha em minha conta, porque um fracasso neste assunto me traria todo meu prestígio na faculdade e no ministério...” Boltzmann aceitou o chamado. Sua partida foi surpreendente para Viena. Ele deixou Viena sem adeus de seus colegas e sem entregar o instituto físico. As negociações com as autoridades docentes em Dresden foram muito bem-sucedidas. De acordo com o Decreto de 21 de Julho de 1900, Boltzmann foi libertado do serviço do Estado austríaco a partir de 1 de Setembro (FASOL-BOLTZMANN, 2006, p. 33).

Em 1 de setembro de 1900, de acordo com o decreto de 17 de agosto do mesmo ano, Boltzmann foi nomeado professor titular de física teórica na Faculdade de Filosofia da Universidade de Leipzig,. Seu salário anual ascendeu a 12.000 marcos. Ainda em setembro, ele participou do *Naturforschersammlung* em Aachen, acompanhado por seu filho Arthur. Ele presidiu a primeira reunião em 17 de setembro de 1900 e também participou ativamente da discussão. Em 24 de novembro de 1900, ele abriu suas palestras em Leipzig com a palestra *Über der Prinzip des Mechanisches* (FASOL-BOLTZMANN, 2006).

Em Leipzig, Boltzmann não tinha um instituto ou laboratório próprio e não podia dispor de seus próprios fundos, mas dependia da benevolência do diretor do Instituto, o físico Otto Heinrich Wiener (1862-1927). Ele se arrependeu de sua decisão de ir para Leipzig devido as expectativas que ele colocou em seu trabalho em Leipzig, além de seus esforços para tentar mais uma vez estimular um círculo internacional de estudantes de maior alcance e maior devoção, que não foram realizadas. A pressão psicológica que ele mesmo se impunha através de seus objetivos autoimpostos levou-o à *Kolleg-Angst* (um tipo de pânico do trabalho), o medo de que a mente e a memória pudessem falhar durante uma palestra. O estado de espírito de Boltzmann piorou de novo (FASOL-BOLTZMANN, 2006).

Ele foi, no entanto, positivamente visto no círculo de seus colegas. Gerhard Kowalewski, que na época era um conferencista privado em Leipzig, relata: "Na sala de professores do *Augusteum*, onde os professores estavam presentes durante as pausas entre aulas, Boltzmann sempre foi muito falante. Ele não fazia diferença entre *Odinaries*, *Extraordinaries* e



*Privatdozent*. Ele gostava especialmente de conversar conosco<sup>13</sup>, os mais jovens. Uma característica básica de seu ser era uma amizade humana ilimitada. Ele sempre me dizia o que eu ia dizer, e estava tão ansioso que ele às vezes pegasse lápis e papel para explicar ou entender o assunto ainda melhor. Entender algo era para ele a mais bela experiência. Essas conversas com ele permanecem inesquecíveis” (FASOL-BOLTZMANN, 2006, p. 34).

Boltzmann recebeu um convite para o 200º aniversário da Yale University, New Haven, Conn. Como não se sentiu capaz de viajar para os EUA, pediu desculpas com uma carta muito breve. No mesmo ano, um cruzeiro de verão foi planejado para o Mediterrâneo. De Leipzig, Ludwig e seu filho Arthur dirigiram-se para Hamburgo no final de julho e embarcaram na linha Hamburgo-América no navio “Deutschland”. No dia 8 de agosto, Arthur Ludwig, do navio Pera da linha Levant alemão, escreve a mãe: “O Mediterrâneo é muito mais azul do que o Oceano Atlântico. Infelizmente, também é mais quente aqui, ao Papa não faz bem”. A viagem foi de Hamburgo a Lisboa 9 de agosto, Gibraltar 13 de agosto, Argel 14 de agosto, Malta, Atenas 19 a 21 de agosto, Constantinopla 27 de agosto, Panderma, de 29 de agosto a Cavalla. Por causa do surto da peste, não foram autorizados a continuar sua viagem a Odessa. O navio ficou em quarentena por muito tempo. “A desinfecção foi terrível”, escreveu Arthur Ludwig à sua mãe. (FASOL-BOLTZMANN, 2006).

Em 4 de outubro de 1901, eles retornaram Leipzig. A viagem não trouxe a recuperação desejada e a melhoria do estado de espírito de Boltzmann. Sua miopia já estava tão avançada e fraqueza das vista já havia avançado de forma tão considerável que ele usava um segundo, e algumas vezes até um terceiro óculos, para ler as notas da partitura durante suas peças de piano. “Meu pai, que o acompanhou regularmente com o violino, informou que seu pai frequentemente trocava impacientemente os óculos, e repetidamente tentava um ou outro par de óculos, às vezes até um acima do outro” (FASOL-BOLTZMANN, 2006, p. 35). Em 11 de março de 1902, Boltzmann foi premiado com o Prêmio Otto-Vahlbruch da Universidade de Göttingen, que foi dotado de 12 mil marcos e, em 6 de setembro de 1902, recebeu um doutorado honorário da Universidade Norueguesa do Rei Frederik em Christiania - Oslo de hoje. Foi seu terceiro doutorado honorário.

---

<sup>13</sup> Para maiores opiniões dos alunos e colegas sobre Boltzmann, ver Cercignani (1998) cap. 1, seção 1.6 e 1.10 e cap. 11.

A família tinha um apartamento na *Leplaystrasse, 9*, mas estava em mal estado de conservação. “Meu avô não podia aproveitar a paz de uma vida familiar, porque minha avó ia de Leipzig à Viena” (FASOL-BOLTZMANN, 2006, p. 36). Em Leipzig, Boltzmann estava depressivo e, desesperado, pensando em suicídio. Procurou ajuda na instituição médica de seu colega, o psiquiatra Flechsig. Devido a sua infelicidade em Leipzig, Boltzmann tomou o caminho de volta para Viena depois de dois anos de estadia.

## 2.8. ÚLTIMOS ANOS EM VIENA E MORTE (1902-1906)

O caminho de retorno à Viena tinha sido possível pela aposentadoria recente de Mach em 1901, devido a um derrame sofrido em 1898 que lhe paralisou o lado direito. Contudo, o retorno não foi simples como havia sido da última vez. O estamento, acadêmico e político, não havia esquecido ou perdoado a última ‘fuga’ de Boltzmann. O Ministro da Pesquisa e da Educação teve dificuldades em convencer o Imperador Franz-Joseph das condições e problemas que cercavam a personalidade de Boltzmann, além de precisar silenciar os rumores que circulavam em Viena, segundo os quais Boltzmann estava mentalmente doente e não seria capaz de desempenhar suas funções como professor. O ministro teve que consultar o psiquiatra e os médicos que tinham cuidado de Boltzmann antes para certificar-se de suas condições mentais, e este teve que dar sua palavra por escrito que ele deixaria a Áustria novamente. Felizmente, além de toda a contribuição científica que já havia legado, Ludwig se tornara muito mais um símbolo da independência científica da Áustria do que apenas mais um professor a ingressar na Universidade. Tendo que esperar por quase dois anos para se tornar novamente membro da Academia Imperial, somente por meio de uma Resolução Suprema, em 01 de junho de 1902, Boltzmann foi reestabelecido ao cargo, recebendo um salário anual fixo de 14.000 coroas, uma remuneração de 1.200 coroas para os demais exercícios do cargo, bem como um auxílio moradia de 3.000 coroas por ano. A partir de 1º de outubro de 1902, ele foi nomeado pela terceira vez Professor Catedrático de Física Teórica na Universidade de Viena. Ele também foi premiado com o título de *Hofrat* (conselheiro) (FASOL-BOLTZMANN, 2006; CERCIGNANI, 1998).

As suas atividades na Universidade constituíam de aulas para o curso de física teórica, com carga horária de cinco horas, seminários sobre física teórica e um curso de pelo menos uma hora por semana, a cada três semestres. A partir de 05 de maio de 1903 Boltzmann recebeu,

no lugar de Mach, uma posição de ensino adicional para o curso de filosofia da natureza e de metodologia das ciências naturais, com uma remuneração de 2.000 coroas por semestre e carga horária de duas horas semanais. Ele imediatamente começou a se preparar para sua palestra *Principien der Naturphilosophi*, utilizando as notas que havia escrito sobre Kant, Wundt, Avenarius, Schmitz, Du Mont, Stallo, Poincaré, Ostwald e Schopenhauer. As palestras sobre filosofia foram as mais populares de Boltzmann. A primeira palestra filosófica foi um grande sucesso, lotando o maior salão da universidade com pessoas sentadas nos degraus. Recebeu atenção de muitos jornais diários vienenses e chegou a ser publicada no semanário *Die Zeit*. Todos os jornais relataram o evento, o que rendeu a Ludwig um grande número de cartas de aprovação. Foi também convidado para uma audiência com o imperador Franz-Joseph, que se mostrou satisfeito com o seu retorno e com o sucesso das aulas de filosofia.

A opção pelo caminho de volta à Viena lhe deu grande ímpeto e, inicialmente, sentiu-se recobrar muito da força que havia perdido nos conturbados períodos anteriores. Adquiriu uma casa no 18º distrito de Viena, no beco Haizingergasse, nº 26. A residência possuía um jardim, o que era do agrado de Boltzmann, e era próximo das vinhas e do parque Türkenschanz. Apesar dessa melhora inicial, ele passou a sofrer repetidamente de problemas renais e da bexiga, que foi mantido em segredo pela família. Além desses problemas, os pólipos no nariz também o deixaram desconfortável, vindo a ser operado pelo laringologista Professor Dr. Ottokar Frh. De Chiari. Apesar da operação e do tratamento, os sangramentos se tornavam cada vez mais comuns. E para se somar a todo esse quadro clínico, sua insônia, dor de cabeça e asma ainda o atormentavam e o afetavam, prejudicando sua recuperação pós-cirúrgica. Sua miopia havia se agravado de tal forma que ele precisou pagar uma mulher para ler-lhe os artigos científicos que recebia; sua esposa, que possuía uma sólida formação em matemática, é quem escrevia os seus artigos. Em uma das cartas que Henriette escrevera para sua filha Ida, que havia permanecido em Leipzig para concluir os estudos, ela se queixou que Boltzmann “ficava pior a cada dia. Ele perdeu sua fé em nosso futuro. Eu havia imaginado uma vida melhor aqui em Viena” (CERCIGNANI, 1998, p.30).

No verão de 1902, viajou para o balneário Bansin em Swinoujscie para recuperar as energias. Neste ano, publicou um dos seus escritos mais importantes para compreender sua visão de ciência: a entrada *Models* na *Encyclopedia Britannica*. Nesse verbete, anexado ao fim do trabalho, Boltzmann define modelos como “representações tangíveis, seja o tamanho igual ou maior, ou menor, de um objeto que esteja em existência real ou tenha que ser construído de

fato ou em pensamento” e que “nas ciências matemáticas, físicas e mecânicas são de altíssima importância” (BOLTZMANN, 1974, p. 213).

**Figura 8.** Ludwig Boltzmann aos 58 anos, quando da sua última cátedra em Viena.



Fonte: Adaptada de CERCIGNANI (1998)

No ano seguinte, tomou o caminho para o pequeno spa Lussinpiccolo, na ilha Lussin na Dalmácia, buscando recuperar sua saúde. Ao retornar ao trabalho, com as energias recuperadas, passou a escrever o segundo volume de seu *Vorlesung über die Prinzipie der Mechanik*. Também proferiu a palestra inaugural *Über die Prinzipie der Mechanik II* por ocasião do início do semestre de 1902/1903 em outubro, onde ressaltou que o “o progresso no campo das ciências naturais transformou fundamentalmente todo o modo de pensar e sentir do homem” (BOLTZMANN, 1979, p. 147). Outro grande trabalho, a *Mathematische Enzyklopädie*, publicado em Göttingen, aparentemente lhe custou muita energia para redigir. Em uma carta ao Arrhenius, ele escreveu que "esta literatura, de maneira concisa, clara, popular e, igualmente,

altamente científica, curta e abrangente” foi mais trabalhosa, irritante e causou-lhe "muita dor de cabeça" se comparada com os escritos propriamente acadêmicos (FASOL-BOLTZMANN, 2006, p. 37). Em 15 de outubro de 1903, Ludwig se tornou um membro honorário da Sociedade Imperial de Amigos da Ciência em São Petersburgo. Outro escrito importante foi o *Ein Antrittsvortrag zur Naturphilosophie* publicado no “*Die Zeit*” em dezembro (BOLTZMANN, 1974; BOLTZMANN, 2004). Nele, Boltzmann não só explicita sua desavença com outros físicos acerca do atomismo, como mostra suas reações à negação de Mach acerca da existência dos átomos e às confusas filosofias de Hegel, Schopenhauer e Kant, além do seu apreço pela teoria darwiniana e uma posição um tanto romântica em relação definição do que é filosofia<sup>14</sup>. No dia 18 de dezembro, tornou-se membro honorário da Sociedade Imperial de História Natural em Moscou.

Em 26 de janeiro de 1904, foi eleito membro honorário do Senado Acadêmico da Universidade Imperial de São Petersburgo. Em 16 de março 1904, ele tornou-se membro honorário da Academia Real da Irlanda, no Departamento de Ciência, em Dublin e, no mês seguinte, membro estrangeiro da Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos da América, em Washington (DC). Em maio, foi eleito membro honorário da Royal Institution of Great Britain e da Universidade Imperial de Kazan. Em 20 de maio, foi reeleito membro oficial da Academia Imperial de Ciências de Viena. Também participou da *Southport Meeting* da Associação Britânica para o Avanço da Ciência, onde discutiu a apresentação de um participante sobre a aplicação do cálculo vetorial na física.

De 21 de agosto a 8 de outubro de 1904, Boltzmann viajou para os EUA pela segunda vez. O principal motivo foi sua participação no grande congresso internacional, realizado no durante a Feira Mundial em St. Louis. Como representante da Academia Imperial de Ciências em Viena, ele participou da reunião do Comitê de Pesquisa Solar. Também nesta viagem ele foi acompanhado por seu filho Arthur Ludwig. A caminho de Hamburgo para Nova York foi realizada com o navio ‘Belgravia,’ da linha Hamburgo-América e levou dez dias para ser completada. Em uma carta endereçada à Henriette, relatou: "Estamos ambos saudáveis. Espero que eu permaneça assim durante toda a viagem, que certamente será mais extenuante do que é aconselhável na minha idade e condição nervosa” (BLACKMORE, 2006, p. 118). Em outra carta posterior relata: "Eu estou doente e quando esta terrível melancolia, que agora me enche,

---

<sup>14</sup> “A ciência que conseguisse resolver esse enigma [como é possível que eu exista, ...que exista um mundo] parecer-me-ia a maior, a verdadeira rainha das ciências, e eu a chamei de filosofia (BOLTZMANN, 2004, p. 160).

não diminuir rapidamente em Viena, então não poderei ministrar quaisquer palestras" (FASOL-BOLTZMANN, 2006, p. 118). Depois de chegar a Nova York em 31 de agosto, eles viajaram no dia 3 de setembro para a Filadélfia, seguida por Washington, Detroit e Chicago. Em 24 de setembro de 1904 Boltzmann realizou uma palestra, liderada pelo professor Arthur Gordon Webster em um evento da Universidade Clark, denominada *Über statistische Mechanik* que onde expressava a certeza que possuía na existência de átomos (BOLTZMANN, 1974; BOLTZMANN, 2004). A viagem de regresso teve lugar no navio Deutschland para Hamburgo.

No final de novembro de 1904, Ostwald veio à Viena e realizou quatro palestras na Sociedade Filosófica, incluindo uma sobre a felicidade e outra sobre a interpretação de eventos energéticos. Boltzmann não concordou com a posição de Ostwald e publicou em seus *Populäre Schriften* uma resposta denominada *Entgegnung auf einen von Prof. Ostwald über das Glück gehaltenen Vortrag*. A resposta de Ostwald à palestra de Boltzmann chegou ao ponto de ser rude: “O neurastênico apresenta o estado oposto. Nela, os sentimentos de resistência são exagerados; ele é incapaz de tomar a menor decisão, porque ele não pode superar a resistência oposta, e ele é uma das pessoas mais infelizes que existe” (FASOL-BOLTZMANN, 2006). Em 21 de janeiro de 1905, foi a vez de Boltzmann dar uma palestra, desta vez sobre sobre Schopenhauer, na Sociedade Filosófica intitulada *Über eine Thesis Schopenhauers*<sup>15</sup> (BOLTZMANN, 1974). Esta palestra, como, aliás, a própria filosofia de Boltzmann, não foi bem recebida pelos seus colegas filósofos ou científicos. Em 26 de janeiro, Boltzmann foi indicado ao prêmio Nobel por Max Planck (1858-1947)<sup>16</sup>.

Quando Boltzmann tomou o caminho para Viena vindo de Leipzig para a preparação de suas palestras sobre filosofia natural, ele recorreu a ajuda de Franz Brentano (1838-1917), importante filósofo e psicólogo austrogermânico. Em correspondência com Brentano desde

---

<sup>15</sup> O título original que Boltzmann propôs foi “Prova de que Schopenhauer é um filósofo estúpido e ignorante, rabiscando bobagens e distribuindo palavreado oco que fundamentalmente e para sempre apodrece o cérebro das pessoas” (BOLTZAMNN, 1974, p. 185; BOLTZAMNN, 1979, p. 240)

<sup>16</sup> Na carta ao Comitê do Prêmio Nobel, Planck justifica sua indicação pelo “mérito adquirido através de sua pesquisa no campo da teoria cinética de gases, que foi incluída em sua maior parte em seu livro *Vorlesungen über Gastheorie*,” e considerava como maior contribuição a “explicação mecânica de processos moleculares em regiões que se revelaram inacessíveis até mesmo ao trabalho pioneiro de cientistas como Clausius e Maxwell. Antes de mais nada, o trabalho de Boltzmann é o fundamento que tornou possível a dinâmica conceitual, hoje em rápido desenvolvimento, sobre o sistema de elétrons” (BLACKMORE, 2006, p. 145). Dentre as futuras implicações do trabalho de Boltzmann, estaria a utilização da distribuição estatística de Maxwell-Boltzmann, pelo próprio Max Planck, para solucionar o problema do corpo negro, e a discretização da energia, fruto do seu atomismo, para Einstein solucionar o problema do movimento browniano e introduzir o conceito de quantum (CERCIGNANI, 1998).

1903, este chegou até a lhe enviar uma cópia de seu livro *Vom Ursprung sittlicher Erkenntnis* (1889) (BLACKMORE, 2006). Ambos se reuniram em 01 de abril em 1905 em Florença e lá permaneceu por quase um mês, afirmando que a visita à Brentano, apesar de temporariamente exaustiva, fora muitas vezes esclarecedora. No caminho de volta à Viena visitou Veneza. Em 8 de junho de 1905, ele tomaria o caminho de Leipzig, onde participara da reunião editorial da *Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften*, onde se comprometeu em completar o manuscrito de *Kinetische Theorie der Materie*, trabalho que seria publicado em parceria com Josef Nabl.

A terceira viagem de Boltzmann para a América ocorreu devido ao convite de Benjamin Wheeler (1854-1927) para que aquele participasse do *Summer Session*, entre junho e agosto, na Universidade da Califórnia em Berkeley. Essa viagem ficou bastante conhecida pela exposição bem-humorada que Boltzmann fez da sua experiência no seu *Reise eines deutschen Professors ins Eldorado*, publicado no *Populäre Schriften* e traduzido para o inglês e publicado em diversos jornais americanos. Partindo de Bremen, primeiro Boltzmann desembarcou em Nova York, onde pegou um trem expresso a caminho de San Francisco, tendo que passar quatro dias no mesmo. Em Berkeley, ele sofreu consideravelmente com asma grave, agravada pela mudança repentina de “calor subtropical para frio úmido onde se precisa usar um forno ou lareira, e entre clima seco como pó e nevoeiro onde não se enxerga a próxima casa” (BLACKMORE, 2006, p. 159). Na universidade, ele deu trinta aulas, em inglês, que foram intituladas *Mechanical Analogies of Thermodynamics with Special Reference to the Theorems of Statistical Mechanics*. Boltzmann também ficou bastante impressionado com a visita que realizou ao Observatório Lick, no Monte Hamilton. Seu telescópio, situado à 1480m acima do nível do mar, era tão considerado gigante para os padrões da época, possuindo uma lente de 28 polegadas que podia observar Marte claramente. Também foi convidado por Jacques Loeb para visitar o Pacific Grove Laboratory. Após esse período, cujo resultado final não havia sido tão bom devido a problemas relacionados à má dicção do inglês de Boltzmann nas palestras, que complicava o entendimento dos alunos, e a estadia muito estressante e cansativa, retornou para Áustria pelo Lloyd ‘Kaiser Wilhelm II,’ após cruzar o continente americano até Nova York (CERCIGNANI, 1988; FASOL-BOLTZMANN, 2006).

De volta à Europa, como estava de bom humor, começou imediatamente a trabalhar para completar o artigo escrito em conjunto com o seu assistente Josef Nabl. *A Kinetische Theorie der Materie* foi a última publicação de Boltzmann. Em 28 de outubro de 1905, Boltzmann

proferiu sua última palestra na Sociedade Filosófica de Viena intitulada *Erklärung der Entropie und der Liebe aus der Wahrscheinlichkeitsrechnung*.

Em cartas à Brentano e Arrhenius, no início de 1906, mostrou preocupação com o estado de sua saúde, principalmente com relação a neurastenia, que acusava de lhe causar uma “relutância em terminar qualquer coisa” (BLACKMORE, 2006, p. 206). No dia 1º de março de 1906, em Frankfurt, Boltzmann recebeu como última grande honra uma medalha de ouro (18 quilates) e o Prêmio Honorário da Fundação Peter-Wilhelm-Müller, no valor de 9.000 marcos.

Entretanto, sua saúde começou a se deteriorar rapidamente na primavera, chegando a relatar à Meyer que sua asma o atormentava a ponto de ter que cancelar aulas seguidamente, ainda passando por episódios de fortes dores de cabeça, chegando a graus insuportáveis. À Buchholz, escreveu que se sentia “muito doente e infeliz” (BLACKMORE, 2006, p. 207). Sua visão, já em estado de degradação avançado, o perturbava cada vez mais severamente enquanto escrevia ou lia, tornando imensamente difícil completar as diversas pesquisas que buscava dar continuidade (CERCIGNANI, 1998). Sua condição se deteriorou a tal ponto que ele não pôde mais apresentar suas palestras ou mesmo participar de bancas de examinação, permanecendo afastado. Ele permanecia por longos períodos no instituto e raramente voltava para casa (FASOL-BOTLZMANN, 2006).

Em 5 de maio, o reitor da universidade, o professor Pernter, informa ao Ministério que Boltzmann “está sofrendo de neurastenia severa e deve se abster, de acordo com as indicações médicas, com qualquer atividade científica” (BLACKMORE, 2006, p. 208). No Instituto de Física Teórica, Meyer assumiu as palestras ao mesmo tempo em que Boltzmann entrou de licença por doença, após terminar as palestras sobre filosofia natural um pouco antes. Alois Höfler, após uma visita à Boltzmann, relatou: “Quando o visitei durante as férias da Páscoa pela última vez, ele expressou seu sofrimento físico e mental assim: 'Eu nunca teria acreditado que tal fim fosse possível'” (CERCIGNANI, 1998, p. 35). Logo após essa visita, Boltzmann foi à Munique para ser internado em uma clínica para doenças nervosas, onde permaneceu por alguns dias. Muito possivelmente por causa desse último ataque, ele teve que cancelar as aulas do semestre de verão (1906) e Mach chegou a relatar que “nos círculos informados, sabia-se que Boltzmann provavelmente nunca mais seria capaz de exercer sua cátedra. Falou-se do quão necessário era mantê-lo sob vigilância médica constante, pois ele já havia feito tentativas anteriores de suicídio” (BLACKMORE, 2006, p. 207).



Como última tentativa de recuperar seu estado de saúde, Ludwig com sua família tomou o caminho para Duino, perto de Trieste, numa viagem de férias prevista para terminar no dia 6 de setembro. Ao chegar perto da data de volta à Viena, Boltzmann estava chateado e nervoso porque o retorno o deixava ansioso. O caminho de volta a Viena não seria realizado. Em 5 de setembro, após sua esposa e filha saírem para nadar, Boltzmann cometeu suicídio ao se enforcar com uma corda presa na armação da janela do quarto do hotel. Seu corpo foi primeiramente descoberto por sua filha. Fasol-Boltzmann relata que o incidente “foi um choque indescritível para toda a família. O estado mental e a saúde do meu avô obscureceram a vida familiar em seus últimos anos. Nas histórias de meu pai, o medo de seu pai sempre foi expresso. Eu também li essa preocupação estressante em todas as cartas dos seus irmãos e da minha avó. As várias doenças do meu avô se intensificaram e se tornaram um fardo pesado para toda a família” (FASOL-BOLTZMANN, 2006, p. 44). Henriette, sua esposa, faleceu somente em 3 de dezembro de 1938.

### **3. O PLURALISMO TEÓRICO SEGUNDO LUDWIG BOLZTMANN**

O objetivo deste capítulo é apresentar ao leitor os principais conceitos e o desenvolvimento histórico deles além da sua influência na coerência geral da tese do pluralismo teórico como pensada por Ludwig Boltzmann. O pluralismo teórico, como apresentado por Boltzmann, não parece estar em conflito com suas outras concepções filosóficas, portanto podemos esperar que entre todos conceitos que iremos explicar inicialmente e a tese apresentada no final do capítulo dêem ao leitor uma maior facilidade na compreensão do argumento do pluralismo teórico. Baseando-se em teorias filosóficas e científicas, como o darwinismo, Boltzmann desenvolveu a armadura teórica com a qual combateria aqueles que buscavam excluir teorias e ideias, como o atomismo, do debate científico. Além disso, apresentou as consequências que uma posição dogmática em relação a uma dada teoria poderia ter para o desenvolvimento da ciência. Para isso, desenvolveu uma argumentação sobre a necessidade de termos uma comunidade científica aberta à proposições e criatividade de seus integrantes, principalmente em relação à concepção e desenvolvimentos de novas teorias e hipóteses.

#### **3.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA FILOSOFIA DE BOLZTMANN**

##### **3.1.1 Teoria, representação e modelo**

A formação filosófica de Boltzmann levou-o a pensar como se poderia determinar natureza da física teórica. Impasses quanto à importância das hipóteses dentro da teoria, como esta é construída, se os termos devem ser introduzidos na teoria por fatos empíricos conhecidos ou se o cientista poderia usar a sua criatividade, ou se teorias físicas deveriam descrever ou explicar os fenômenos naturais levaram Boltzmann a questionar a estrutura da ciência física. Para Boltzmann, a habilidade de uma teoria em prever novos fenômenos não a tornava capaz de prever seu próprio futuro ou o da ciência. O reconhecimento dos limites de uma teoria e a incapacidade de prever seu futuro foram as razões que levaram-no a tentar compreender o processo de desenvolvimento da ciência (RIBEIRO; VIDEIRA, 2007).

Para entendermos focalmente o contexto da argumentação de Boltzmann, tomemos o seguinte comentário de Janik & Toulmin:

Durante as últimas décadas do século XIX, o status e a validade do conhecimento científico haviam sido discutidos por um grande número de cientistas e filósofos da ciência de língua alemã, incluindo homens ilustres como Gustav Kirchoff, Hermann von Helmholtz e Ernst Mach, Heinrich. Hertz e Ludwig Boltzmann. O termo "representação", que desempenhou um papel importante nesse debate, foi posto em circulação por Kant e Schopenhauer. Esse termo combinou duas noções conectadas, que não eram claramente distinguidas na época e frequentemente são confundidas até hoje. Em certo sentido, o termo tinha um uso "sensorial" ou "perceptivo" na óptica fisiológica de Helmholtz e na psicologia de Mach - que o ligava de volta às filosofias empiristas de Locke e Hume. No outro sentido, tinha um uso mais "público" ou "lingüístico" - como na mecânica de Hertz - similar àquela da expressão "representação gráfica" na física de hoje (JANIK; TOULMIN, 1973, p. 132).

Primeiro, é necessário entender como Boltzmann expressava sua compreensão do que é a teoria científica. Para ele, a teoria seria uma *representação* e seria originadas na razão humana.<sup>17</sup> Essa representação seria elaborada a partir de conceitos que visam explicitar relações na estrutura da realidade com base nas evidências experimentais, buscando a compreensão da realidade e uma expressão discursiva válida e verdadeira acerca dela. Não seria uma função passiva do entendimento, mas construções dinâmicas que buscam descrever as relações entre as estruturas do real. A física não pretenderia decifrar o que é o real enquanto característica ontológica, ou seja, tendo como função explicar os que os entes são em si, mas unicamente compreender essa realidade e dar uma explicação verdadeira entre as relações. Essa representação conceitual, que também é fruto da função ativa da mente humana, tem validade na medida que esse possuem um valor explicativo. A relação teoria-realidade não é constituída apenas pela correspondência experimental, mas também pelo conteúdo possível de ser logicamente explicitado e, portanto, corresponder ao real (VIDEIRA, 2000).

A questão fundamental do seu pensamento epistemológico é: “A resposta dessa questão complica ou simplifica a nossa imagem do mundo (*weltbild*)?” (BOLTZMANN, 1979, p. 98). Sendo construções dos fenômenos naturais, as teorias científicas não poderiam almejar conhecer a Natureza em si, mas apenas descrever os fenômenos naturais da forma como eles se apresentam para nós. Conhecimento último e absoluto seria sempre desconhecido (RIBEIRO; VIDEIRA, 2007).

---

<sup>17</sup> Segundo Ribeiro & Videira (2007), Boltzmann não foi o primeiro a apresentar a teoria científica como uma representação, sendo que esta visão já estava presente nos escritos de Maxwell, Hertz, Helmholtz e Kant: “Lembrando que outros como Kant e Maxwell já haviam expressado proposições semelhantes, Boltzmann desejava assegurar que qualquer teoria ou modelo fosse continuamente aperfeiçoado, sem ser excluído por nenhum outro “tribunal” do que pela experiência.”

A consequência dessa visão era que o conceito de *verdade científica* deveria sofrer modificações, visto que a identificação da teoria com os objetos investigados é *fraca*, portanto essa identificação não pode ser *única*, não pode ser *completa* e é temporalmente *limitada*. A concepção que se forma é que as teorias não seriam mais que *imagens (weltbild)* da Natureza, podendo existir múltiplas teorias que representam os mesmos aspectos da Natureza e que, em princípio, poderiam ser substituídas algum dia por outra. Esse ponto era muito importante no pensamento de Boltzmann, visto que era justamente a possibilidade de ser substituída por outra teoria que define e constitui o progresso científico.

O *caráter provisional* das teorias científicas era expresso, principalmente, pelas contradições que duas teorias que explicassem o mesmo fenômeno poderiam ter, apesar das explicações de ambas poderem ser consideradas adequadas. Como a teoria é uma criação livre e ativa da mente do cientista teórico, que de uma perspectiva pessoal com os instrumentos conceituais que possuiu pela sua educação, em seus elementos constitutivos ela é preenchida de pressuposições filosóficas presentes na cultura do cientista, uso de certos aspectos e características específicas da linguagem (em teorias que utilizam a linguagem matemática, como a mecânica quântica: as matrizes de Heisenberg, os operadores de Dirac, a função de onda de Schrödinger, etc), certa rejeição por conjuntos de dados experimentais que possam lhe parecer irrelevantes. Ou seja todos os aspectos socioculturais que envolvem o cientista como indivíduo compõem subsidiariamente sua teoria. Todos esses fatores formam as circunstâncias em que várias teorias com características contraditórias podem ser representativas dos fenômenos físicos. Essas opções teóricas pessoais não são completamente arbitrárias, apesar do caráter simbólico ou específico da linguagem matemática. As convenções serão sempre limitadas pelos aspectos da teoria que não são percebidos como diretamente e objetivamente relacionados com a Natureza. Levando em consideração todos esses aspectos, não é possível construir uma teoria que seja formulada unicamente da mera observação dos fenômenos naturais. Toda teoria possui, em alguma extensão, conceitos teóricos que possuem, integralmente, uma objetividade e uma subjetividade, atualidade e virtualidade, característicos dos símbolos significantes.

A verdade científica, que era definida desde a revolução galileana, como a correspondência entre teoria e observação, i.e., uma *correspondência forte*, teve, como a revisão de Boltzmann, uma redução à *correspondência fraca*. A teoria científica representa a Natureza como uma síntese de objetividade e subjetividade, derivada da natureza dos conceitos teóricos, que nos impede de descrever os fenômenos físicos *tota et totaliter*, mas que é capaz de ter sua

objetividade aumentada conforme a Ciência progride acumulando dados experimentais. Esse aumento de objetividade é conseguido pela adequação dos modelos (RIBEIRO; VIDEIRA, 2007).

O *modelo* tem uma função importante na Filosofia da Ciência de Boltzmann (ROQUE; VIDEIRA, 2013; VIDEIRA, 2013). Boltzmann (1974) definiu modelo para a *Encyclopaedia Britannica* como:

Modelos nas ciências matemáticas, físicas e mecânicas são da maior importância. Há muito tempo, a filosofia percebeu a essência de nosso processo de pensamento no fato de que nos ligamos aos vários objetos reais ao nosso redor, atributos físicos particulares - nossos conceitos - e, por meio deles, tentamos representar os objetos em nossas mentes. Tais visões eram antes vistas por matemáticos e físicos como nada mais do que especulações inférteis, mas em tempos mais recentes elas foram trazidas por J.C. Maxwell, H. v. Helmholtz, E. Mach, H. Hertz e muitos outros em íntima relação com o corpo inteiro da teoria matemática e física. Nesta visão, nossos pensamentos permanecem nas mesmas relações que os modelos para os objetos que representam. A essência do processo é o apego de um conceito que tem um conteúdo definido para cada coisa, mas sem implicar semelhança completa entre coisa e pensamento; pois, naturalmente, podemos conhecer pouco da semelhança de nossos pensamentos com as coisas às quais os associamos. Que semelhança existe, reside principalmente na natureza da conexão, sendo a correlação análoga àquela que se obtém entre pensamento e linguagem, linguagem e escrita. (...) Aqui, é claro, a simbolização da coisa é o ponto importante, porém, onde factível, busca-se a máxima correspondência possível entre os dois (...) estamos simplesmente estendendo e continuando o princípio por meio do qual compreendemos objetos em pensamento e representá-los em linguagem ou escrita. (BOLTZMANN, 1974, p. 213-214)

Dessa forma, um modelo seria mais adequado que o outro se explicasse de forma mais racional e inteligível um conjunto de fenômenos físicos. Identificava ele, portanto, a verdade científica com adequação do melhor modelo e este mediaria uma correspondência fraca entre as teorias científicas e a Natureza. Resumidamente, poderíamos caracterizar as segundo as seguintes características fundamentais: i) a *não-singularidade* (i.e., mais de uma teoria explica os mesmos fenômenos); ii) a *incompletude* (nenhuma teoria descreve completamente a Natureza); iii) a *indefinitude* (nenhum estado atual de uma teoria é um estado definitivo e final, e é passível de substituição ou adequação). Para Boltzmann, uma teoria que se declara única, completa e final é uma teoria dogmática. E também decorre desse ponto de vista que as teorias não são meras convenções, devido aos elementos objetivos e subjetivos dos conceitos teóricos, trabalhados cuidadosamente pelo cientista com sua criatividade, desenvolvendo representações

de fenômenos físicos naturais e não-arbitrários, e estes são mediados com aquelas pelos modelos, que devido à objetividade presente nos símbolos significantes, acabam dizendo o que realmente ocorre na Natureza.

Boltzmann, no entanto, nos dava um critério efetivo para selecionar os melhores modelos: *predictibilidade*. A habilidade de uma teoria em prever eventos naturais futuros é o que determinaria o verdadeiro crescimento quantitativo do conhecimento científico. Nesse contexto, o emprego de hipóteses é necessário para que a antecipação dos resultados seja possível, visto que a predição é uma representação que será confirmada. A capacidade de prever fenômenos desconhecidos e confirmá-los mostra o seu poder explanatório e a sua adequação superior (RIBEIRO; VIDEIRA, 2007; VIDEIRA, 2000). As teorias seriam, assim, caracterizadas por uma *ausência de infalibilidade*: quaisquer teorias poderiam ser desconsideradas num dado período da História em decorrência da sua incapacidade em melhorar o conhecimento natural ou prever novos fenômenos.

Em sua educação universitária, Boltzmann foi influenciado por Robert Zimmermann, que utilizava frequentemente o termo *Bild* (WILSON, 1989, 252). O conceito de imagem já havia sido introduzido na Física por Maxwell (ROQUE; VIDEIRA, 2013), na Inglaterra, e Ostwald e Hertz, na Alemanha<sup>18</sup>. Na concepção de Maxwell, as figuras eram modelos visuais que promoviam uma certa forma de entendimento por analogia e não deveriam ser tomados de forma factual (GARBER, 1995).

Apesar de ter uma proximidade com esta visão desses cientistas, Boltzmann levava a *Bildtheorie*, i.e., sua *teoria das imagens*, em maior consideração. Apesar disto, não considerava que essas imagens poderiam descrever de forma precisa e exata a realidade. Além disso, Boltzmann, que estava plenamente consciente de como a física teórica podia ser idealizada como uma verdade final, nunca sustentou que as imagens pudessem capturar completamente o conteúdo da realidade e, normalmente, estavam longe de ser completas e esgotar completamente seu conteúdo. De fato, muitas imagens poderiam ser úteis e, portanto, pragmaticamente "verdadeiras", mesmo que não houvesse correspondência com a realidade.

---

<sup>18</sup> De acordo com Visser (1999), Ostwald antecipou a ideia de Boltzmann quando afirmou, em seu *Vorlesungen über Naturphilosophie* (OSTWALD, 1902, p. 100), que “todas as representações científicas repousam na construção de símbolos atribuídos da mesma variedade ou multiplicidade que a representada e a conservação legal desses símbolos no lugar das coisas reais.” Segundo D’Agostino (1990), a teoria das imagens de Hertz (1894) era muito formalizada, seguindo formalmente as leis do pensamento de Kant, o que ajudou a popularizar sua *Bildtheorie*.

No fim de sua vida, ele atentou para o fato de que qualquer teoria, imagem, modelo, lei ou equação poderia oferecer uma objetividade total sobre os fenômenos naturais. Essa posição assemelha-se à dos pragmatistas americanos, apontando um lado pragmático na filosofia de Boltzmann, que justificaria a teoria por meio de sua utilidade dentro e fora da ciência (FASOL-BOLTZMANN, 2006; VISSER, 1999). Boltzmann considerava as figuras como um aspecto potencialmente permanente da Ciência: “As teorias são meras figuras do processo natural” (BOLTZMANN, 1891).

De acordo com Blackmore (1995), Boltzmann parecia desenvolver, no final de sua vida (1903-1905), uma filosofia da linguagem, que parece ter o propósito de proteger a ciência ao descobrir e eliminar palavras e conceitos que tivessem se tornado obsoletos ou questões que tivessem se tornado insolúveis pela evolução dos símbolos significantes causada pela Ciência. Segundo Visser (1999), Boltzmann considerava tais termos “sem significado”, e a “poda” desses termos era uma consequência da própria evolução da linguagem e da ciência.<sup>19</sup>

Uma tarefa para os futuros filósofos na opinião de Boltzmann, expressa em suas palestras nos semestres de inverno dos anos letivos de 1902 e 1903 e a palestra de 1904 em St. Louis, seria estudar imagens e teoria das imagens a fim de libertar a ciência de todo conteúdo lingüístico “metafísico”, “sem sentido” e, portanto, “não científico”. (BOLTZMANN, 1974, p. 159-172). Ele analogava as imagens com teorias, teorias com a linguagem e, como as teorias sofreriam adapção ou substituição, a linguagem acompanharia o mesmo processo dentro da ciência atualizada. Boltzmann frequentemente pensava em imagens como teorias, queria ser mais rigoroso a fim de evitar a “metafísica” – uma proposição que foi levada mais adiante pelo filósofo austríaco Ludwig Wittgenstein e a Escola Analítica (BLACKMORE, 1995, 1999, DE REGT, 1999, 2005; VISSER, 1999).

Na sua *Gedankenbilder*, i.e., a gnosiologia boltzmanniana fundada nas imagens produzidas na mente, as teorias passavam a se referir a imagens como pensamentos com teorias, e os pensamentos estão cada vez mais identificados com modelos verbais linguisticamente explicados. Boltzmann reconhece que a ciência é “um quadro integral” (*ein inneres Bild*) ou

---

<sup>19</sup> “A razão disso é que Boltzmann, de maneira lamarquiana, acreditava na herança das características adquiridas; ele temia que, sem a poda de que expressões científicas pré-antigas ou obsoletas, por serem herdadas por gerações futuras, pudessem ser usadas para bloquear o progresso da ciência; portanto, elas precisavam ser revistas ou eliminadas. A própria interpretação de Boltzmann, que foi muito importante para ele, involuntariamente incluiu características lamarckianas no que ele chamou de “darwinismo.” (VISSER, 1999, p. 143).

“construção mental” (*gedankliche Konstruktion*) que nunca pode coincidir com a multiplicidade de fenômenos, representando apenas uma quantidade limitada dos aspectos de uma maneira ordenada (BOLTZMANN, 1979, p. 163). Podemos ver como Boltzmann tentava integrar todos os conceitos, equações, dados experimentais e demais informações relevantes de uma teoria, de forma que em sua realação subsidiaria em relação ao todo, a teoria conseguisse formar a melhor imagem a refletir a realidade verdadeira.

Por outro lado, Boltzmann contou com uma multitude de estruturas como imagens, incluindo proposições; sua postulação de proposições atômicas ou elementares, uma tentativa de simplificação, permitiu que ele articulasse de maneira mais definida suas visões sobre lógica, probabilidade e filosofia da ciência. Em outras palavras, o discurso tradicional da mecânica é reconhecidamente diferente de outros meios lingüísticos para descrever o mundo, mas é uma forma de descrição do mundo assim como a probabilística, e começa com a representação de situações que, em teoria, são feitas por proposições elementares (BLACKMORE, 1995, 1999, DE REGT, 1999, 2005; VISSER, 1999).

### **3.1.2 Evolução e darwinismo**

A *Origem das Espécies* (1859) de Charles Darwin introduziu um novo modo de compreender as espécies animais e sua formação baseado na ideia de evolução nas ciências biológicas. Como afirma Hobsbawn (2014b), a teoria darwinista impressionava por ser um modelo explanatório satisfatório para a origem das espécies, mas que por possuir uma linguagem simples, pode ser compreendida pelo conceito bastante comum e conhecido, principalmente pela uso nas teorias econômicas liberais, da competição, sendo adotada pela maioria dos cientistas, alguns até com um uso excessivo. Esse impacto do darwinismo ocorreu tanto nas ciencias naturais como nas sociais, e passaram a influenciar os movimentos políticos, afetando os movimentos socialistas, liberais e social-democratas (HOBSBAWM, 2014b).

O enunciado de Clausius (1867) da Segunda Lei da Termodinâmica pareceu corroborar na Física a resposta da Biologia. Na época, nem todos os cientistas levaram a questão a sério. Uma das exceções foi Boltzmann. Ele já tinha demonstrado interesse na termodinâmica ainda enquanto estudante em Viena e o aprofundamento que teve com a leitura de Darwin deu-lhe a noção da essencialidade do conceito de evolução na descrição da natureza. A teoria cinética dos gases foi um dos exemplos que Boltzmann utilizou para demonstrar sua afirmação de que os processos naturais seguiam uma lei evolutiva (PRIGOGINE, 2009).



A noção de evolução teve como consequência a diferenciação da consciência dos seres humanos ao repensar a sua própria história e o seu desenvolvimento. Com os desenvolvimentos sugeridos pelas teorias evolucionistas, o homem começou a investigar, a partir de uma base científica, os processos que determinaram o seu surgimento enquanto espécie biológica. A partir da segunda metade do século XIX, os cientistas continuaram com suas reflexões sobre a criação e o desenvolvimento da ciência. Entre os primeiros, encontram-se justamente os físicos, impulsionados em suas investigações pelos problemas e dificuldades em unificar a teoria eletromagnética de Maxwell e a Mecânica Clássica, que reforçava a necessidade de se compreender historicamente a física.

Em Boltzmann, o pluralismo teórico decorre parcialmente de uma analogia entre as teorias científicas e as ideias darwinianas de coexistência e competição entre as espécies. Darwin constitui uma grande influência sobre Boltzmann, o qual sempre esteve consciente dessa influência.<sup>20</sup>

Ao adotar o darwinismo, Boltzmann não teve como intenção elaborar uma filosofia sistemática da física nem da ciência. De acordo com Boltzmann, as leis do pensamento, sendo a fonte das representações que elaboramos, podem evoluir com o passar do tempo e sob pressões do ambiente. Não devemos considerar essas leis como o critério supremo e único, capaz de permitir a elaboração de um juízo definitivo sobre a validade e a exatidão das representações e/ou imagens elaboradas sob essas leis.

Boltzmann reconhecia que as leis do pensamento são necessárias para que a experiência tenha um valor científico, e considerava como certo que pudéssemos ter representações *a priori*, mas o *a priori* boltzmaniano é mais “fraco” do que o imaginado por Kant e Hertz. A sua força resulta da sua transmissão biológica de geração em geração. Esse *a priori* não pode significar que aquilo que torna possível a construção do mundo, ainda que certamente a partir de um projeto previamente estabelecido, deve ser compreendido como sendo absolutamente correto,

---

<sup>20</sup> Boltzmann sempre expressava sua enorme admiração por Darwin, como expressa de Groot (BOLTZMANN, 1974, XII). “E quem deve definir um termo para o próximo passo do espírito humano! A invenção de um dirigível é pouco mais que uma questão de tempo. Não obstante, penso que não são essas conquistas que colocarão sua marca em nosso século. Se você me perguntar por minha mais profunda convicção, se este um dia será chamado de século do ferro, do vapor ou da eletricidade, respondo sem hesitação, que será nomeado o século da visão mecânica da natureza, o Século de Darwin” (BOLTZMANN, 1979, p. 28-29). “Devemos mencionar também a mais esplêndida teoria mecânica no campo da biologia, a saber, a doutrina de Darwin. Esta se compromete a explicar toda a multiplicidade de plantas e o reino animal do princípio puramente mecânico da hereditariedade, que, como todos os princípios mecânicos da gênese, permanece, obviamente, obscuro” (BOLTZMANN, 1974, p. 133).

infalível e imutável. O *a priori* boltzmaniano não tem como escapar ao confronto com a experiência, visto que é esta que garante a realidade da teoria. As leis do pensamento foram lentamente desenvolvidas a partir das experiências cotidianas da espécie humana e poderão sofrer modificações futuramente, através da educação e da instrução (VIDEIRA, 2005).

A natureza das representações e imagens mostrava que elas eram diferentes dos objetos de estudos em si; representação e imagem seriam signos, distintos parcialmente dos objetos, imitando algumas associações manifestas entre os objetos, enquanto que as essências destes nos permanecem completamente inacessíveis. Boltzmann pensava que os signos e os conceitos que construímos existem apenas em nós e prestam-se as nossas necessidades.

Tendo sido influenciado por Maxwell no que se refere às teorias e aos conceitos científicos como representações da realidade (VIDEIRA, 2006), com Darwin, Boltzmann encontrou argumentos para melhor defender essa concepção. Segundo o austríaco Engelbert Broda, um dos primeiros estudiosos do pensamento filosófico de Boltzmann, foi a concepção darwiniana que abriu a possibilidade de solucionar os problemas fundamentais em epistemologia. Essa perspectiva darwiniana significa que os conceitos e as teorias evoluem segundo as necessidades dos homens para garantir a sua sobrevivência como espécie. Não apenas o ser humano é um produto da evolução, mas todas as suas realizações também o são. Boltzmann recusava a concepção tradicional que percebia o ser humano dividido em duas partes: o corpo, pertencendo à esfera da natureza física, e a alma, nada tendo a ver com ela, submetendo tudo às regras da evolução (VIDEIRA, 2013).

Boltzmann pôde opor-se à ideia de uma adaptação inalterável das representações mentais e também conceber essas imagens como sendo o resultado do processo evolutivo. Isso lhe permitia desenvolver um pensamento epistemológico baseado no princípio do pluralismo teórico: um mesmo fenômeno natural pode ser diferentemente explicado por teorias científicas distintas e mesmo contraditórias entre si. O valor das leis de pensamento decorre do seu funcionamento correto e sua adaptação às mudanças ambientais.

Segundo Boltzmann, as leis do pensamento são representações herdadas adquiridas na vida prática e, muito provavelmente, seriam ainda confirmadas durante vários séculos. Essas leis do pensamento nasceram através da associação de ideias internas, as nossas imagens dos objetos exteriores, que foram adaptadas cada vez mais à associação real existente entre os

objetos. As regras de associação que conduziram a contradições com a experiência foram rejeitadas, e aquelas que foram validadas, mantiveram-se (VIDEIRA, 2006; 2013).

Boltzmann trabalhou em favor de uma relação pacífica e fecunda entre a filosofia e a ciência, e acreditava que se elas quisessem progredir, a única possibilidade que tinham seria interromper as disputas que as colocavam em crise. Os cientistas e, principalmente, os filósofos deveriam redefinir e reorientar os seus objetivos, e a Filosofia deveria reconhecer que muitas das suas questões não poderiam ser respondidas porque foram mal formuladas, uma vez que não possuem relação alguma com o desenvolvimento da própria espécie humana. Boltzmann reconhecia, no entanto, que, a partir de um certo momento da sua evolução, o homem pensou poder compreender o que as coisas são em si. Esse hábito tomou a aparência de normalidade que envolve essas questões metafísicas. A adequação dos conceitos, comprovada em casos particulares e específicos, foi suficiente para o cientista ou filósofo pensar que aqueles seriam invariavelmente úteis, sem necessidade de adaptação, i. e., em toda e qualquer situação, verdadeiros.

A Filosofia deveria controlar a sua linguagem com a ajuda da Ciência, um instrumento pragmático que deveria ser empregado para dar conta de seus objetivos. Por outras palavras, Boltzmann defende que a análise recorrente da linguagem, através do método científico, permitiria aos filósofos controlar os seus objetivos. A análise linguística desempenha, na Filosofia, o mesmo papel dos experimentos empírico-matematizáveis nas Ciências, e permite formular os conceitos fundamentais de uma tal maneira que eles sejam instrumentos convenientes nas intervenções e interpretações filosóficas.

Boltzmann considerava que o progresso da Ciência só ocorreria caso existissem uma multitude de teorias, que permitissem que a comunidade científica escolhesse aquela que seria a capaz de representar melhor os fenômenos. É necessária a competição entre as teorias, competição essa análoga àquela existente nos mundos animal e vegetal, tal como apresentado por Darwin em sua teoria da evolução. O progresso científico, como o progresso biológico no ambiente ecológico, se realiza graças à coexistência de várias teorias que asseguram aos cientistas a possibilidade de construir representações, que podem até possuir caráter completamente opostos, talvez mais adequadas que as antigas. Em suma, somente pela concorrência permitida pelo pluralismo teórico o progresso científico torna-se possível (RIBEIRO; VIDEIRA, 2007; VIDEIRA, 2000, 2005).

Como as leis do pensamento precisam ser confirmadas pela experiência, elas não podem ser consideradas como o juiz absoluto. A verdade ocorre quando todos os nossos pensamentos, conceitos e representações devem submeter-se àquilo que nos é fornecido pela experiência. Os dados experimentais constituem o início da formação, elaboração e associação dos conceitos, com a finalidade de obter a representação mais adequada da natureza. Nesse caso, essa representação somente se pode adaptar, e de maneira aproximada, às necessidades existentes em cada instante, o que impossibilita a existência de representações completamente perfeitas. O acordo perfeito entre uma representação e seu objeto torna-se ainda mais impossível, pois as imagens que formamos dos objetos naturais não podem nunca ser idênticas à realidade, mas somente análogas a esta (RIBEIRO; VIDEIRA, 2007; VIDEIRA, 2000, 2005).

Boltzmann considerou a teoria de Darwin como a chave para a compreensão da verdade ou falsidade das teorias científicas. Não fazendo distinção entre evolução biológica e cultural, entre o psicologicamente fixo e o que é transmitido aos descendentes biológica e socialmente, Boltzmann substituiu o conceito de verdade pelo conceito de adequação, enquanto critério para julgar o valor e alcance das teorias. A noção de verdade, *stricto sensu*, não poderia ser adotado como critério último, pois ela pressupõe que as teorias científicas determinam a realidade em si. A adequação significa que uma teoria A é mais adequada que uma outra teoria B, caso ela torne inteligíveis certos fenômenos, e possa prever outros, que não são bem representados ou descritos pela segunda teoria. O critério de adequação permite afirmar que qualquer teoria científica é de fato uma representação ou, como Boltzmann ressaltava, toda teoria é uma pura imagem mental interna que tem como objetivo a construção de imagens que correspondam da melhor forma possível ao mundo exterior.

A construção das imagens internas, da mesma forma que o trabalho de aperfeiçoamento de seus graus de adequação que o homem apresenta ao mundo exterior, é instintivo, não sendo um privilégio pertencente apenas aos filósofos cientistas e intelectuais. Os homens fazem uso dessa capacidade para agir e intervir sobre o meio ambiente, de modo a controlarem-no e poderem nele sobreviver. Boltzmann acredita que o poder do pensamento teórico poderia ser explicado em uma base evolucionista. Somente os processos mentais que provaram seu valor durante a longa marcha da matéria viva desde o seu começo até o surgimento do homem puderam se manter. Mais precisamente, apenas os processos que possibilitassem uma compreensão e representação correta da natureza poderia ser transmitida à prole e aos outros humanos por meio da cultura.

Segundo Boltzmann, as leis do pensamento são as responsáveis pela origem das representações, tendo sua origem no cérebro. Na teoria darwiniana da evolução, o processo de evolução biológica não possui um objetivo determinado *a priori*. Todas as espécies podem sofrer modificações em suas estruturas, inclusive o cérebro humano, sendo, portanto, errôneo pensar que essas leis garantem a infalibilidade do conhecimento humano. Não somente esse conhecimento pode ser modificado, adequado, corrigido ou refutado, as leis que tornam possível esse conhecimento pode igualmente sê-lo. Para a Ciência, a ausência de infalibilidade implica que sua evolução não tem um fim pré-determinado, e não é, portanto, um meio para conquistar verdades definitivas e imutáveis.

A história do processo evolutivo daria, aos filósofos e cientistas, a prudência necessária ao lidar com suas investigações, e estes deveriam se abster de generalizações epistemológicas e científicas que fossem perigosas e dogmáticas, principalmente se estas conduzirem à exclusão de outras teorias.

Para Boltzmann o problema dos filósofos e cientistas situa-se no seu método. A excessiva confiança que nutrem pelas leis do pensamento é a origem de todas as dificuldades e contradições ao formularem falsas questões, que os leva a não atingirem seu objetivo pragmático: construir representações e imagens mentais capazes de ajudar os homens a intervir convenientemente na natureza. É na necessidade de ultrapassar os obstáculos naturais que encontramos a força motriz das leis do pensamento, desenvolvidas a partir da necessidade sentida pelos primeiros humanos em estabelecer condições próprias e adequadas à prosperidade da vida humana.

### **3.1.3 Realismo, materialismo e atomismo**

Boltzmann nutria sentimentos ambíguos com relação à Filosofia, expressando em certas ocasiões sentimentos como menosprezo ou ódio.<sup>21</sup> Ele compartilhava essa opinião com outros cientistas, como os fenomenalistas, que também nutriam uma forte aversão pela Filosofia, pois acreditavam que esta não podia contribuir para o avanço das ciências, com alguns acreditando que poderia até promover dificuldades insolúveis. Para Boltzmann, a impossibilidade de a Filosofia vir em socorro da Ciência derivava do fato de que a forma como atualmente se

---

<sup>21</sup> “Minha aversão pela filosofia foi, então, incidentalmente compartilhada por quase todos os investigadores da natureza. Perseguiu-se toda a ornamentação metafísica, procurando exterminá-la radicalmente.” (BOLTZMANN, 1979, p. 202-203)

praticava a Filosofia, questões banais conduziam a dificuldades e aporias insuperáveis. Essa característica da filosofia tradicional originava-se na confiança excessiva que os filósofos puros, i.e., aqueles que apenas se apegavam as especulações sem considerar as evidências científicas, concediam às leis do pensamento, transformando estas em juiz supremo na determinação das soluções necessárias para os problemas mais importantes do conhecimento humano. Boltzmann não concordava absolutamente com essa opinião e durante o período de 1865 até 1885 evitou toda a reflexão filosófica para que a Ciência pudesse funcionar a contento.

Em 1903, confessou que essa atitude negativa para com a Filosofia deveria ser entendida como limitando-se à metafísica<sup>22</sup>. Boltzmann convenceu-se da existência de uma tendência nas leis do pensamento humano que sempre se manifesta no raciocínio da metafísica, que parecia ser inata na espécie humana. Boltzmann cita como cientistas do nível de Robert Mayer, Maxwell, Helmholtz, Kirchhoff e Ostwald se consagraram na filosofia ou metafísica, e que seus esforços ajudaram a Filosofia a se sagrar a rainha das ciências<sup>23</sup>. Apesar do seu desprezo aparente, Boltzmann reconheceu que também ele havia sido seduzido pela Filosofia.

A Filosofia, aos olhos de Boltzmann, era um domínio tão vasto que lhe parecia impossível um único ser humano dominar todo o “conhecimento” filosófico, mas esta não deve ser rejeitada em toda a sua totalidade. A sua aceitação torna-se impossível pela maneira segundo a qual os filósofos “puros” ou profissionais a praticam, i.e., com excessiva confiança na infalibilidade e correção das leis do pensamento, que os conduziram às contradições e aporias insuperáveis e a afirmações não fundamentadas, constitutivas dos sistemas filosóficos. A Filosofia assim realizada não era aceitável como sistema de conhecimento. Como as “verdades” dos sistemas filosóficos não eram dedutíveis de critérios experimentais, sua validade seria justificada por afirmações feitas a partir de um certo sistema filosófico contra um outro sistema filosófico. Um filósofo somente teria razão quando procurasse contradizer outro filósofo, o que levou a Filosofia não produzir nenhuma descoberta útil e verdadeira sobre a natureza. Boltzmann julgava que esses fatos tornavam falsas e inúteis todas as afirmações filosóficas.

---

<sup>22</sup>“Todavia, essa atitude [de exterminar a metafísica] não perdurou. A metafísica parece ter uma magia irresistível sobre o espírito humano, que, apesar de todas as tentativas fracassadas em levantar o véu da mesma, não perde forças” (BOLTZMANN, 1979, p. 203)

<sup>23</sup>“O instinto para o filosofar nos parece ser inevitavelmente inato. Não apenas Robert Mayer, que foi um filósofo dos pés à cabeça, mas também Maxwell, Helmholtz, Kirchhoff, Ostwald e muitos outros se sacrificaram a ela de boa vontade, reconhecendo suas questões como as mais elevadas, de modo que ela é hoje, uma vez mais, a rainha das ciências.” (BOLTZMANN, 2004, p. 159)

Não existiria “verdade filosófica” porque “filosofia = aquilo que trata de tudo segundo um método errado” (BOLTZMANN, 1974, p. 275.)

Nos últimos anos da vida (BLACKMORE, 1995, 1999), Boltzmann tenta mostrar que o erro dos filósofos não se deveu à devoção a considerações teóricas, que é de fato a tarefa da Filosofia. O erro cometido pelos filósofos, na opinião de Boltzmann, era o de basearem suas teorias em argumentos puramente metafísicos, sem base na experiência real. Em sua opinião, o problema é devido à falta de realidade na proposição de teorias filosóficas. Isso mostra como, na verdade, o horror de Boltzmann era mais dirigido ao idealismo que à Filosofia propriamente dita (RIBEIRO; VIDEIRA, 2007). Boltzmann chamava sua filosofia de Realismo.

Para Boltzmann, a negação da existência do mundo exterior conduziria aqueles que a defendiam a um solipsismo sem saída. Porém, Boltzmann não aceita uma das consequências possíveis da posição realista: as teorias científicas teriam condições de determinar quais são os componentes últimos da natureza. De acordo com Blackmore (1999), a conversa que teve com Franz Brentano em Florença, no ano de 1905, fez com que Boltzmann terminasse por defender um realismo indireto, rejeitando o fenomenalismo machiano.

No entanto, devido a sua formação como físico, Boltzmann parecia não fazer uma distinção muito precisa em sua filosofia, de forma que se fosse chamada de fisicalismo ou naturalismo, não seria um problema, visto que na literatura da época os termos era usados analogamente (EFTEKHARI, 1996). Assim como utilizava o termo realismo, Boltzmann utilizava o materialismo como meios de negar toda a metafísica idealista, que em sua tentativa de levar a especulação a campos mais extensos que aqueles de seus domínios naturais, davam respostas sem sentido para questões vazias.

O materialismo de Boltzmann também era distinto da maioria das correntes de materialismo do século XIX, como o mais famoso deles, o materialismo dialético. O seu buscava afirmar a existência do mundo externo, formando um materialismo-realista, e acredita que tudo aquilo que podemos aprender da natureza (naturalismo), está dentro do reino das ciências, particularmente da Física. Estando limitados pelas representações teóricas, Boltzmann acreditava que a melhor maneira de representar o materialismo era utilizando o conceito de átomo.

Apesar do conceito de átomo estar presente na literatura científica entre 1850 e 1860, como aponta Blackmore (1999) quase todos os livros textos na Alemanha e Áustria ainda não haviam atualizado os novos avanços. Boltzmann, que simpatizava com esses avanços – o contato com físicos de outros países – preocupava-se com a oposição que os conceitos de átomos e moléculas recebia na física germânica (FASOL-BOLTZMANN, 2006). Os físicos aderiram às visões da física teórica que se aproximavam mais do elementismo de Mach, do energetismo de Ostwald e do convencionalismo de Poincaré. Foi justamente com a visão eletromagnética promovida por Maxwell que Boltzmann encontrou suporte e consolação. Os cientistas ingleses pareciam aceitar a concepção de Galileu do propósito primário da ciência física e também a realidade provável de átomos e moléculas. Havia também o interesse no próprio trabalho de Boltzmann, vindo esse a participar de conferências científicas na Inglaterra, a última sendo em Southport em 1903.

A defesa de Boltzmann do atomismo é pouco fundada em argumentos científicos, visto que a ciência de seu tempo não dava meios e certezas para afirmar que o átomo é uma condição necessária para a concretização de uma ciência objetiva. Boltzmann observa que a ciência ao final do século XIX não sabia como deveria compreender o átomo de maneira a relacioná-lo com os fenômenos recentemente descobertos como os raios X, a radioatividade natural, a radiação, entre outros. A reformulação da concepção do átomo ultrapassaria o quadro científico-epistemológico da mecânica clássica.

Para Boltzmann, a importância que a epistemologia tem para os cientistas é relativa, porque o problema não pode ser compreendido apenas objetivamente. Existem dificuldades que assolam a pesquisa científica que vão além daquelas que os cientistas encontram em explicitar a sua teoria e que somente são resolúveis a partir de uma reflexão epistemológica mais profunda que inclua também questões subjetivas e hermenêuticas. A questão acerca das condições do progresso científico é uma delas. Assim, a defesa que Boltzmann elabora em favor do átomo é igualmente ilustrativa da positividade que Boltzmann acreditava existir na epistemologia, no progresso científico e na capacidade explicativa da ciência. Como afirma Videira (1997), ele não é nem um cético ou relativista, aparentando ser um realista não dogmático e pluralista.

Para haver progresso científico é preciso estabelecer no cenário científico uma coexistência entre teorias científicas e concepções epistemológicas diferentes, que garantirá a permanência do atomismo através do confronto entre todas elas. Sendo consciente de que apenas argumentos científicos seriam insuficientes para garantir a permanência do conceito de



átomo e do atomismo no seio das ciências naturais, Boltzmann recorreu à sua própria concepção de teoria científica, o que, aliás, foi feito por outros cientistas, bem como às características que garantiriam a continuidade do progresso científico, para defender o atomismo. Foi por ter recorrido à sua própria concepção de teoria física que podemos afirmar que Boltzmann empregou a epistemologia para favorecê-lo. Mesmo uma menção à história da ciência é feita por Boltzmann, no sentido de que todo aquele que conhece um pouco desse assunto não poderá negar os serviços já prestados pelo atomismo ao desenvolvimento da ciência (BOLTZMANN, 2004).

Boltzmann acreditava o conceito de átomo passaria por uma evolução no seu conteúdo científico. Não obstante essa possibilidade, ele também afirmava que essas mesmas modificações, provavelmente, não seriam capazes de conduzir a uma eliminação (definitiva) do átomo e do atomismo. Aos olhos de Boltzmann, a eliminação não era fundamentada em argumentos científicos, mas os pesquisadores que não aceitavam o atomismo nas ciências naturais o faziam por motivos outros, por exemplo, epistemológicos, metafísicos, etc. Em outras palavras, já que inexistiam argumentos científicos para tanto, a eliminação correspondia a um ato dogmático.

Para Boltzmann, tal ato seria ainda mais grave, pois ele mesmo havia direcionado suas reflexões epistemológicas de acordo com uma concepção pluralista de ciência. Tudo isso nos conduz à afirmação de que o átomo, para Boltzmann, além de possuir um valor científico, o qual poderia garantir o seu emprego na ciência (não nos esqueçamos de que Boltzmann sempre foi partidário da teoria cinética dos gases), possuía, igualmente, um valor epistemológico. Era precisamente esse valor epistemológico que dava forças a Boltzmann em sua “batalha” contra os energetistas e outros adversários do atomismo. Assim, parece-nos compreensível que Boltzmann não possuísse, na virada do século XIX para o XX, clareza suficiente para poder afirmar que características científicas o (novo) átomo teria. Para nós, nem mesmo era essa a intenção primeira de Boltzmann quando sai em socorro do atomismo. Para nós, a verdadeira e, portanto, mais importante preocupação de Boltzmann em evitar a eliminação do conceito de átomo, além de alertar para os problemas que certamente decorreriam dessa eliminação.

### 3.1.4 Pragmatismo

Como visto no Item 3.1.2, Boltzmann propôs uma definição pragmática da verdade científica, como uma “compreensão de um mecanismo,” i.e., segundo “o critério prático” de “ser hábil em lidar com algo corretamente”, ou ainda de “ser hábil em agir corretamente em todas as circunstâncias” (BOLTZMANN, 1974). Segundo alguns estudiosos do filósofo (BLACKMORE, 1995; DE REGT, 1999) essa visão pragmática de Boltzmann adivinha de seu darwinismo, e o aspecto evolucionista que ele tinha da ciência. O sucesso prático da Ciência e, por consequência, das leis do pensamento e dos critérios de conhecimento são produtos do sucesso no processo evolucionário. Erwin Hiebert (1981, p. 181) definiu Boltzmann como um realista pragmático.

Sua visão se aproximava dessa forma da visão de filósofos como Charles Sanders Peirce, William James, John Dewey. Peirce (1878) considera aquilo que afeta ou que pode ter concebivelmente desdobramentos práticos: “a nossa concepção desses efeitos é toda a nossa concepção do objeto” (PEIRCE, 1878, p. 293). William James desenvolveu a teoria da verdade pragmatista: “Uma ideia é ‘verdadeira’ desde enquanto acreditemos nela, esta seja proveitosa para nossas vidas” (JAMES 1907, p. 75). Essas ideias são muito similares às ideias de Boltzmann: “Como nós podemos formar nossos conceitos, não pode ser definido, e é realmente bastante indiferente, desde que eles sempre levem ao modo correto de ação” (BOLTZMANN, 1974, p. 150; BOLTZMANN, 1979, p. 196-197).

Boltzmann defendia o atomismo, como visto na seção anterior, dos ataques dos fenomenalistas e dos energeticistas e, a partir da década de 1890, passou a defendê-lo nos debates pelas suas virtudes práticas e heurísticas. Desta forma, Boltzmann se desviava da necessidade de provar que os átomos existiam de fato, mas passava a focar na capacidade da teoria de promover progressos científicos práticos que seriam indispensáveis. D’Agostino (1990) e Hiebert (1981) sustentam a hipótese de que a argumentação pragmaticamente orientada de Boltzmann se devia ao realismo moderado da sua *Bildtheorie*. Fasol (2006) argumenta que os átomos eram meramente “uma figura útil” que foi “extremamente astuciosa” na estratégia argumentativa contra os anti-atomistas, sem comprometer seu realismo moderado.

A partir de 1900, o pragmatismo de Boltzmann se torna mais acentuado, e já em 1897, no seu ensaio *Über die Frage nach der objektiven Existenz der Vorgänge in der unbelebten Natur*, sua concepção de verdade pragmática já estava sendo incorporada na sua filosofia da ciência:

“Ações que são seguidas por coisas que desejamos e ideias sob cuja orientação nós agimos dessa maneira, denotamos como correta (*richtig*). Devemos visar também ter ideias corretas e econômicas, ou seja, sermos capazes de sempre alcançar o modo correto de ação com o menor gasto de tempo e esforço. A demanda em qualquer teoria é que seja correta e econômica” (BOLTZMANN, 1974, p. 58; BOLTZMANN, 1979, p. 96).

Blackmore (1995b, p. 78–82) afirma que a intensificação do pragmatismo de Boltzmann está relacionado com a sua visão das figuras (*Bilder*) como idealizações, e a física teórica não poderia proceder sem estas. Dessa forma, teorias necessitavam de uma teoria da verdade que fosse não-correspondente (fraca), e não como desejava a visão forte: “[...] nós chamamos essas imagens mentais de verdadeiras apenas porque são úteis em prever fenômenos futuros da forma mais completa e sem esforço possível [...]” (BOLTZMANN, 1974, p. 261). Em sua *Ein Antrittsvortrag zur Naturphilosophie* (1903) utiliza o termo *zweckmässig*, que corresponde ao termo eficiente. Também afirma que a formação de conceitos, leis do pensamento e teorias, assim como suas futuras avaliações e apreciações, devem ser baseadas apenas considerando suas eficiências. Sendo um físico que se preocupou com o desenvolvimento da Termodinâmica e da Segunda Lei em particular, além de sua visão darwiniana da luta para lidar com as dificuldades do ambiente, Boltzmann afirma que a teoria “deve sempre nos permitir intervir apropriadamente (*richtig*) na natureza, para que possamos alcançar os efeitos apropriados.” As ideias inatas não são verdades *a priori*, não são verdades infalíveis, mas foram selecionadas por sua eficiência ao longo do processo de evolução. “Tanto o inato quanto o adquirido devem ser testados novamente pela experiência; somente se provar sua fortitude sempre, se conduzir à ação correta sempre, está correto [*richtig*].” Boltzmann correlaciona o termo *richtig*, que significa “correto” ou “verdadeiro” de uma maneira pragmática, e não o termo *wahr*, que significa “verdade,” mas estaria relacionada com uma teoria da verdade de correspondência forte.

Na aula inaugural de 1902 propõe uma visão de pragmatismo muito relacionada à sua visão darwinista. Ao longo da palestra, ele propôs uma descrição do desenvolvimento de mecanismos com grande ênfase nas importâncias práticas, apontando para o valor de sobrevivência que esses mecanismos produziam. Ao discutir os mecanismos de forma abstrata e analítica, ele chega à caracterização da ciência segundo seu poder explanatório, segundo sua visão pragmática de compreensão. Em sua filosofia da ciência, Boltzmann constroi uma relação concreta entre o darwinismo, pragmatismo e a hermenêutica da *Bilder*, como representações

que eram meras idealizações, adequadas à verdade pragmática à medida que sobrevivam solucionando os problemas que se apresentam.

### 3.2 O PLURALISMO TEÓRICO

Todo o edifício filosófico de Boltzmann culmina no tema principal de sua filosofia da ciência, denominado pluralismo teórico. Ele é a sequência natural dos pensamentos anteriormente apresentados. Apesar de não ser apresentado explicitamente e rigorosamente na obra filosófica de Boltzmann, menos ainda em suas obras sobre física, a tese pode ser coerentemente compreendida como mostram os trabalhos posteriores sobre o pensamento daquele (BLACKMORE, 1995, 1999; LARANJEIRAS; CHIAPPIN, 2006; RAJASEKAR, 2009; RIBEIRO; VIDEIRA, 2004, 2007; ROQUE; VIDEIRA, 2013; VIDEIRA, 2006, 1994, 1995, 2000).

Tomando a questão fundamental sobre o que seriam as teorias científicas, não existiria nenhum método científico ou teoria que seja intrinsecamente melhor que outra. Em seus primeiros pensamentos filosóficos explícitos em *Über die Bedeutung von Theorien* (1890, p. 54, 55; BOLTZMANN, 1974; p. 33-34), Boltzmann já demonstrava sua preocupação com o significado do conceito teoria:

Eu não seria um autêntico teórico caso, primeiramente, não me perguntasse: o que é a teoria? Ao leigo, em primeiro lugar, sobressai-se o fato de que ela é de difícil compreensão, que está rodeada de muitas fórmulas, as quais nada querem dizer para o não-iniciado. Contudo sua essência não se constitui de tais fórmulas; o verdadeiro teórico evita-as tanto quanto for possível. O que pode ser dito em palavras ele exprime em palavras, enquanto é precisamente nos livros dos homens práticos que as fórmulas, muito frequentemente, figuram como meros ornamentos. Um amigo meu definia o prático como aquele que nada entendia de teoria e o teórico como um entusiasta que não entende absolutamente nada. Nós também queremos nos opor a esse ponto de vista. Sou de opinião de que a tarefa da teoria consiste na construção de uma imagem, em nós existente, do mundo externo, devendo ela nos servir de guia em todos os nossos pensamentos e experimentos. Ou seja, de certa maneira complementando o processo mental à medida que executa globalmente aquilo que é executado em pequena escala quando formamos uma representação qualquer. [...] Mayer e Faraday são genuínos teóricos, já que o ideal deles não era o ganho prático, mas a representação, em seus intelectos, da natureza. (BOLTZMANN, 2004, p. 52)

A teoria, entregando apenas uma imagem do mundo, teria como tarefa o aperfeiçoamento constante dessa imagem.

A elaboração inicial e o constante aperfeiçoamento dessa imagem são, pois, a principal tarefa da teoria. A fantasia é sempre o seu berço, a razão observadora, a sua tutora. Como eram infantis as primeiras teorias de Pitágoras e Platão até Hegel e Schelling acerca do universo. A imaginação naquela época era excessivamente produtiva, faltando o autêntico controle da experiência. Não é de admirar que essas teorias tenham sido objeto de sarcasmo por parte dos empiristas e dos homens práticos, mesmo que elas já contivessem os germes de todas as teorias posteriores: a de Copérnico, a atomista, a teoria mecanicista do impoderável, o darwinismo etc. (BOLTZMANN, 2004, p. 52-53)

Em 8 de dezembro de 1895, Boltzmann definiu o conceito de física teórica em um discurso memorial para Josef Stefan (1895):

A física tornou-se popular hoje em dia através de suas muitas aplicações práticas. A atividade de um homem que, por experiência, descobriu uma nova lei no modo de ação das forças naturais, ou mesmo confirma ou ampliou leis conhecidas, pode-se ter uma noção. Mas o que é um físico teórico? Uma vez que o último deve ter um conhecimento matemático completo, sua atividade é muitas vezes chamada de física matemática, mas não bastante correspondente; para a análise de experiências físicas complexas, mesmo a solução de problemas técnicos, pode exigir cálculos longos e difíceis, mas não deve ser atribuída à física teórica. Pelo contrário, como dissemos anteriormente, a física teórica tem que procurar as causas básicas dos fenômenos ou, como é melhor hoje em dia, resumir os resultados experimentais obtidos em pontos de vista uniformes, organizá-los de forma tão clara e simples quanto possível, facilitando a coleta de dados e, de fato, possibilitando-a. É por isso que também se chama Filosofia Natural na Inglaterra (BOLTZMANN, 1979, p. 59).

Essa ideia foi melhor desenvolvida em *Über die Grundprinzipien und Grundgleichungen der Mechanik* (1899) e *Über die Entwicklung der Methoden der theoretischen Physik in neuerer Zeit* (1899b), após muitos dos ataques ao atomismo já terem sido postos:

Se agora estamos convencidos de que a ciência é apenas uma imagem interna ou construção mental que nunca pode coincidir com a multiplicidade de fenômenos, mas apenas representa certas partes deles de uma maneira ordenada, como chegar a tal quadro e como representá-lo com toda a ordem e sistema devidos? Houve época em que o método que era popular era o de Euclides, usado na geometria, que podemos chamar de euclidiano. Este método começa a partir de tão poucas e óbvias proposições quanto possível. Inicialmente, estes foram considerados como a priori auto-evidentes e diretamente dados à mente, e foram, portanto, chamados de axiomas. Mais tarde, atribuímos a eles o caráter de proposições de experiência meramente suficientemente bem garantidas. A partir desses axiomas e com a ajuda das leis do pensamento, então, simplesmente deduzimos certas imagens como

necessárias, acreditando assim ter encontrado uma prova de que elas eram as únicas possíveis e não substituíveis por quaisquer outras. Como exemplo, pegue os argumentos que serviram para derivar o paralelogramo de forças ou a lei de Ampere ou para provar que a força entre dois pontos materiais age ao longo da linha que os une e é uma função de sua distância (BOLTZMANN, 1974, p. 106).

Em relação a isso, Hertz fez com que os físicos tomassem claramente consciência de algo que os filósofos já havia muito tinham afirmado, a saber: nenhuma teoria é algo objetivo, algo que se recubra realmente com a natureza; a teoria é, antes, apenas uma imagem mental dos fenômenos, estando no mesmo tipo de relação para com estes que a relação existente entre o signo e o designado. Conclui-se então que nossa tarefa não pode consistir em encontrar uma teoria absolutamente correta, mas sim, antes, uma afiguração o mais simples possível e capaz de representar os fenômenos da melhor maneira possível. É mesmo pensável que sejam possíveis duas teorias totalmente distintas, de tal modo que ambas sejam igualmente simples e concordem igualmente bem com os fenômenos duas teorias que, portanto, embora totalmente distintas, sejam ambas igualmente corretas. (BOLTZMANN, 2004, p. 111).

Assim sendo, o ato de excluir do domínio científico outros métodos ou teorias possíveis não poderia se apoiar numa questão objetiva. Para Boltzmann, toda teoria científica possuía, em princípio, a possibilidade ou a capacidade de ser aperfeiçoada. A teoria poderia ser vista como uma espécie ou gênero que vai se modificando e gerando novidades à medida que o tempo passa, para lidar com as mudanças externas. Ele já havia apontado em *Über die Prinzipien der Mechanik* (1900) que:

Do ponto de vista darwinista, podemos compreender além disso qual é a relação do instinto animal com o humano. Quanto mais perfeito for um animal, mais ele mostra traços incipientes de inteiramento ao lado do instinto [...] Para um animal que requer apenas um pequeno número de ações que, além do mais, devem ocorrer constantemente sob condições altamente similares, é de extrema utilidade se, sem muita necessidade de reflexão, ela tem um impulso inato para o modo correto de agir, como com as aves, que sem instrução são capazes, por instinto inato, de construir ninhos com habilidades admiráveis. Para nós, sem dúvida, à primeira vista, pareceria um estado muito mais perfeito se, sem instrução e reflexão intensa, pudéssemos sempre acertar na medida certa. Enquanto, no entanto, sob as condições simples em que esses animais vivem, era a dispensação mais fácil e menos complicada que o impulso direcionada a todo o modo de comportamento deveria ser hereditário como um todo, esta mesma característica dificulta qualquer adaptação às circunstâncias modificada, qualquer progresso; em condições complicadas de vida, a capacidade inata do homem é muito superior para formar imagens internas de eventos externos e, assim, coletar experiências de acordo com as quais a ação pode ser regulada em cada caso (BOLTZMANN, 1974, 138).

A teoria tinha um fundamento bem objetivo na realidade, justamente pela capacidade que tem de servir como um instrumento prático:

Quase ficamos tentados a afirmar que, independentemente de sua missão intelectual, a teoria é a coisa mais prática concebível, a quintessência da prática por assim dizer, já que a precisão de suas conclusões não pode ser alcançada por qualquer rotina de estimativa ou tentativa e erro; embora dadas as formas ocultas da teoria, isso só será válido para aqueles que as guiarem com total confiança. Um único erro em um desenho pode multiplicar um resultado por mil, enquanto um trabalhador empírico nunca erra até agora; por essa razão, sem dúvida, sempre permanecerão alguns casos em que o pensador que está imerso em suas idéias e sempre inclinado ao que é geral será superado pelo homem prático inteligente e egoísta; testemunha Arquimedes que foi vítima do romano atacante, ou outro filósofo grego que, enquanto olhava para as estrelas, se deparou com uma pedra. Deixe o silêncio ultrapassar a questão "qual é a utilidade disso?" que é habitualmente jogado em quaisquer empreendimentos mais abstratos. Gostaríamos de fazer a contra-pergunta: "qual é o uso da promoção, obtendo meras vantagens práticas em detrimento daquilo que por si só faz a vida valer a pena, ou seja, a tendência do ideal?" No entanto, a teoria mantém tudo longe de se superestimar; seus próprios defeitos estão fundamentados em sua própria natureza e é a própria teoria que descobre seus próprios erros; na verdade, Sócrates colocou a ênfase principal no reconhecimento das lacunas em seu próprio conhecimento. Todas as nossas ideias são puramente subjetivas. Que isto é assim, mesmo no que diz respeito às nossas visões sobre ser ou não ser, é mostrado pelo budismo que reverencia o nada como o que realmente existe. Eu chamei a teoria de uma imagem interior puramente mental, e vimos a que alto grau de perfeição isso pode ser trazido. Como então, à medida que nos tornamos cada vez mais imersos na teoria, poderíamos deixar de imaginar o que realmente existe? É nesse sentido que se diz que Hegel se arrependeu de que a natureza foi incapaz de realizar seu sistema filosófico em sua perfeição total. Assim, pode acontecer ao matemático, que está constantemente ocupado com suas fórmulas e cegado por sua perfeição interior, que ele tome as relações mútuas como realmente existentes e se afaste do mundo real. O que o poeta lamenta, então, sustenta para o matemático, que suas obras são escritas com o sangue de seu coração e a mais alta sabedoria beira a loucura suprema. (BOLTZMANN, 1974, p. 35-36)

Como apresentado por ele em *Ein Antrittsvortrag zur Naturphilosophie* (1903), sua visão se tornaria muito bem fundamentada pelo darwinismo, que na época já era muito bem aceito no meio científico (HOBSBAWM, 2014c):

Adquiri mais e mais conhecimento da natureza, absorvi a teoria de Darwin e vejo que era realmente um erro perguntar de tal maneira que a pergunta não pode ser respondida, mas a pergunta sempre retornava com a mesma violência irresistível (BOLTZMANN, 1974, p. 157).

O próprio Mach discutiu engenhosamente o fato de que nenhuma teoria é absolutamente verdadeira, e, igualmente, qualquer dificilmente absolutamente

falsa, mas que cada uma deve gradualmente ser aperfeiçoada, como os organismos devem de acordo com a teoria de Darwin” (BOLTZMANN, 1974, p. 153).

Assim, como já havia colocado na eulogia à Stefan, Boltzmann confirma que nem as teorias passadas eram falsas e totalmente inúteis, nem as atuais seriam verdadeiras ou totalmente úteis.

O leigo pode imaginar que novas noções e causas de fenômenos são gradualmente acrescentadas às básicas existentes e que, dessa forma, nosso conhecimento da natureza passa por um desenvolvimento contínuo. Essa visão, no entanto, é errônea, e o desenvolvimento da física teórica sempre foi aos trancos. Em muitos casos, foram necessárias décadas, ou até mais de um século, para articular completamente uma teoria tal que uma imagem clara de uma certa classe de fenômenos fosse realizada. Mas eventualmente novos fenômenos foram descobertos que eram incompatíveis com a teoria; em vão foi a tentativa de assimilar o primeiro ao segundo. Uma luta desenvolveu-se entre os seguidores da teoria e os defensores de uma concepção inteiramente nova até que, finalmente, esta última fosse geralmente aceita. Antigamente, costumava-se dizer que a visão antiga fora reconhecida como falsa. Isso soa como se as novas idéias fossem absolutamente verdadeiras e, por outro lado, as antigas (sendo falsas) tivessem sido inteiramente inúteis. Hoje em dia, para evitar confusão a esse respeito, diz-se apenas: o novo modo de idéias é uma descrição melhor, mais completa e adequada dos fatos. Assim, os seguintes são claramente expressos: (1) a teoria anterior também foi útil porque forneceu uma imagem verdadeira, embora parcial, dos fatos; (2) não se exclui a possibilidade de que a nova teoria, por sua vez, seja substituída por outra mais adequada. (BOLTZMANN, 1979, p. 60)

Em em seguida, continuou em:

Um olhar mais atento ao curso seguido pela teoria em desenvolvimento revela um começo que não é de forma alguma tão contínuo como se poderia esperar, mas pelo menos não menos ao longo do mais curto caminho lógico. Muitos métodos geralmente oferecem os melhores resultados muitos poderiam ter pensado que a ciência do infinito consistiria em não mais do que a sua constante aplicação. Em vez disso, pelo contrário, eles de repente se revelam bastante exaustivo e exaustivo. Nesse caso, pode desenvolver uma luta entre os seguidores dos métodos antigos e os dos mais novos. O ponto de vista do primeiro quer ser considerado desatualizado e ultrapassado, enquanto o os detentores, por sua vez, como os corruptores da verdadeira ciência clássica.

Este processo não está de forma alguma confinado à física teórica, mas parece se repetir história desenvolvimentista de todos os ramos da atividade intelectual do homem. Assim muitos podem ter pensado na época de Lessing, Schiller e Goethe, que pelo constante desenvolvimento do ideal modos de poesia praticados por esses mestres seriam fornecidos em perpetuidade, hoje procura-se alguns métodos de poesia dramática e o próprio pode bem ainda não foi encontrado ainda.

Assim, a velha escola da pintura é confrontada com o impressionismo, secessionismo, plein-airism, e música clássica com música do futuro. Este não é o último já desatualizado por sua vez? Portanto, deixamos de nos



surpreender que a física não seja uma exceção a essa lei geral de desenvolvimento.

[...]

Daqui resulta que não pode ser absolutamente satisfatória imagem que é o mais simples possível e que representa os fenômenos com a maior precisão possível. Um pode até conceber duas teorias bastante diferentes, ambas igualmente simples e igualmente congruentes com fenômenos, que são, portanto, corretos. A afirmação de que dada teoria só é correta simplesmente outra imagem simples e adequada.

Em *Über statistische Mechanik* (1904), ele levantou a questão acerca da relação entre ciência e filosofia:

Recentemente, algumas décadas atrás, os cientistas estavam muito confusos em mergulhar nas discussões sobre tais questões (filosóficas). Estas mesmas questões são de grande interesse tópico para a ciência para ser completamente ignorada, mas não podemos discuti-la sem, ao mesmo tempo, abordar problemas ainda mais profundos, como a natureza da causalidade, da matéria, da força e assim por diante. São essas últimas as quais se costumava dizer que não eram de interesse para o cientista e deveriam ser entregues inteiramente à filosofia. Hoje as coisas mudaram consideravelmente, na verdade os cientistas estão agora demonstrando fortes predileções por discutir temas filosóficos e, com razão. Uma das primeiras regras da investigação natural é nunca conceder confiança cega aos instrumentos com os quais se trabalha, mas testá-los de todas as maneiras. Então, devemos colocar confiança cega em conceitos e opiniões inatas ou historicamente desenvolvidas, ainda mais em vista de todos os exemplos nos quais eles se desviaram? Mas quando examinamos os elementos mais simples, onde está a fronteira entre a ciência natural e a filosofia na qual devemos parar? Espero que nenhum dos filósofos possivelmente presente considere inadequado ou se sinta reprovado se eu disser com franqueza que a atribuição dessas questões à filosofia talvez também tenha levado ao desapontamento. A filosofia contribuiu notavelmente pouco para a elucidação dessas questões. Sozinho e do seu ponto de vista unilateral, poderia fazê-lo tão pouco quanto a ciência natural pode. Se avanços reais são possíveis, eles são esperados apenas da colaboração entre as duas ciências (BOLTZMANN, 1974, p. 163-164).

E concluiu em *Über eine These Schopenhauers* (1905) que:

Em minha opinião, podemos esperar que toda a salvação para a filosofia venha da teoria de Darwin” (BOLTZMANN, 1974, p. 193).

Essa negação da possibilidade de que outros cientistas pudessem colocar explicações diferentes ou mesmo opostas aquelas atuais poderia elevar à estagnação da ciência. A pluralidade não seria um problema, como já havia ressaltado em *Über die Unentbehrlichkeit*

*der Atomistik in der Naturwissenschaft* (1897), quando defendeu o atomismo das críticas dos energicistas.

É claro que a reflexão elementar e a experiência nos dirão que seria irremediavelmente difícil atingir imediatamente imagens apropriadas do mundo apenas por meio de adivinhações sem objetivo; pelo contrário, sempre emergem apenas lentamente da adaptação de algumas poucas idéias de sorte. Por conseguinte, a epistemologia é justamente contra os feitos daqueles autores de hipóteses que esperam encontrar sem esforço uma hipótese que explicaria o todo da natureza, bem como contra os fundamentos metafísicos do atomismo (BOLTZMANN, 1974, p. 51).

No mesmo ano complementou, em *Über die Frage nach der objektiven Existenz der Vorgänge in der unbelebten Natur* (1897b), explicando a relação do mundo externo com o pensamento:

A conexão íntima do mental com o físico é, no final, dada a nós pela experiência. Por meio dessa conexão, é muito provável que todo processo mental corresponda a um processo físico no cérebro, ou seja, haja uma correlação inequívoca; e que os processos cerebrais são todos genuinamente materiais, isto é, são representáveis pelas mesmas imagens e leis que os processos na natureza inanimada. [...] O cérebro que vemos como o aparelho ou órgão para produzir quadros de palavras, um órgão que, devido à grande utilidade das imagens para a preservação da espécie, de acordo com a teoria de Darwin, desenvolveu no homem um certo grau de particularidade. perfeição, assim como o pescoço da girafa e o bico na cegonha se desenvolveram de maneira incomum. Por meio das imagens pelas quais representamos a matéria (não importa se as imagens mais adequadas se revelarão as do atomismo atual ou de outras), tentamos agora representar os processos cerebrais materiais e, assim, obter ao mesmo tempo um melhor visão do mental e uma representação do mecanismo que aqui se desenvolveu na cabeça humana, tornando possível representar tais quadros complicados e apropriados. No momento em que subscrevemos a visão A, devemos supor que as imagens e as leis que servem à representação dos processos na natureza inanimada serão suficientemente inequívocas para representar também os processos mentais. Dizemos, em resumo, que os processos mentais são idênticos a certos processos materiais no cérebro (realismo). Tem sido frequentemente afirmado que isso é impossível. Se temos o direito de manter essa visão, podemos naturalmente testar mais uma vez somente o que é dado na experiência. [...] Se alguém diz que a matéria ou até mesmo os átomos percebem, obviamente se expressou incorretamente. Em vez disso, deve-se dizer que não é inconcebível que as leis da mudança na sensação sejam mais facilmente representáveis por meio da imagem de processos materiais (físicos, químicos, elétricos) no cérebro. (BOLTZMANN, 1974, p. 68-70)

E em *Über die Grundprinzipien und Grundgleichungen der Mechanik* (1899a), definiu qual seria a finalidade do pensamento:

Todas as nossas ideias e conceitos são apenas imagens mentais internas ou, se faladas, combinações de sons. A tarefa do nosso pensamento é, portanto, usá-los e combiná-los, de modo que, com seus meios, sempre nos atemos mais

prontamente às ações corretas e orientamos os outros da mesma forma” (BOLTZMANN, 1974, p. 104).

Em *Über statistische Mechanik* (1904), concluiu que:

Não devemos aspirar derivar a natureza de nossos conceitos, mas devemos adaptar os últimos à primeira. Não devemos pensar que tudo pode ser organizado de acordo com nossas categorias ou que existe um arranjo mais perfeito: será sempre variável, apenas adaptada às necessidades atuais. Mesmo a divisão da física em teórica e experimental é apenas uma consequência da dupla divisão de métodos atualmente sendo usada, e não permanecerá assim para sempre. (BOLTZMANN, 1974, p. 166).

Essa conclusão se deu pela opção de Boltzmann por aderir ao realismo<sup>24</sup> desde cedo, como bem explicitado em *Über die Frage nach der objektiven Existenz der Vorgänge in der unbelebten Natur* (1897):

O idealista compara a afirmação de que a matéria existe tanto quanto nossas sensações com a opinião da criança de que uma pedra sente dor quando é atingida. O realista compara a afirmação de que ninguém poderia imaginar como o mental poderia ser representado pelo material, muito menos pela interação dos átomos com a opinião de uma pessoa sem instrução que diz que o Sol não poderia estar a 150 milhões de quilômetros da Terra, já que ele não pode imaginá-lo. Assim como a ideologia é uma imagem mundial apenas para alguns, mas não para a humanidade como um todo, penso que, se incluirmos os anais e até mesmo o universo, o modo de expressão realista é mais apropriado do que o idealista. (BOLTZMANN, 1974, p. 74-75).

A sua adesão ao atomismo não seria, portanto, dogmática:

Nós estamos prontos a abandonar a imutabilidade dos átomos em todos esses casos, onde uma outra suposição se mostre mais adequada a representar os fenômenos. (...). A imutabilidade dos átomos pertence, pois, a representações que se mostraram como sendo extremamente úteis, apesar de que as considerações metafísicas, que nos conduziram a elas [às representações], não deixaram de sofrer uma crítica imparcial (BOLTZMANN, 2004, p. 80).

---

<sup>24</sup> Nesse ponto, podemos citar uma passagem esclarecedora de Karl Popper (1902-1995): “Boltzmann é pouco conhecido como filósofo; até muito recentemente eu também não sabia quase nada sobre sua filosofia, e ainda sei muito menos sobre ela. Ainda assim, com o que sei, concordo, mais de perto, talvez, do que com qualquer outra filosofia, por isso prefiro Boltzmann a Mach - não apenas como físico e filósofo, mas também, admito, como pessoa. Até hoje, o realismo e o objetivismo de Boltzmann não foram reivindicados nem por ele nem pela história (Pior para a história)” (CERCIGNANI, 1996, p. 190)

As diferentes teorias, à medida que propõem novos conceitos, métodos, experimentos e apresentavam resultados favoráveis, apresentariam novos modos de compreender e lidar com os fenômenos físicos. Essas novas teorias, mais “adaptadas” ao “meio ambiente” permitiriam que a comunidade científica pudesse escolher aquela que seria a mais capaz de representar, a partir dos dados experimentais, as melhores descrições dos fenômenos observados. A melhor teoria, e não uma teoria verdadeira, poderia ser elevada a condição temporária de imagem (*Bild*) mais adequada para representar o fenômeno. Segundo Boltzmann, “a afirmação que uma teoria é a única correta pode ser apenas a expressão de nossa convicção subjetiva de que não pode haver outra imagem que seja igualmente simples e que concorde igualmente com os fenômenos” (BOLTZMANN, 2004, p. 111-112).

O progresso científico seria, portanto, o resultado desse concurso, dessa “luta,” dada a coexistência de várias teorias e métodos propondo representações variadas e até opostas, e a possibilidade dos cientistas de construir e aprimorar os conceitos, quer teoricamente ou pela descoberta de novos fenômenos e assim propor e escolher representações mais adequadas que as anteriores. Isso não implicava a eliminação daquelas representações preteridas e a sua conseqüente ausência futura no debate científico. Futuramente, essas teorias poderiam apresentar novos conceitos e imagens que passassem a melhor descrever e prever os fenômenos. Isso impediria que o dogmatismo passasse a imperar por meio de uma teoria que se creditasse “verdadeira.” Se a comunidade científica pudesse manter um ambiente de coexistência e competição, o progresso científico se torna possível. Essa visão concreta dos três aspectos citados desenvolveu em Boltzmann uma forte aversão ao dogmatismo.

No entanto, parece-me que, atualmente, pela razão pouco válida antes apresentada, o atomismo teria sido, sob seu aspecto prático, rebaixado. Pensei, então, fazer minha parte para prevenir o dano que, segundo vejo, poderia surgir para a ciência, caso a fenomenologia fosse transformada em dogma, assim como ocorrera antes com o atomismo. (BOLTZMANN, 2004, p. 72).

Em 1892, Ostwald e o matemático G. F. Helm (1851-1923) começaram a atacar intensamente a "teoria dos átomos e moléculas" de Boltzmann, e, como Ostwald também chamou, "as experiências de descrição de Boltzmann com imagens mecânicas". Houve uma troca de cartas animada entre Mach, Ostwald e Boltzmann, e surgiu o debate público sobre questões fundamentais, que, em última instância, levaria Boltzmann à filosofia. No 65ª *Naturforscherversammlung* em Nuremberg em setembro de 1893, Boltzmann deu uma palestra intitulada *Über die neueren Theorien der Elektrizität und des Magnetismus*. Como já era o caso

na reunião em Halle, 1891, surgiu uma discussão extensa, na qual, além de Ostwald e Helm, Planck também se opôs à concepção cinética de Boltzmann em favor da interpretação termodinâmica. Na discussão, Boltzmann deu a seus oponentes a seguinte frase importante: "Não vejo nenhuma razão para não olhar a energia como atomística!"

Durante a segunda cátedra vienense, Boltzmann estava no auge de sua vida acadêmica e gozava do mais alto prestígio científico e popular. Sua filosofia e a filosofia natural, além de sua física, levaram a discussões calorosas predominantemente com Mach, Ostwald e Helm. Com Mach, ele teve que lidar principalmente com o reconhecimento da idéia de átomos e moléculas e a concepção mecanicista de fenômenos naturais ligados a eles. Ele teve que realizar as discussões mais intensas com Ostwald e Helm, que, juntamente com vários outros adversários, desafiaram os achados essenciais de Boltzmann. Esta discussão culminou na *Naturforscherversammlung* em Lübeck, de 16 a 20 de setembro de 1895. A controvérsia começou com uma palestra de Ostwald *Die Überwindung des wissenschaftlichen Materialismus*. Ostwald procurou demonstrar que "a visão mecanicista dos fenômenos naturais é inadequada e que pode ser substituída pelo sucesso de eliminar as deficiências pela concepção energética". O artigo de Helm *Über den derzeitigen Zustand der Energetik* derivava todos os fenômenos naturais apenas a partir de uma equação para a energia. E Pierre Duhem descreveu a teoria cinética da matéria como um "crescimento parasita em uma árvore que já é forte e cheia de vida". Em 1896, Ernst Zermelo, na época assistente de Max Planck, também publicou contra o teorema de Boltzmann (FASOL-BOLTZMANN, 2006; ZERMELO, 1896).

Como relata Lindley em seu livro *Boltzmann's Atom* (2001), o debate em Lübeck entre Boltzmann e os energetistas:

Ostwald e Helm tomaram partido do energetismo, e Boltzmann, apoiado pelo jovem matemático Felix Klein, argumentou a favor dos átomos. [...] Em Lübeck, Boltzmann e Klein tinham que defender a essência da teoria cinética contra os oponentes que simplesmente não acreditavam na existência dos átomos, que viam o trabalho de Boltzmann como uma especulação matemática elaborada e fundada em pura suposição, e que nem sequer permitiam Boltzmann o privilégio de pensar que as suas teorias constituíam um tipo respeitável de investigação científica. Ostwald e Helm não estavam lá para debater os méritos da teoria cinética, mas para negá-la por inteiro. (LINDLEY, 2001, p. 126)

No outono de 1896, entre duas respostas aos "ataques" de Zermelo, Boltzmann publicou um ensaio *Über die Unentbehrlichkeit der Atomistik in den Naturwissenschaften*, que

posteriormente apareceu nos *Populäre Schriften*. As dificuldades crescentes na física através da interpretação mecanicista da termodinâmica foram agravadas pelas partes subsidiárias dessa ciência, que cresciam e se desenvolviam rapidamente. Mach negou a questão do "porquê", Hertz escreveu uma mecânica radical, Poincaré voltou-se para a filosofia natural. Em 1897, Boltzmann fez uma declaração em *Über die Frage nach der objektiven Existenz der Vorgänge in der unbelebten Natur*: “Não devemos perguntar se Deus existe, a menos que possamos imaginar algo definido em dizê-lo; em vez disso, devemos nos perguntar por quais idéias podemos nos aproximar do conceito mais elevado que abrange tudo” (BOLTZMANN, 1979, p. 119).

Boltzmann lutou uma longa discussão contra seus opositores científicos e ganhou. Arnold Sommerfeld relata em uma palestra no 100º aniversário de Ludwig Boltzmann:

A unidade da Energética foi mantida por Helm de Dresden; atrás dele estava Wilhelm Ostwald, e atrás de ambos a filosofia natural do ausente Ernst Mach. O adversário era Boltzmann, apoiado por Felix Klein. A luta entre Boltzmann e Ostwald se assemelhava, externamente e interiormente, à luta do touro com um toureiro flexível. Mas o touro derrotou o toureiro desta vez, apesar de todas as esgrimas. Os argumentos de Boltzmann venceram. Naquele dia, nós, matemáticos mais jovens, ficamos todos do lado de Boltzmann. (SOMMERFELD, 1944, p. 27).

Planck escreveu em suas memórias “que essa luta foi conduzida bastante animada, e que também deu origem a alguns efeitos drásticos, já que os dois adversários eram iguais em termos de inteligência e carisma natural” (PLANCK, 1949).

Em 1899, em sua palestra *Über die Entwicklung der Methoden der theoretischen Physik in neuerer Zeit*, ele faz uma crítica severa ao positivismo de seus adversários:

Se a fenomenologia acreditou poder representar a natureza sem ultrapassar a experiência, então isso não passa para mim de uma ilusão. Nenhuma equação representa quaisquer processos de forma absolutamente exata; cada uma os idealiza, enfatizando o comum e eliminando o diferente, indo, pois, além da experiência. O fato de isso ser necessário para podermos ter alguma representação que nos permita predizer o futuro decorre da própria natureza do processo mental, o qual consiste em acrescentar algo à experiência e em criar uma imagem mental que não seja a experiência e que, assim, seja capaz de representar muitas experiências. A experiência, afirma Goethe, é sempre a metade desta. Quanto mais ousadamente se ultrapassa a experiência, tanto mais surpreendente são os fatos descobertos, embora nesse caso também seja mais fácil errar. A fenomenologia não deveria, portanto, vangloriar-se de não ultrapassar a experiência, mas simplesmente advertir para que isso não aconteça em demasia (BOLTZMANN, 2004, p. 118)

Na primavera de 1900, Boltzmann havia caído em um estado de espírito profundamente deprimido. A principal razão para isso fora a veemente crítica de Thomson à distribuição de Maxwell-Boltzmann e os detalhes posteriores da teoria cinética dos gases. Thomson havia dito em vários discursos que, essencialmente, a teoria cinética era “lixo” e “contrária ao entendimento humano”. Ele também disse que era “absolutamente necessário jogá-la ao mar” para o progresso da ciência (FASOL-BOLTZMANN, 2006). Como relatou Heilbron, no entanto, Thomson havia encontrado sérios problemas com a incapacidade dos físicos de propor modelos adequados do éter luminífero e também ao problema da equipartição da energia, no final do século:

Como Kelvin, Boltzmann reconheceu que o progresso da redução mecânica tinha suas dificuldades, mas não via outro caminho a seguir. Ele ridicularizou o físico-químico Wilhelm Ostwald (Leipzig), o defensor de uma ciência baseada apenas na energia e suas transformações (energeticismo), por admoestar colegas, como Moisés tinha feito aos hebreus, a não "fazer qualquer imagem esculpida, ou qualquer semelhança de qualquer coisa". Esse mandamento (Êxodo 20: 4-6) não fez sucesso entre os físicos teóricos melhor do que entre os adoradores do bezerro de ouro. A maioria continuou a flertar com as moléculas. Outros, no entanto, como Max Planck (Berlim), embora críticos da energética, ficaram o mais perto possível das duas leis da termodinâmica. Outros ainda pensaram em reverter o argumento que dava prioridade à mecânica e substituiriam-na, colocando a eletricidade ou o calor em seu lugar. Boltzmann associou essas cismas com o ataque do *fin de siècle* aos cânones de arte, música e literatura recebidos. Em todos os lugares, disse ele, o classicismo tinha seus inimigos. Mas, para maior clareza, longevidade e produtividade, ele preferiria o que ele, talvez o primeiro entre os mortais, chamava de "física clássica" - a física da redução mecânica, a ciência de imagens nítidas no espaço e no tempo - e confiaria que algum Newton imperial iria dispor da equipartição. (HEILBRON, 2015, p. 141)

Para Boltzmann, as objeções ao atomismo, que eram feitas pelos fenomenalistas e energeticistas<sup>25</sup>, eram de natureza puramente dogmática e ele precisava se opor a essas posições:

Um tal tipo de característica arbitrariamente introduzida na imagem dos átomos é a sua imutabilidade. A objeção que afirma existir neste caso uma generalização injustificada da imutabilidade dos corpos rígidos, uma imutabilidade observada durante apenas um intervalo limitado de tempo, estava certamente justificada caso se buscasse provar *a priori* a imutabilidade

---

<sup>25</sup> O Energeticismo caiu em desuso no início do século XX. O Atomismo, desde a estimativa para o tamanho dos átomos feita por Loschmidt em 1865 até a identificação do calor como a energia do movimento aleatório das moléculas, incorporando a teoria atômica através da mecânica, conseguiu absorver a Física e a Química nos seus mais diversos domínios. O atomismo foi o ideal de uma imagem sintático-semântica do conhecimento científico.

dos átomos, como ocorria anteriormente. Nós, no entanto, só a aceitamos em nossa imagem a fim de esta ser capaz de representar o conjunto do maior número possível de fenômenos. Nós estamos dispostos a abandonar a imutabilidade naqueles casos em que se conseguiria representar melhor os fenômenos por meio de uma outra hipótese. [...] A imutabilidade dos átomos pertence, então, àquelas representações que se mostrassem muito úteis, ainda que as considerações metafísicas por meio das quais se chegou àquelas representações não fiquem de pé diante de uma crítica desprovida de preconceitos. (BOLTZMANN, 2004, p. 80)

Boltzmann alegava sentir um “mal-estar” devido ao modo como alguns cientistas defendiam suas opções epistemológicas. Esse modo excluía as outras doutrinas epistemológicas em detrimento de uma única epistemologia. Seu “mal estar” derivava do medo de um espírito dogmático no cenário científico. Com base em todo arcabouço teórico exposto anteriormente, ele se pôs a combater essa ameaça concretizada do espírito dogmático com a defesa de pluralismo teórico. Para Boltzmann:

Enquanto a fenomenologia exige imagens separadas e mutuamente desconexas para o movimento mecânico dos centros de gravidade e corpos rígidos, para elasticidade, hidrodinâmica e assim por diante, o atomismo atual é uma imagem perfeitamente apropriada de todos os fenômenos mecânicos, e dada a natureza fechada desse domínio dificilmente podemos esperar que isso lance mais fenômenos que não se encaixariam nessa estrutura. De fato, o quadro inclui fenômenos térmicos: que isso não é tão prontamente provado, é devido meramente à dificuldade de se computar movimentos moleculares. Em todo caso, todos os fatos essenciais são encontrados nas características de nossa imagem. Além disso, mostrou-se extremamente útil para representar fatos cristalográficos, a constância de proporções de massa em compostos químicos, isomerismos químicos, as relações entre a rotação do plano de polarização e a constituição química, e assim por diante. Para o resto, o atomismo permanece capaz de ser desenvolvido muito mais. Pode-se conceber átomos como indivíduos mais complicados dotados de propriedades arbitrárias, como por exemplo os átomos vetoriais. (BOLTZMANN, 1974, p. 46)

A defesa do atomismo foi o modo que Boltzmann achou para praticar dentro da comunidade científica, a consequência ética da tese do pluralismo teórico. Como relata Lindley, em Lübeck:

Boltzmann começou a sua resposta amigavelmente, fazendo algumas observações gerais a respeito da necessidade de se explorar uma grande variedade de hipóteses científicas a fim de avançar a ciência. Ele declarou-se ávido por evitar hostilidade. [...] Tendo feito sua declaração de neutralidade, Boltzmann passou a criticar deliberadamente as pretensões teóricas de seus oponentes. O que foi seguido de uma análise comprida e bastante técnica, mas cujo ponto essencial era simples. Ele explicou o que qualquer físico sabia ser verdade. A mecânica newtoniana estava baseada em mais do que somente a



conservação da energia. A segunda lei da termodinâmica era distinta da primeira e não, como muitos físicos tinham originalmente pensado, derivável dela. Estas não eram questões de preferência filosófica, mas de raciocínio físico e prova matemática. (LINDLEY, 2001, p. 127)

A tentativa dos antiatomistas em elevar seus próprios métodos à uma posição de dogma científico os levava a fazer afirmações como Adolph Kolbe (1818-1884), um dos químicos orgânicos mais renomados do período, no *Journal für Praktische Chemie*:

Eu comentei, não muito tempo atrás, que a falta de uma educação liberal em muitos professores é uma das principais causas da deterioração da pesquisa química. O resultado é uma filosofia natural que tem a aparência de profundidade e que se espalha rapidamente; mas na realidade, é trivial e oca. Esta explicação, purgada das ciências naturais exatas há cerca de cinquenta anos, está, atualmente, sendo resgatada por uma gangue de charlatões científicos que estão recuperando os erros da humanidade. Aqueles que acham minha crítica muito severa são incitados a ler, se aguentarem, a monografia de um certo Van't Hoff<sup>26</sup>, intitulada *The Spatial Arrangement of Atoms*, um livro repleto de infantilidades sem sentido. Este jovem mascate não tem aparentemente nenhuma apreciação pela pesquisa em química rigorosa. Ele afirma ter visto átomos arranjados no espaço. O mais sóbrio mundo da química não tem interesse por tais alucinações. (KOLBE apud PULLMAN, 1998, p. 230)

Além dos fenomenologistas energetistas, os equivalentistas<sup>27</sup> também fazia diversos ataques preconceituosos aos atomistas, a exemplo de Henri Sainte-Claire Deville (1818-1881) que se pronunciou em relação à teoria atômica:

Todas as vezes que alguém tenta imaginar ou retratar átomos ou grupos de moléculas, eu não acredito que isso equivalha a mais do que uma rude descrição de uma ideia pré-concebida, uma hipótese gratuita, resumindo, uma conjectura estéril. Nunca uma tal descrição inspirou um único experimento

<sup>26</sup> Jacobus Henricus van't Hoff (1852-1911) foi um químico neerlandês e o primeiro vencedor do Prêmio Nobel de Química (1901), pelas suas contribuições para a dinâmica química, tendo realizado importantes descobertas em cinética química, equilíbrio químico, termodinâmica, pressão osmótica e estereoquímica, ajudou a fundar a disciplina da físico-química, como ela é atualmente. Foi o descobridor da Regra de Van't Hoff, onde um aumento de 10 graus célsius na temperatura do sistema, o mesmo irá reagir duplicando a velocidade da reação.

<sup>27</sup> Grande parte dos químicos operava usando “pesos equivalentes”, que correspondiam aos pesos relativos de combinação das substâncias. Na definição de equivalente químico encontram-se implícitas três importantes características: eram obtidos empiricamente de dados analíticos; o valor calculado dependia do tipo de composto analisado; existia possibilidade de um mesmo elemento apresentar mais de um valor de equivalente. Os pesos equivalentes de um dado elemento podiam ser numericamente iguais ao peso atômico ou a submúltiplos destes. O termo equivalente, que já havia sido introduzido no século XVIII por Henry Cavendish (1731-1810), foi retomado por J. B. Richter e popularizado por William H. Wollaston (1766-1828) em importante artigo publicado em 1814, *A synoptic scale of chemical elements*. Ele usou este conceito, de modo inovador, escolhendo um único equivalente para cada elemento. Para mais explicações acerca do debate entre atomistas e outras escolas ver Oki (2009)

sério; tudo o que ela faz é seduzir, não provar; e estas noções, que estão em voga hoje em dia, são para a juventude em nossas escolas um perigo mais perigoso do que se pode imaginar. Eu não aceito nem a lei de Avogadro, nem os átomos, nem as moléculas, nem as forças, nem estados particulares da matéria; eu me recuso em absoluto a acreditar no que eu não posso ver nem sequer imaginar. (DEVILLE apud PULMANN, 1998, p. 233)

Caso ainda mais extremo foi o de Marcellin Berthelot (1827-1907), um professor, químico e político francês, que utilizou sua posição no Senado para banir o ensino da teoria atômica em favor da ideia do peso equivalente até 1890 (ROCHA, 2002). Berthelot alegava que, segundo seu ponto de vista:

A definição de pesos equivalentes é clara e geralmente mais fácil de demonstrar por experimentos precisos. Bem diferente é a definição de átomo. Ela é por vezes fundada numa noção disfarçada de peso equivalente, algumas vezes na noção de molécula de gás, o que é um argumento circular, e às vezes na noção de calor específico, que é uma quantidade variável que não poderia servir de base para uma definição rigorosa. Em resumo, o átomo é definido neste novo sistema por três noções diferentes, as quais frequentemente levam a resultados incomensuráveis e a escolhas arbitrárias. Assim, a definição de átomo é ela mesma arbitrária e é por causa da confusão lançada na ciência por essa hipótese mal definida que nos recusamos a ver nela uma base para o ensino da química. (BERTHELOT apud PULLMAN, 1998, p. 233)

Para Ostwald, que buscava derivar todas as leis conhecidas da física a partir de algumas regras governando a transformação da energia:

Primeiro, a ciência física estaria liberta de qualquer hipótese. Depois, não haveria mais qualquer necessidade de nos preocuparmos com forças, das quais a existência não pode ser demonstrada, agindo sobre átomos que não podem ser vistos. Somente quantidades de energia envolvidas no fenômeno relevante importaria. (PULLMAN, 1998, p. 237)

Assim, até o atomismo poderia ser reduzido ao energetismo.

O que nós chamamos de matéria é apenas um complexo de energias que encontramos juntas em um mesmo lugar. Nós estamos ainda perfeitamente livres, se nós quisermos, para supor que ou a energia preenche o espaço homoganeamente, ou de uma forma periódica ou granulada. A última hipótese pode ser um substituto à hipótese atômica. A decisão entre essas possibilidades é uma questão puramente experimental. (OSTWALD, 1904, p. 520)

Estaria, assim, eliminado o papel criativo do cientista dentro da teoria. Isso se encaixaria com a posição de Mach, na qual o estudo da natureza deve ser feito numa base puramente fenomenológica, rejeitando hipóteses sobre a realidade objetiva da natureza e dispensando qualquer tentativa de explicar a sua essência.

A teoria atômica tem na ciência física uma função que é similar àquelas de certas representações matemáticas auxiliares. Ela é um modelo matemático usado para a representação dos fatos. Embora a vibração seja representada por curvas de seno, o processo de esfriamento por exponenciais, e o comprimento de queda por quadrados do tempo, ninguém admitiria que a vibração, ela mesma, tem qualquer coisa a ver com funções circulares ou angulares, ou a queda com quadrados. (MELSEN, 1952, p. 151)

Boltzmann compreende que o dogmatismo age como um veneno para as ciências, corroendo as possibilidades de melhor compreender a realidade e gerando um conflito desnecessário entre os cientistas, incluindo nisso a ciência natural e a filosofia, particularmente a epistemologia:

É certo que tanto a reflexão mais elementar como a experiência nos ensinam, concordantemente, que é desesperançosamente difícil cair, por mero acaso, exatamente sobre as imagens corretas do mundo e que estas se formam, antes, pouco a pouco, a partir de ideias felizes singulares e por meio da adaptação. A teoria do conhecimento se insurge, com razão, contra o instinto das numerosas constrações levianas de hipóteses, as quais esperam, com um mínimo de esforço, encontrar uma hipótese explicativa de toda a natureza. Da mesma forma, ela se insurge contra a fundamentação metafísica e dogmática do atomismo. (BOLTZMANN, 2004, p. 77)

Boltzmann tentou remover as visões dogmáticas dos pensamentos filosóficos, embora acreditasse que o surgimento do dogmatismo em pensamentos filosóficos fosse comum, existindo ao longo da história da filosofia. O dogmatismo científico também foi muito comum em seu tempo. Boltzmann via nas críticas dos fenomenologistas e energeticistas ao atomismo como uma perigosa exclusão dogmática: “Eu, portanto, penso ser meu dever prevenir do prejuízo que acometeria, inevitavelmente, a ciência, caso essa elevasse a fenomenologia ao nível de dogma absoluto, como ocorreu, em outros tempos, com o atomismo” (BOLTZMANN, 1905).

Embora Boltzmann reconhecesse essa constância do dogmatismo na história das ciências, ele tinha esperanças quanto ao seu atomismo:

Estou convencido de que esses ataques são meramente baseados em um mal-entendido e que o papel da teoria do gás na ciência ainda não se esgotou. A abundância de resultados concordando com a experiência que Van der Waals derivou puramente dedutivamente, tentei esclarecer neste livro. Mais recentemente, a teoria do gás também forneceu sugestões que não se poderia obter de nenhuma outra maneira. A partir da teoria da razão de calores específicos, Ramsay inferiu o átomo de argônio e, assim, seu lugar no sistema de elementos químicos - que ele posteriormente provou, pela descoberta de néon, estava de fato correto. Na minha opinião, seria uma grande tragédia para a ciência se a teoria dos gases fosse temporariamente descartada por uma atitude hostil momentânea em relação a ela, como, por exemplo, a teoria das ondas por causa da autoridade de Newton. Estou consciente de ser apenas um indivíduo lutando fracamente contra o fluxo do tempo. Mas ainda me resta contribuir de tal maneira que, quando a teoria dos gases for novamente revivida, não será preciso redescobrir demais. (BOLTZMANN, 1964, p. 213)

A medida que uma dada teoria se concretiza dentro da comunidade científica como um dogma, Boltzmann afirmava que isso pressupunha que seria possível ao cientista a previsão e a antecipação do curso da ciência. Essa representação seria, para sempre, a que melhor representa os fatos naturais. Boltzmann recorda que a história da ciência já havia demonstrado a incapacidade de que essa previsão do desenvolvimento da ciência fosse possível. A história da ciência mostra sim, que a evolução da ciência não é contínua ou ocorre em direção a um ponto de chegada fixo.

Não apenas a objeção dogmática do atomismo, mas também a visão dogmática sobre a Termodinâmica e sua Segunda Lei: todas as leis físicas tinham que ser estritamente deterministas e universalmente válidas. A maioria dos físicos acreditava nessa visão da termodinâmica, chegando ao ponto de alguns acreditarem que a Segunda Lei da Termodinâmica era um axioma básico transmitido por Deus, que era preciso aceitar como ponto de partida de qualquer consideração termodinâmica. Considerando que Boltzmann usou uma interpretação estatística da Segunda Lei cerca de 50 anos antes da interpretação estatística da mecânica quântica, sua visão da filosofia da ciência parecia ter se concretizado. Como escreve Heilbron:

Descarregar a segunda ‘nuvem’ de Kelvin [o problema da equipartição] exigia um pensamento mais radical - até mesmo uma passagem pela irracionalidade. O problema que provocou a loucura dizia respeito à distribuição de equilíbrio da energia radiante (em função da frequência ou cor) contida em um forno a temperatura constante (“radiação de corpo negro”). Esse problema aparentemente obscuro tinha algum interesse industrial, pois se relacionava a padrões de iluminação. Não havia razão para acreditar que seria intratável, e a biblioteca de física já tinha lugar para sua solução na prateleira entre a eletrodinâmica e a termodinâmica. A equipartição introduzia-se, no entanto, sempre que o éter era tratado como um sistema mecânico; e a equipartição implicava que todo modo de vibração etérea recebia a mesma quantidade de energia,  $kT/2$ . [...] Planck encontrou então uma nova fórmula, que funcionou, e uma nova teoria para ela, que subverteu a física clássica de Boltzmann, na

qual ele pensava ter se baseado. Isso foi irracional. A "teoria quântica" de Planck logo se juntou a outras evidências de que o micromundo não poderia ser descrito usando os conceitos comuns da física. (HEILBRON, 2014, p. 144)

Boltzmann acredita que duas questões estão fora do entendimento humano: por que estamos aqui? Por que estamos no presente? Não seria possível para as ciências, físicas ou humanas, ou mesmo para a filosofia responder tais questões. À luz do pluralismo teórico, é possível esclarecer a terminologia desse contexto. As leis da natureza são as leis originais, que os fenômenos naturais lhes obedecem, e não podem ser descobertas pelo humano. Mas as leis da física seriam aquelas inventadas pelo ser humano para explicar os fenômenos naturais. Assim, uma teoria não seria propriamente uma descoberta, mas deve ser criada, deve ser inventada pela mente humana (BOLTZMANN, 1964).

O pluralismo teórico de Boltzmann coloca o *eu-criativo* do cientista, ao propor conceitos e métodos novos, como parte fundamental evolução da Ciência e da Filosofia. O ambiente científico deveria permitir que cada cientista pudesse fazer sua contribuição ao progresso da ciência, e que essas tentativas não poderiam ser rejeitadas por mero preconceito dogmático. A própria criatividade do teórico seria posta a prova pela pressão que sofreria nos debates científicos e pela capacidade de suas representações em sobreviver explicando os mais diversos fenômenos e prevendo outros novos. Ao longo do tempo, as leis do pensamento seriam aprimoradas e, conseqüentemente, o próprio homem. Com esta tese, Boltzmann fecha sua Filosofia da Ciência.

Com efeito, já que a história da ciência mostra como as generalizações epistemológicas tornaram-se frequentemente falsas, não será possível que a repugnância moderna pelas representações detalhadas, como pela distinção entre formas qualitativamente diferentes de energia, seja um retrocesso? Quem prevê o futuro? Deixais-nos lugar para todas as linhas de pesquisa; acabemos com todo o dogmatismo, seja ele atomista ou anti-atomista! Ao apresentar a teoria dos gases como uma analogia mecânica, nós já indicamos, através da escolha dessa palavra, como estamos longe do ponto de vista que encararia na matéria visível as verdadeiras propriedades das pequeníssimas partículas do corpo. (BOLTZMANN, 1964, p. 26)

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em nossas considerações finais, buscaremos agora apresentar uma síntese diferenciada onde tentaremos mostrar as possíveis interrelações entre os fatores, internos e externos, e os modos como eles podem ter influenciado a maneira como Ludwig Boltzmann desenvolveu e defendeu a ideia do pluralismo teórico.

Os fatores internos são dependentes sobretudo da estrutura da ciência no período de estudo e as disciplinas específicas. No período em que Boltzmann atuou, as pesquisas em Eletromagnetismo e Termodinâmica estavam em ampla expansão. Tendo contato desde cedo com os trabalhos de Stefan, Helmholtz, Maxwell, Thomson e Clausius, que foram figuras de destaque nas duas áreas, tiveram impacto direto nas escolhas da área de atuação, como demonstrado pelos dois primeiros trabalhos publicados por ele ainda durante a graduação. A expansão dos quadros de físicos e pesquisadores nas universidades permitiu que Boltzmann tivesse oportunidades de acesso à cátedra que não eram tão comuns antes dos grandes investimentos nacionais em ciências. Visto que era um dos melhores alunos desde os tempos de *Gymnasium*, o acesso de um aluno brilhante, em um ambiente que estimulava a vida acadêmica, foi muito mais fácil do que nos séculos anteriores. Também nesse período, com a expansão dos congressos, encontros, *proceedings*, das sociedades científicas, com o surgimento dos periódicos, compêndios, anais, atas e *journals*, a comunidade científica amplificou o debate e a troca de informações como nunca havia sido possível. Isso aproximou ainda mais o pesquisador com a sua audiência especializada, permitindo que Boltzmann fizesse várias viagens e mativesse relações com físicos de vários continentes. Suas viagens ajudaram sobretudo a espalhar a teoria cinética dos gases no continente americano, que iria ter seu maior expoente na figura de Gibbs.

Um dos aspectos internos importantes nesse período foi a aceitação, sobretudo devido as novas descobertas geológicas e fósseis do período, da evolução e da teoria darwiniana da seleção natural. Como visto, Darwin teve um grande impacto no pensamento filosófico de Boltzmann. A teoria darwinista era um modelo explanatório satisfatório para a origem das espécies, que associava o conceito de competição e adaptação para explicar a evolução das espécies e a sobrevivência do mais apto. Esse impacto, como nos mostra Prigogine, ocorreu tanto nas ciencias naturais, como nas sociais, no âmbito econômico como político, e passaram

a influenciar os movimentos políticos do período. O conceito de seleção natural foi fundamental para solucionar o problema epistemológico do desenvolvimento e adequação das teorias na filosofia das ciências boltzmanniana. E o progresso ocorreria nas ciências do mesmo modo como ele ocorria na evolução natural. Esse fator aproximou coerentemente a ciência e a filosofia como praticadas por ele. O sucesso do atomismo, como uma espécie científica, e, conseqüentemente todo o trabalho de Boltzmann, dependiam do sucesso deste em adaptá-la às adversidades colocadas por seus oponentes. A sobrevivência do atomismo como uma teoria científica que realmente descreve os fenômenos seria consequência da representação adequada proposta por Boltzmann.

Como fator de grande importância, não podemos deixar de levantar a questão da saúde física e psicológica de Boltzmann, desde de seu retorno à Graz em 1876 até o fim de sua vida. Suas doenças físicas, principalmente os problemas de visão na velhice, tiveram impacto severo sobre a sua capacidade de realizar desde os trabalhos experimentais até a própria leitura e redação dos textos. Essa situação foi consideravelmente suavizada pela sua esposa que, além de promover um ambiente acolhedor em casa, ainda ajudava Ludwig na leitura e escrita dos trabalhos. Os encontros sociais da família Boltzmann também eram momentos que sempre ajudavam a melhorar o espírito dele. Após a morte de sua mãe, acabou tendo sua saúde mental consideravelmente impactada, passando a sofrer de crises nervosas, intensificadas pelas atividades administrativas acadêmicas. Essas eram frequentes depois de realizar intensos debates com os seus opositores. Os problemas com o governo austríaco, principalmente relacionado às constantes mudanças de Boltzmann, podem ter tido influência na tensão psicológica que ele vivia no período. A morte do filho mais velho também foi outro fator de grande impacto, modificando toda sua rotina de trabalho. Em seu último retorno à Viena, sua condição física e psicológica já estava muito debilitada. Como não podia mais realizar trabalhos nos laboratórios, corrigir provas e trabalhos e, cada vez mais frequentemente, não poder mais realizar suas aulas e palestras, muito provavelmente Boltzmann seria afastado das suas atividades quando voltasse de suas férias em Duino. É possível levar em consideração que esses foram fatores que podem, provavelmente, ter sido os que mais pesaram na opção de Boltzmann pelo suicídio.

Quanto aos fatores externos, podemos separá-los em técnicos, culturais e econômicos. Esses fatores mesclam-se em um contexto local específico, mas integrado na história geral e, portanto, relaciona diversas audiências particulares que apreciam às ações humanas e suas

consequências. Esses fatores definem como as descobertas e teorias se enquadram na tradição cumulativa da ciência. Nesse quadro, Boltzmann viveu em uma época que foi bastante propícia ao desenvolvimento dos aspectos técnicos. O desenvolvimento da técnica e da ciência tiveram como principal impulsionador a Revolução Industrial. As ideias do Iluminismo, como o humanismo, propiciaram um clima de convicção no progresso humano quando este, baseado na racionalidade, e com apoio econômico significativo devido à expansão do comercial industrial, além da organização dos estados-nações, que incentivou o desenvolvimento técnico e científico com a fundação das escolas técnicas, universidades e institutos. Isso levou ao surgimento de novos problemas, criando novos campos de investigações, novos instrumentos práticos e de medição mais precisos e, principalmente, novos instrumentos de teorização.

Esse desenvolvimento progressivo da ciência refletiu-se nas condições institucionais das universidades que Boltzmann frequentou, principalmente Viena e Graz. Na primeira, sobre financiamento direto da coroa austríaca, Stefan tinha realizado diversas reformas e aquisição de equipamentos. Em Graz, os investimentos realizados por Toepler incluíam a construção de um novo prédio para o Instituto de Física, aquisição de novos aparelhos e instrumentos de medição, além dos fundos disponíveis para o financiamento de pesquisas, que transformaram a Universidade de Graz em referência. Essa estrutura permitiu que Boltzmann desenvolvesse suas diversas pesquisas experimentais em eletromagnetismo, termodinâmica e teoria cinética dos gases. Suas diversas contribuições nessas áreas lhe garantiram grande reconhecimento, com diversos prêmios, títulos honorários e participação em diversas sociedades científicas e civis. As condições de desenvolvimento do período também permitiram Boltzmann aumentar progressivamente os seus ganhos, sendo as condições de trabalho, como direito a pensão, uma das prerrogativas para que ele escolhesse onde deveria ir trabalhar.

Dos aspectos culturais, podemos ressaltar a mudança no estado das classes sociais, que deram origem a cidade burguesa. O impacto cultural de figuras como Goethe, Schiller, Kant, Mozart, Beethoven, Wagner, que expressaram o típico do Romantismo europeu, tiveram impacto direto na personalidade de Boltzmann. Boltzmann foi educado na cultura de seu tempo, chegando a dar apresentações de piano dos grandes compositores da época para colegas e amigos, e escrevendo poemas românticos. As influências românticas estão bastante expressas nos trabalhos filosóficos de Boltzmann, com muitas citações de Schiller e Goethe. As influências filosóficas já estavam presentes na vida de Boltzmann desde suas aulas com Robert Zimmermann, seu professor de filosofia em Viena, e foram aumentando à medida que ele



começou as suas aulas sobre filosofia natural. No fim de sua vida, Brentano teve uma grande influência no pensamento de Boltzmann, como é possível ver na troca de cartas entre os dois.

Politicamente, foi um período dos movimentos de massas, do “radicalismo”, da “revolução”, da “democracia” ou da “república”. As ideias foram se espalhando por todo o território europeu. A Áustria saiu das Guerras Napoleônicas como uma das grandes potências dominantes. Boltzmann nasceu em Viena depois de um período de censura e estado policial, o *Vormärz*, tendo grande concentração de poder na população germânica, em um país culturalmente diverso e fragmentado. Após a nova constituição, as liberdades políticas foram sendo concedidas ao povo, mas acabou gerando discórdias, principalmente com relação à situação da Hungria. Em sua juventude, Boltzmann vivia em um neoabsolutismo. Na vida adulta, passou pelos problemas internos com Hungria, a expansão do sufrágio, tentativa de homogeneização dos direitos políticos, pelas tentativas liberais e seu respectivo fracasso. Pelas políticas conservadoras, pelo sentimento pangermanista, e pela radicalização da política entre liberais, socialistas e conservadores no fim do século. Tendo vivido num período em que o clamor pela liberdade política, de ideias e de representação eram tão presentes, como a progressiva expansão do sufrágio, analogamente Boltzmann buscou, com sua tese, permitir um clima cordial e de diálogo entre seus pares científicos com opiniões divergentes.

A partir dos fatores apresentados, no pluralismo teórico, como defendido por Boltzmann com base em sua fundamentação darwinista, toda teoria científica possuía, em princípio, a possibilidade ou a capacidade de ser aperfeiçoada. A teoria seria como uma espécie ou gênero que vai se modificando e gerando adaptações e novidades à medida que o tempo passa para que essa espécie sobreviva às mudanças e às pressões externas. A tendência de um dado método ou teoria, em um ambiente dogmático, de se tornar uma verdade indiscutível traria grandes consequências para o progresso científico. A exclusão sumária de outras teorias da argumentação científica acabaria com os fatores que propiciam a própria evolução de uma teoria, pois o progresso científico só seria possível caso existissem várias teorias que, em um processo de competição, adaptam seus conceitos e métodos aos dados experimentais e às confrontações teóricas. Sem esse mecanismo de seleção, a ciência cessaria de progredir e, conseqüentemente, toda a tecnologia e desenvolvimento industrial também estagnaria. A liberdade criativa e de expressão do cientista era defendida de forma análoga à defesa dos direitos, principalmente das diferentes culturas que formavam o caldeirão austríaco, que ocorria no palco político austríaco e europeu. A liberdade e a individualidade, como bem expressos nos

valores democráticos e republicanos, expresso intensamente pelo romantismo da época, se espalhavam tanto pelas ruas quanto pelos corredores das universidades. A repressão de direitos e perseguições políticas que tomaram palco na Áustria no fim do século XIX, intensificaram as vozes liberais e socialistas na defesa dos direitos e liberdades. O progresso político e também o científico seria, portanto, o resultado dessa competição, dessa “luta”, dada a coexistência de várias teorias e métodos propondo representações variadas e até contraditórias, e a possibilidade dos cientistas de construir e aprimorar os conceitos, quer com criatividade na elaboração dos conceitos teóricos ou pela descoberta de novos fenômenos e assim propor e escolher representações mais adequadas que as anteriores. Isso não implicava a eliminação daquelas representações preteridas, e muito menos atestavam a sua falsidade. Desde que mantida a abertura no debate científico, futuramente, essas teorias poderiam apresentar novos conceitos e representações que passassem a melhor descrever e prever os fenômenos. Isso impediria que o dogmatismo passasse a imperar por meio de uma teoria que se creditasse “verdadeira.” Se a comunidade científica pudesse manter um ambiente de coexistência plural e competitiva, o progresso científico se torna possível, assim como a vida política encontraria progresso na inclusão das diversas culturas sob os valores democráticos da igualdade, da liberdade e da fraternidade.

Como isso, apresentamos a tese do Pluralismo Teórico de Ludwig Boltzmann. Essa tese pertence à sua filosofia da ciência e foi utilizada para explicar como ocorreria o desenvolvimento da ciência e justificar a defesa de uma tese científica, i.e., o atomismo, no âmbito da física teórica. A exclusão de quaisquer teses do debate científico, fruto de um dogmatismo científico, levaria a uma estagnação do desenvolvimento da ciência. Esperamos ter demonstrado como os fatores internos e externos influenciaram os elementos internos da filosofia de Boltzmann. Cada aspecto interno de sua tese pode ter sido mais ou menos afetado por cada fator, seja este interno ou externo. Diferentemente das ideias científicas, cujos fatores não são determinantes e decisivos nas descobertas científicas, as ideias filosóficas são mais intimamente relacionadas e influenciadas por aqueles.

Como afirmei na seção 1.3, diferente do que a maioria dos autores contextualistas propuseram como uma análise determinante dos fatores externos e internos, proponho uma visão diferenciada dessa escola. Nela a compreensão do historiador é diferente da do leitor apenas na medida em que seu horizonte de consciência foi amplificado e preenchido com um conteúdo diferenciado fruto dos seus estudos. Esse estudo nada mais é do que uma busca em

profundidade das principais evidências que apontem para os fins das ações de um indivíduo. O historiador internaliza, decorrer de sua pesquisa, a vida dramática do seu objeto de estudo. O historiador é motivado pela obra do indivíduo a ser estudado, e de certa forma busca a máxima compreensão da consciência do seu objeto de estudo, e busca, em sua exegese, ampliar a consciência do leitor tanto quanto lhe foi possível. O resultado dessa interiorização que o autor e o leitor realizam depende, obviamente, da extensão e do conteúdo do pensamento da pessoa que realiza a interiorização. Assim, escrever história é em si mesmo um processo histórico em que o autor progride na sua interiorização da consciência do seu objeto de estudo a medida em que descobre, na pesquisa histórica, mais e mais evidências que o fariam imitar o mesmo comportamento do indivíduo estudado. E a leitura da história é para o leitor um processo de interiorização que lhe alarga o próprio horizonte de consciência, e ao mostrar as grandes batalhas e vitórias desses personagens históricas, de alguma forma é persuadido a mimetizá-los e, até mesmo, continuar com as lutas e sonhos desses grandes personagens da história mundial. Assim, o pluralismo teórico de Boltzmann, sua defesa do atomismo, sua obra científica, seu papel como professor e reitor, no contexto em que viveu, e como isso influenciou sua posição ética no debate científico de seu tempo, bem como os caminhos que ele percorreu, é um bom exemplo de modelo que os cientistas, filósofos da ciência e historiadores da ciência podem buscar imitar.

### **Sugestão para estudos futuros**

Como sugestão para estudos futuros, é necessário fazer uma investigação mais profunda das relações entre a filosofia romântica e a filosofia da natureza de Boltzmann. Também, direcionado a Teoria Feminista da Ciência, realizar estudos sobre a figura de Henriette Edler von Aigentler, tanto da sua sumária exclusão do ambiente acadêmico de sua época como a sua influência sobre o pensamento e trabalho de Boltzmann, visto que ela leu e escreveu muitos de seus trabalhos. No âmbito do Ensino de Ciências, estudar a importância do pluralismo teórico para a aprendizagem da ciência, e sua importância na inclusão dos diversos saberes no contexto do ensino multicultural de ciências. Na Física, ressaltar a importância do pluralismo teórico, como base para uma posição ética tolerante e democrática, para um progresso da disciplina, principalmente nos debates sobre as fundamentações filosóficas da Mecânica Quântica.

## REFERÊNCIAS

BERNAL, J. D. Desenvolvimentos das Ciências nos Séculos XVIII e XIX. In: **Ciência na História**. Lisboa: Livros Horizontes, 1975. p. 585–603.

BLACKMORE, J. **LUDWIG BOLTZMANN HIS LATER LIFE AND PHILOSOPHY, 1900--1906 Editor**. 1. ed. Boston: Springer Science, 1995.

BLACKMORE, J. Boltzmann and epistemology. **Synthese**, v. 119, n. 1/2, p. 157–189, 1999.

BOLTZMANN, L. Über die Bedeutung von Theorien. In: **Populäre Schriften**. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 1890. p. 54–58.

BOLTZMANN, L. **Vorlesungen über Maxwells Theorie der Elektrizität und des Lichtes II**. Leipzig: Verlag, 1891.

BOLTZMANN, L. Josef Stefan. In: **Populäre Schriften**. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 1895. p. 59–66.

BOLTZMANN, L. Über die Unentbehrlichkeit der Atomistik in der Naturwissenschaft. In: **Populäre Schriften**. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 1897a. p. 78–93.

BOLTZMANN, L. Über die Frage nach der objektiven Existenz der Vorgänge in der unbelebten Natur. In: **Populäre Schriften**. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 1897b. p. 94–119.

BOLTZMANN, L. Über die Grundprinzipien und Grundgleichungen der Mechanik. In: **Populäre Schriften**. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 1899a. p. 160–169.

BOLTZMANN, L. Über die Entwicklung der Methoden der theoretischen Physik in neuerer Zeit. In: **Populäre Schriften**. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 1899b. p. 120–149.

BOLTZMANN, L. Über die Prinzipien der Mechanik. In: **Populäre Schriften**. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 1900. p. 170–191.

BOLTZMANN, L. Ein Antrittsvortrag zur Naturphilosophie. In: **Populäre Schriften**. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 1903. p. 199–205.

BOLTZMANN, L. Über statistische Mechanik. In: **Populäre Schriften**. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 1904. p. 206–224.

BOLTZMANN, L. Über eine These Schopenhauers. In: **Populäre Schriften**. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 1905. p. 240–257.

BOLTZMANN, L. **Theoretical physics and philosophical problems**. Boston: D.Reidel Publishing Company, 1974.

BOLTZMANN, L. **Popuiare Schriften**. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 1979.

CERCIGNANI, C. **Ludwig Boltzmann, The Man Who Trusted Atoms**. 1. ed. New York: Oxford University Press Inc., 1998.

CLAUSIUS, R. **The Mechanical Theory of Heat: With Its Applications to the Steam-engine and to the Physical Properties of Bodies**. London: John van Voorst, 1867.

D'AGOSTINO, D. Boltzmann and Hertz on the Bild-conception of Physical Theory. **History of Science**, v. 28, p. 380–398, 1990.

DARWIN, C. **On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life**. London: John Murray, 1859.

DE REGT, H. W. Ludwig Boltzmann's Bildtheorie and scientific understanding. **Synthese**, v. 119, p. 113–134, 1999.

DE REGT, H. W. Scientific Realism in Action: Molecular Models and Boltzmann's Bildtheorie. **Erkenntnis**, v. 63, n. 2, p. 205–230, 2005.

EFTEKHARI, A. Ludwig Boltzmann (1844 – 1906). **Biography An Interdisciplinary Quarterly**, p. 1–25, 1906.

FASOL-BOLTZMANN, I. M. **Ludwig Boltzmann 1844–1906 Zum hundertsten Todestag**. Wien: Springer-Verlag, 2006.

GARBER, E. On “Avoiding All Personal Enquiries” of Molecules. In: **Maxwell on Heat and Statistical Mechanics**. New Jersey: Associated University Presses, 1995.

GRANDNER, M. Conservative Social Politics in Austria, 1880–1890. **Austrian History Yearbook**, n. 27, p. 77–107, 1996.

HEILBRON, J. L. **Physics A Short History from Quintessence to Quarks**. Oxford: Oxford University Press Inc., 2015.

HIEBERT, E. N. **Boltzmann's Conception of Theory Construction: The Promotion of Pluralism, Provisionalism, and Pragmatic Realism**. (J. Hintikka, D. Gruender, E. Agazz, Eds.) Proceedings of the 1978 Pisa Conference on the History and Philosophy of Science. **Anais...**Dordrecht: 1981

HOBSBAWM, E. **A era das revoluções – 1789-1848**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2014a.

HOBSBAWM, E. **A era do capital – 1848-1875**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2014b.

HOBSBAWM, E. **A era dos impérios – 1875-1914**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2014c.

JANIK, A.; TOULMIN, S. **Wittgenstein's VIENNA**. New York, NY: Simon and Schuster, 1973.

JOHNSON, L. **Introducing Austria: a short history**. Riverside, Calif: Ariadne Press, 1989.

JUDSON, P. M. **The Habsburg Empire A New History**. 1. ed. Cambridge: The Belknap Press, 2016.

LARANJEIRAS, C. C.; CHIAPPIN, J. R. N. A heurística de Boltzmann e a emergência do programa mecânico-estatístico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 297–312, 2006.

LINDLEY, D. **Boltzmann's Atom - The Great Debate that Launched a Revolution in Physics**. New York: The Free Press, 2001.

MELSEN, A. G. VAN. **From Atomos to Atom - The History of the Concept Atom**. Pittsburgh, EUA: Duquesne University Press, 1952.

NÓBREGA, M. L. DA. **Segunda lei da termodinâmica: os caminhos percorridos por William Thomson**. [s.l.] Dissertação (mestrado) - Universidade Federal da Bahia, 2009.

OKI, M. C. M. Controvérsias sobre o atomismo no século XIX. **Química Nova**, v. 32, n. 4, p. 1072–1082, 2009.

OSTWALD, W. No Title Faraday Lecture: Elements and Compounds. In: KNIGHT, D. M. (Ed.). **Classical Scientific Papers: Chemistry**. New York: American Elsevier, 104AD.

PÉTER, L.; PYNSENT, R. B. (EDS.). **Intellectuals and the Future in the Habsburg Monarchy 1890-1914**. London: The Macmillan Press Ltd, 1988.

PINHO, S. T. R.; ANDRADE, R. F. S. Evolução das Idéias da Termodinâmica e da Mecânica Estatística. In: **Origens e Evolução das Idéias da Física**. Salvador: EDUFBA, 2002. p. 139–183.

PRIGOGINE, I. **Ciência, Razão e Paixão**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2009.

PULLMAN, B. **The Atom in the History of Human Thought**. Oxford: Oxford University Press Inc., 1998.

RAJASEKAR, S. Ludvig Edward Boltzmann. **Physics/0609047**, p. 1–15, 2009.

RIBEIRO, M. B.; VIDEIRA, A. A. P. Cosmologia e pluralismo teórico. **Scientiae Studia**, v. 2, n. 4, p. 519–535, 2004.

RIBEIRO, M. B.; VIDEIRA, A. A. P. Boltzmann's Concept of Reality. n. June 2015, p. 1–13, 2007.

ROCHA, J. F. M. Origem e Evolução do Eletromagnetismo. In: **Origens e Evolução das Idéias da Física**. Salvador: EDUFBA, 2002. p. 185–281.

ROQUE, T.; VIDEIRA, A. A. P. A noção de modelo na virada do século XIX para o século XX. **Scientiae Studia**, v. 11, n. 2, p. 281–304, 2013.

SOMMERFELD, A. Das Werk Boltzmanns. **Wiener Chemiker Zeitung**, p. 25–28, 1944.

TAYLOR, A. J. P. **The Habsburg Monarchy 1809-1918**. London: Hamish Hamilton, 1948.

VIDEIRA, A. A. P. Atomismo Energetismo e Pluralismo Teorico no Pensamento Epistemologico de Ludwig Boltzmann. **Química Nova**, v. 17, n. 6, p. 461–464, 1994.

VIDEIRA, A. A. P. A física entre a mecânica clássica e a filosofia: os exemplos de Helmholtz, Boltzmann e Hertz. **Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, v. 13, p. 11–14, 1995.

VIDEIRA, A. A. P. A filosofia da ciência de Ludwig Boltzmann: atomismo, mecânica clássica, darwinismo e pluralismo teórico. **Ciência e Filosofia**, v. 6, p. 199–225, 2000.

VIDEIRA, A. A. P. Boltzmann, Darwin e as leis do pensamento. **Revista Portuguesa de Filosofia**, v. 61, p. 225–245, 2005.

VIDEIRA, A. A. P. Boltzmann , física teórica e representação. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 269–280, 2006.

VIDEIRA, A. A. P. Modelo: a noção síntese das concepções filosóficas de Boltzmann. **Scientiae Studia**, p. 373–380, 2013.

VISSER, H. Boltzmann and Wittgenstein or how pictures became linguistic. **Synthese**, v. 119, n. 1–2, p. 135–156, 1999.

WILSON, A. **Boltzmann's Philosophical Education and its Bearing on His Mature Scientific Epistemology**. Proceedings of the International Symposium on Ludwig Boltzmann. **Anais...1993**

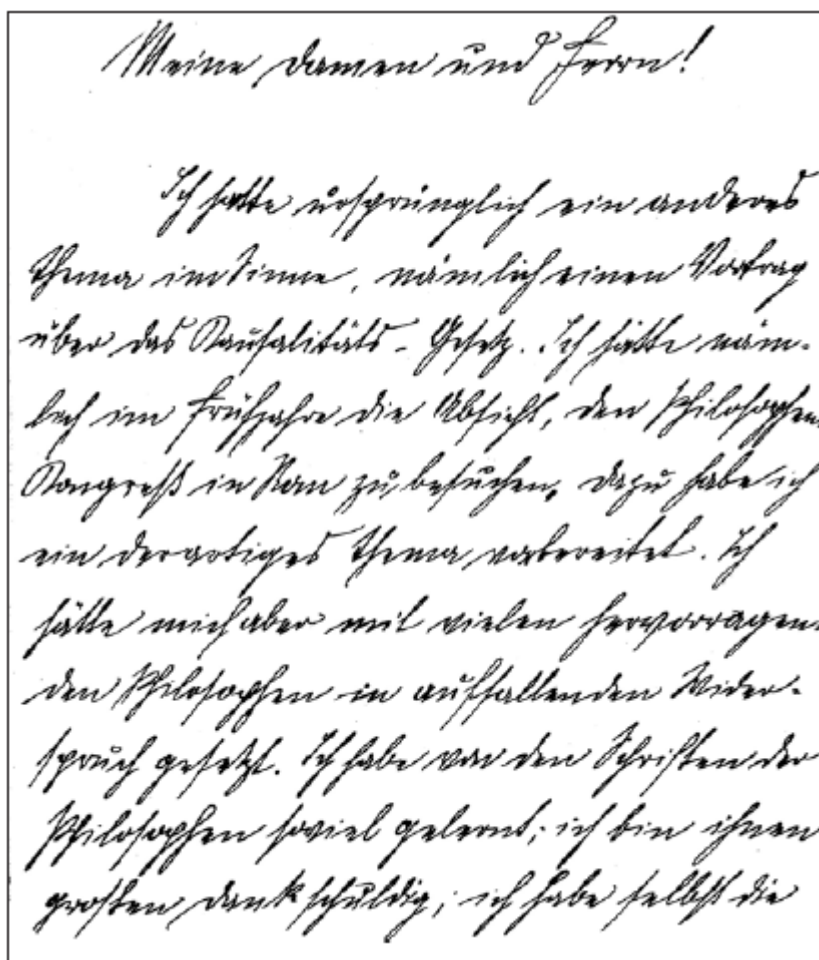
ZERMELO, E. Über mechanische Erklärungen irreversibler Vorgänge. **Annalen der Physik**, v. 57, n. 485, p. 793–801, 1896.

## ANEXO

**Anexo A - Explicação da entropia e do amor a partir dos princípios do cálculo de probabilidade**

Em 28 de outubro de 1905, Ludwig Boltzmann realizou sua última palestra, *Erklärung der Entropie und der Liebe aus der Wahrscheinlichkeitsrechnung*, na reunião geral anual da Sociedade Filosófica em Viena. A palestra não foi publicada junto com os escritos no *Populäre Schriften*, mas foi preservada como manuscrito na propriedade da família Boltzmann, como mostrado na figura 9. Boltzmann, que já era quase deficiente visual na época, pode ter ditado ou ter realizado uma transcrição após a palestra. Aqui, traduzimos a dita palestra, que foi publicada em alemã na obra de Fasol-Boltzmann (2006), como contribuição à divulgação da obra de Boltzmann em português.

**Figura 9** – Manuscrito da última palestra de Boltzmann, guardado pela família.



Fonte: Adaptado de Fasol-Boltzmann (2006)



Senhoras e senhores!

Eu originalmente tinha outro tópico em mente, a saber, uma palestra sobre a lei da causalidade. Pois na primavera eu pretendia visitar o congresso filosófico em Roma, para o qual eu havia preparado tal tópico. Mas eu estaria em flagrante contradição com muitos filósofos extraordinários. Aprendi muito com os escritos dos filósofos; eu lhes devo um grande obrigado; eu mesmo tenho a intenção, que Kant expressa, de que a propensão para a metafísica é baseada na alma do homem e inerradicável, que a Filosofia se afirmará como a rainha das ciências.

Eu, por isso, escolhi outro tópico, em que eu me apoie em um terreno mais científico, e de onde tenho menos motivos para temer uma contradição. Então, primeiro quero falar sobre o Teorema da Entropia. Bem, há certamente muitos de vocês que não fazem matemática e física como ciência especializada. Eu não posso assumir de vocês que a entropia, que o conceito de entropia, lhes é completamente familiar. Pelo contrário, eu poderia esperar isso daqueles que praticam física como ciência. Minha primeira tarefa é dar algumas palavras explicativas sobre o conceito de entropia. Não é fácil, em tão pouco tempo, até impossível, oferecer de alguma forma o conteúdo do termo. Eu quero dar uma pequena dica de como ele seria concebido. Eu quero dizer de antemão que nós distinguimos fenômenos naturais em processos puramente mecânicos e não mecânicos, que também são chamados de mudanças qualitativas.

Processos puramente mecânicos são aqueles que são apenas manifestações de movimento, mudanças na posição dos próprios corpos e das partes individuais dos corpos. Então, por exemplo, se um corpo sólido no espaço se move em qualquer direção, é um processo puramente mecânico; quando um corpo sólido está em rotação, é um processo puramente mecânico; mesmo se um corpo fluido derramando mudar de forma quando um fluido flui para fora de um recipiente, o fenômeno pode ser visto como uma manifestação do movimento das partes individuais do fluido, como um processo puramente mecânico. Mesmo que uma massa se expanda, é um processo puramente mecânico. Ao separar as partes, o processo pode ser mostrado novamente. Em contraste, e. g., quando o corpo aquece, não pode ser representado por um mero movimento das partes do corpo de um modo diretamente óbvio. O processo de aquecimento do corpo é chamado qualitativo - ou quando (o) corpo é eletrificado ou magnetizado; tudo isso é geralmente chamado de processos não mecânicos. Claro que a fronteira não é nitidamente desenhada. Por exemplo, quando um corpo emite um som, após uma observação mais próxima, seria visto como subjacente a um movimento cinético. Pode-se pensar que o corpo muda qualitativamente sua condição. Uma descrição detalhada mostra que

é um processo puramente mecânico, que apenas o movimento do corpo é a causa. Portanto, é claro que não se exclui que essas ondas sejam processos que podem ser considerados qualitativos.

Processos elétricos e magnéticos devem ser posteriormente atribuídos a processos mecânicos. No processo, deseja-se manter essas distinções por enquanto. Calor, eletricidade - consideramos todos esses fenômenos como processos qualitativos, não mecânicos. Mostra a experiência que um processo mecânico sempre pode ocorrer exatamente no sentido oposto; diz-se que todo processo puramente mecânico é invertível, reversível. Por exemplo, quando um pêndulo balança, é um processo puramente mecânico. Existe uma energia presente. Quando o pêndulo está mais distante da posição de repouso, foi realizado trabalho para removê-lo de sua posição de repouso. Ele move-se contra a posição de repouso; o trabalho é realizado com base na energia cinética. É uma conversão entre energia potencial e energia cinética. O pêndulo também pode se mover no lado oposto da posição de descanso. O movimento dos planetas ao redor do sol, a rotação de um corpo sólido são processos puramente mecânicos que são completamente reversíveis, que podem prosseguir exatamente do modo oposto. Suponha que um corpo caia no chão e caia em uma superfície perfeitamente elástica. Ele pula de volta quando a almofada é absolutamente elástica. Ele subiria à mesma altura, desde que não encontrasse resistência no ar. Seria um processo puramente mecânico. Se o corpo voltar em vácuo absoluto e absolutamente elástico, então este processo seria completamente reversível, isto é. poderia ser realizado completamente no caminho oposto. Na prática, este não é o caso. O corpo encontra resistência no ar. Se ele re-saltar, o impacto é imperfeitamente elástico e não atinge a mesma altura. Na ordem inversa, o processo não é mais o mesmo que costumava ser.

Se você olhar de perto, descobrirá que o calor é gerado em cada evento cinético, em toda colisão inelástica. O calor também é gerado ao se mover no ar. Quando meteoritos ou uma bala de espingarda se movem no ar, eles podem ser aquecidos. Em processos lentos, o calor é muito baixo. Mas o processo não é reversível, porque ocorre uma mudança qualitativa, o aquecimento. Acontece, em termos gerais, que todos os processos ligados ao desenvolvimento do calor não são puramente reversíveis. Algo similar é encontrado em reagentes similares. Isso mostra que processos puramente mecânicos podem ser prontamente transformados em calor, mas o calor não pode ser transformado em um processo puramente mecânico. Assim que o calor ocorre, este calor puramente mecânico é perdido. Foi aceito como um fato fixo que os processos naturais qualitativos não são reversíveis e que eles procuram expressá-lo por meio de uma

fórmula matemática. Procuramos uma quantidade, uma assim chamada função, que sempre cresce no sentido em que o processo realmente ocorre. O crescimento da função expressa que o processo é possível no sentido. No sentido oposto, a função diminuiria; porque o processo não é possível.

Nós primeiramente vimos que a transformação da energia mecânica em calor é sempre possível. O calor é aplicado a um determinado corpo. Com  $Q$  denotamos o calor fornecido. O processo aumenta o calor fornecido. O próprio  $Q$  já é uma função, que sempre cresce quando o processo (em si) ocorre no sentido em que realmente está acontecendo. Este  $Q$  ainda não é útil como função característica. Existem outros processos naturais que ocorrem apenas em um sentido. Quando levamos contato com corpos frios e quentes, o calor vai de quente a frio, mas nunca de frio a quente. Se olharmos para essa quantidade  $Q$ , tanto calor é transportado do corpo quente como é fornecido para o mais frio. Em outras palavras,  $-Q$  é levado embora, alimentado ao frio  $+Q$ . A função inteira seria 0. Eu quero que a função aumente; assim que perguntamos, no sentido em que realmente deveria acontecer. Temos essa função quando nos dividimos pela temperatura em questão. O calor é removido do calor, nomeadamente  $-Q / T$  dividido pela temperatura  $T$ ; o calor que é fornecido ao mais frio deve-se por uma temperatura menor dividir  $+Q / t$ ; a soma  $(-Q / T + Q / t)$  é positiva e maior que 0 porque o segundo quociente é maior. Portanto, se eu sempre dividir o calor fornecido pela temperatura em questão, obtenho tal função, que caracteriza em que sentido o processo ocorre. Assim que os valores totais de um corpo são aumentados por qualquer processo, o processo pode ocorrer no mesmo sentido. Se o valor diminui de alguma forma, o processo não pode ocorrer. É o que chamamos de entropia, a função que caracteriza em que sentido os processos podem ocorrer. Deve-se notar que não se deve tomar a temperatura Celsius usual; isso também poderia ser negativo. O segundo quociente também pode ser negativo. Você tem que contar a temperatura a partir dos pontos mais baixos, para que ela não fique mais negativa. Conta-se do zero absoluto. Portanto, o processo em que o calor vai do corpo mais quente para o mais frio é um processo no qual a entropia aumenta; um processo, que pode ocorrer na natureza, que esta não se opõe.

Na ocasião deste processo, parte do calor pode ser transformado em trabalho. Isso acontece nas máquinas de trabalho; o calor é desenvolvido em motores a vapor e, na ocasião da transição, uma peça é transformada em trabalho. Vê-se isso porque essa expressão é muito maior que zero. Se menos calor  $q$  for fornecido ao corpo mais frio, e  $Q$  for retirado do quente, então  $(-Q / T + q / t)$  é zero. Este processo ocorrerá.  $Q - q$  é transformado em trabalho. Essa

diferença nos diz quanto trabalho recebemos de certa quantidade de calor, que passa do corpo quente para o mais frio. Eu não quero me ater nesses detalhes. Antes de tudo, quero observar que todos os processos naturais, todos os processos mecânicos que ocorrem em nossa Terra, correspondem a esse processo, na transição do calor do Sol quente para a Terra mais fria. Se essa diferença de temperatura cessasse, todos os processos naturais mecânicos cessariam. Os movimentos do ar, da água, da vida orgânica são possibilitados pela ação do Sol, porque o Sol tem temperatura muito mais alta e a temperatura da Terra é muito menor, de modo que ocorre um aumento de entropia.

Acredita-se que a luta dos organismos pela existência é uma luta pela matéria material; percebeu-se que é, realmente, uma luta por energia. Ainda não estamos totalmente certos do por que o calor também apresentar-se como energia. Agora, o calor no corpo terrestre está em uma quantidade infinita, mas como calor de baixa temperatura. Isso tem pouco poder e, como resultado, não é conversível. Apenas o calor do Sol de tão alta temperatura é transformável. As batalhas dos seres pela existência são, na verdade, uma batalha pela energia transformável, pelo calor da alta temperatura. Têm que ser retratadas como uma luta por energia. Posso tirar outra conclusão: esse calor, que é transformado a partir desse teorema em trabalho, é chamado de entropia. Como a função representa a entropia, esse teorema é chamado de Teorema da Entropia. Somente esses processos ocorrerão a natureza, nos quais a entropia cresce; as diferenças de temperatura irão equalizar; o trabalho mecânico se transformará em calor; todos os processos naturais ocorrerão unilateralmente desta maneira. Como resultado, a entropia aumentará cada vez mais; não será possível que todo o calor retorne ao estado antigo. Já a entropia teria que diminuir pela mesma razão e os processos em que a entropia diminui não são possíveis.

Todo o calor na terra tem que ser unilateralmente transformado em energia. Como a Terra é finita, todo movimento deve cessar, a energia deve ser máxima, todas as temperaturas devem equalizar, toda energia mecânica deve ser transformada em calor, toda a entropia cessaria de aumentar. Se alguém pensa no mundo como infinito, não é necessário tirar essa conclusão. O fornecimento de energia pode ser apenas infinito. Somente na ciência natural temos a necessidade de explicar os fenômenos a partir de tão poucos princípios quanto possível, de princípios tão simples quanto possíveis. Esforçarmos-nos para explicar esses processos, que eu chamei de mudança qualitativa, a partir de princípios mecânicos, para explicar a partir de fenômenos de movimento. Assim como os fenômenos acústicos são certamente explicados

como fenômenos do movimento, também se tem o desejo de representar os fenômenos do calor como fenômenos do movimento. Pensa-se no calor como um movimento das menores partes do corpo, que não pode ser percebido diretamente, porque não se pode ver as menores partes. Bem, se você fizer isso, essa diferença entre mudanças puramente mecânicas e qualitativas seria completamente eliminada. Todos os processos seriam puramente mecânicos. Seria preciso distinguir entre esses processos, que são claramente perceptíveis mecanicamente e aqueles em que ocorrem movimentos ocultos.

Mas agora se chega a esse dilema: os processos mecânicos são reversíveis em uma direção e na outra; os processos térmicos, os processos elétricos e magnéticos, não são reversíveis; os processos ocorrem no sentido em que a função de entropia cresce, caso contrário, eles não podem acontecer. Concluiu-se, entre outros como Bertrand afirmou, que tal explicação mecânica de processos qualitativamente aparentes é impossível de representar mecanicamente através de processos irreversíveis. Na verdade, não é possível, se não se adicionar um novo princípio, o princípio do cálculo de probabilidade. É estranho que uma ciência exata lide com o cálculo de probabilidade. Esta é a introdução do acaso cego. O acaso não é uma meta possível nas ciências exatas. Por outro lado, se definirmos exatamente quais casos queremos considerar como possíveis ou igualmente prováveis, então no cálculo de probabilidades não há nada acidental contido. O cálculo de probabilidade é então tão preciso quanto qualquer outro método de ensino. Claro, é esse conceito de igualdade, que na minha opinião, deve ser considerado à frente. Foi negado muitas vezes e acreditou-se que, *a priori*, certos julgamentos de probabilidade devem ser possíveis, sem falar do caso de direitos iguais.

Deixe-me apresentar um exemplo: se alguém pronuncia um julgamento, então é tão provável que seja verdade, como que não seja verdade. Foi explicado que ambos são igualmente prováveis porque não há indicação de por que o julgamento é falso ou verdadeiro. Tentou-se provar que é possível transformar ambos os julgamentos em seus opostos. Se alguém pudesse expressar cada julgamento de uma maneira positiva, então a probabilidade teria que ser a mesma. Do ponto de vista matemático, não se pode aprovar essa linguagem. Se alguém não julga a probabilidade e não aplica mais as leis da probabilidade, então a matemática não pode continuar a calcular. Se, por exemplo, não soubéssemos nada sobre a natureza do Sol através da análise espectral, e se levantássemos a questão "Existe ferro no Sol?", então deveria ser considerado igualmente provável; se disséssemos o veredicto: "Existe chumbo no Sol", também deve ser considerado igualmente provável. E se fôssemos perguntar: "Todos os metais terrenos

estão presentes no sol?" Então, de acordo com as leis do cálculo de probabilidade obteremos um número extraordinariamente pequeno. Uma probabilidade diferente não pode estar correta. Pode-se dizer que isso contradiz as leis da física.

Em outro exemplo, Poincaré afirmou: Se você desenha um círculo e uma corda, qual é o comprimento mais provável? Esta questão pode ser respondida, afirmando quais cordas são igualmente possíveis. Nós dividimos o círculo em partes, puxamos as cordas e obtemos um resultado que tem alta probabilidade. Eu posso passar por cada ponto da corda no círculo e puxar em cada possível direção, eu vou pegar todos os tipos de cordas, mas o valor mais provável do comprimento é ... [lacuna no manuscrito] Uma terceira maneira: Eu posso olhar para cada ponto no meio do caminho de uma corda. Então nós temos outro resultado novamente. Pode-se ver que esses valores médios não são de forma alguma certos, uma vez que o conceito de probabilidade diferir em várias formas é possível.

Se aplicarmos o conceito de probabilidade na mecânica, devemos considerar os casos que distinguem tão igualmente quanto possível. Por exemplo, o ponto de ataque do centro de gravidade de um corpo. [problemas de tradução no texto] Em quais moléculas deve ser caracterizado como velocidade. Isto é, se você desenhar uma linha reta a partir de um ponto fixo, que representa a velocidade em tamanho e direção. Assume-se como igualmente possível que os outros pontos finais em qualquer volume sejam iguais a pontos de um tamanho particular. Diferentes elementos de volume são considerados como tendo direitos iguais. Se você fizer isso, chegará ao conceito da probabilidade do estado do corpo. Os corpos são agregados de pontos materiais. Qualquer posição, qualquer distribuição de velocidade tem uma certa probabilidade. E essa expressão de probabilidade coincide com o que é chamado de entropia na física; a probabilidade coincide com forças de energia; uma limitação é dada pelo fato de que a energia total não deve ir além de um certo tamanho.

Do ponto de vista desta teoria, a entropia tem um significado específico: A entropia é a probabilidade do estado do corpo em questão, e o fato de que os processos ocorrem apenas em certo sentido indica que o estado sempre vai do improvável ao provável. Por exemplo, se houver um movimento puramente mecânico: um corpo se move a uma velocidade visível, portanto todas as partes têm uma velocidade retificada. De acordo com essa definição da probabilidade da velocidade, os pontos finais estão no mesmo elemento, com uma mesma velocidade. Isso é extremamente improvável. Na entropia, temos apenas o calor; qualquer movimento ordenado

é, portanto, improvável, mesmo com a rotação de um corpo sólido. Nem toda parte tem a mesma velocidade. Que a distribuição de velocidade seja regular é extremamente improvável.

Nesse movimento, que é chamado movimento de calor, as várias partes se movem em todas as direções. Esse movimento é a probabilidade atribuída. Agora, se há uma diferença de temperatura, suponhamos que tenhamos um corpo que tenha uma temperatura mais baixa em um ponto e uma temperatura alta em outro; onde a temperatura é mais baixa, as velocidades são muito mais baixas, nas outras são maiores. Que uma velocidade extraordinariamente regular esteja disponível é um evento extremamente improvável. Que as velocidades se igualem, isso corresponde ao cálculo da probabilidade. Se dois gases se difundem: acima é hidrogênio, e abaixo do oxigênio: seria muito improvável que os átomos de hidrogênio permanecessem no topo, os átomos de oxigênio abaixo. Se ambos forem misturados, a condição mais provável ocorrerá. A mistura dos dois é uma progressão do improvável ao provável. Com corpos líquidos drenáveis, isso não acontece. Lá sua energia potencial entra em ação. Ali encontra-se uma relação entre as partículas que compõem a mistura.

Uma objeção foi feita. Pois foi dito: por probabilidade há sempre um pequeno desvio do estado provável. A condição mais provável é desconhecida. Existem pequenos desvios; desvios maiores seriam prováveis e improváveis que não fossem apenas esses. Desvios ainda maiores do estado provável teriam algum significado. Se as coisas se comportassem dessa maneira, uma reversão teria que ocorrer; aconteceria então que, por um acaso especial, o movimento mais rápido diminuiria, e o mais lento aumentaria. Teria que haver outra reversão quando houvesse diferença de temperatura. Deveria haver uma separação dessa mistura de gases, só que, na verdade, não percebemos isso.

Quando a temperatura é equilibrada, permanece sempre equilibrada; não ocorre novamente uma variação das temperaturas. Isso é explicado pela probabilidade extremamente baixa de ocorrer uma separação. A probabilidade pode ser calculada. Para um corpo muito pequeno, o pior caso seria  $(10^{10})^{10}$ . Tal número mostra a diferença entre a ideia teórica que se faz da coisa e a ideia intuitiva.  $10^2$  é  $10 \times 10 = 100$ ; na terceira potência, ainda atribuiríamos mais um 0; continuamos a potenciar até  $10^{10}$ . Esta potência é muito fácil de imaginar. A ideia teórica não tem dificuldades, mas a ideia prática e vívida, a junção de juízos tem grandes dificuldades. Então, alguém poderia experimentar que todas as casas começam a queimar se alguém viver tanto tempo. Ainda não percebeu que todas as casas começam a queimar ao

mesmo tempo. Isso poderia falar contra a teoria da probabilidade; é o número enormemente grande de culpa.

Eu quero citar outros exemplos para ilustrar o tamanho do número. A *Crítica da Razão Pura* de Kant tem um milhão de letras. Poder-se-ia proceder assim: que se tire de uma caixa de jogo, puramente por acaso, uma letra após a outra, juntando um milhão de letras, então sairia um livro, que teria a mesma quantidade da *Crítica da Razão Pura*. Dessa forma, você obteria um segundo e um terceiro livro e faria tantos livros quanto possível dessa forma. Quem acreditaria que a coincidência poderia ser que um livro seria o mesmo, letra por letra, que o *Crítica da Razão Pura*. Quando você opera com números tão grandes, é impossível que algo aconteça por acidente, que você produza algo por acaso. Se você quebrar em apenas algumas frases, você já teria um trabalho interminável.

Eu acredito, que se alguém investiga essa dúvida, pode razoavelmente perceber como coisas tão complicadas como seres orgânicos poderiam se formar, mesmo sem actividades de sensibilização, puramente pelas leis da mecânica. É necessário que uma seleção ocorra: aquela que destrói coisas que são construídas inadequadamente e que propagam as mais apropriadamente dispostas. De acordo com a teoria de Darwin, isso é realizado na luta dos seres pela existência. Se a variação fosse sempre deixada ao acaso, então, à medida que as coisas se tornassem mais complicadas, as variações apropriadas seriam extremamente improváveis, e as variações inconvenientes ocorreriam em tão grande quantidade que uma próxima geração não seria mais provável. Vou tentar explicar isso através de exemplos.

Este teorema do cálculo de probabilidades, que é provado pelo princípio da probabilidade, também se aplica aos seres vivos. Se cada criatura fosse deixada se reproduzir um com o outro, puramente ao acaso, a probabilidade de o produto ser ruim seria grande; uma melhoria duradoura não seria esperada. Teria que ser feito desta maneira: dois muito bons teriam que ser combinados um com o outro. Isso possibilita uma melhoria duradoura. Nós fomos levados por razões puramente prováveis que em seres perfeitos somente através da procriação sexual uma melhoria constante seria possível. Naturalmente, como a melhoria seria exigida que todos aspirassem acasalar-se com seres tão perfeitos quanto possível. Essa perfeição não pode ser baseada em insight direto, deve ser baseada na aparência de perfeição. A aparência da perfeição é chamada de beleza. Ao juntar cada indivíduo com outros indivíduos bonitos, a natureza alcança seu propósito. Ainda assim, essa é a explicação do amor da conta da probabilidade.



O amor não é um processo natural, como o arco-íris ou a queda do corpo, que deve ser explicado por princípios puramente mecânicos. A maior perfeição tem uma explicação quando prediz uma descoberta que não se sabia. Esta perfeição se aproxima, se eles não sabiam que a descoberta estava presente, quando prevê a partir dos princípios ensinados. Eu gostaria de explicar o caso: se alguém conhecia a teoria darwiniana, que o Príncipe conhecia e a executava, *a priori*, tinha que concluir que isso deveria levar à reprodução sexual.

Eu quero mencionar outra coisa. Ainda há uma objeção a ser corrigida na declaração de probabilidades. Depende aqui do estado inicial; os estados iniciais devem ser muito improváveis; então o estado posterior se tornou provável. Se em um determinado momento todos os movimentos das moléculas estão invertidos, se todos os estados do universo fossem representados em ordem oposta, todos os estados seriam invertidos. Mais uma vez, considerou-se um grande arremesso que assim como muitos começos seriam reviravoltas para inverter a ordem. Isso é depois não está certo na minha opinião. Os pensamentos seriam invertidos, seria o futuro passado e vice-versa. A probabilidade do desvio do estado do mais provável pode ser expressa por uma curva. Essa curva seria estranha porque pertence a essas curvas que não têm tangente. É a condição mais provável; o desvio do mais provável é muito pequeno. A curva não pode ser mostrada para ter uma tangente em qualquer ponto.

Deve ser assumido que o estado inicial do mundo era mais estável, onde os estados mudam do estado provável para o improvável e, portanto, a entropia cai ao máximo. Se você quer desistir da unilateralidade do tempo, então você pode criar os ideais que vêm com você ter algo para pensar mais. Se consideramos o mundo enormemente grande, há locais arbitrariamente grandes, longe do provável; estes possuirão o estado improvável, e uma certa direção do tempo será observável. Se ficarmos em tais locais, vamos ficar com a impressão de que o tempo passa por um lado, e que o mundo vai de improvável para provável. Isso não se aplica ao mundo inteiro como tal, mas ao local em que nos encontramos.

Outro local estará no estado de probabilidade. Pode ser no mesmo estado, ou exatamente o inverso, que passe para o improvável. Isso seria um local extraordinário em um mundo grande o suficiente. Se alguém estivesse em tal lugar, não teria a impressão de que o tempo está indo ao contrário, porque os fenômenos lógicos ocorreriam no mesmo sentido.

Assim, você teria exatamente a mesma impressão e não conseguiria distinguir entre os ramos ascendente e descendente. O mundo poderia se dirigir para partes completamente

diferentes, os seres pensantes poderiam começar a funcionar mal. Podemos julgar o tempo absoluto não apenas pela impressão e pelo que chamamos de passado. Seria um erro ter o tempo como unilateralidade, e o tempo seria o mesmo em uma direção ou outra. Suponho que tal ordem logo se tornaria um único sentido, e agora, no outro, seria um lugar onde o tempo é unilateral. Claro que você pode pensar em um mundo de eventos como quiser. Certamente não tem significado prático. Ele brota da raiz que está na alma, um anseio por processos metafísicos, um tal tormento sobre os limites do que se reconhece diferentemente. Inclinado por tal conceito de evolução temporal, quero concluir minha palestra.

### Conclusão

Em primeiro lugar, quero salientar: usei expressões nas quais é preciso ser extraordinariamente cuidadoso. Deve-se demarcar o princípio matematicamente de antemão que quando se aplica ... [lacuna no manuscrito] que a probabilidade ocorre na natureza, que a palavra probabilidade é aplicada corretamente, quando é assumido duas coisas como prováveis, então o conceito resultado devera ser excluído. Não há ciência absolutamente precisa. Se alguém não tem certezas em sua área de aplicação, então é tão preciso quanto qualquer outra ciência matemática.

Eu não quero declarar o fato de que, por algum acaso, os mais perfeitos continuam a existir e os imperfeitos perecem. É um fato que ocorre a partir de relações mútuas da natureza. Por que dois têm que acasalar, isso tem algo da relação entre eles mesmos. Uma marcha, que seja explicada pelos dois, se desenvolveu historicamente gradualmente. Por exemplo, nossos dois olhos surgiram de olhos, que animais tinham, que negligenciavam toda uma esfera visível. Nos humanos, eles se voltaram em uma direção que permitiu medir as grandes distâncias. Não me ocorre que eu poderia ou iria explicar isso por princípios. Mas notei que, a partir dos princípios da probabilidade, a reprodução sexual tem maiores vantagens em relação à geração direta.