

ritical Investigation on Helmholtz's Scientific and Philosophical Ide



H. v. Helmholtz

亥姆霍兹

科学哲学思想的历史考察

李东升 / 著

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



H. v. Helmholtz

亥姆霍兹

科学哲学思想的历史考察

Historical Investigation on Helmholtz's Scientific and Philosophical Ideas

李东升 / 著

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

摘 要

亥姆霍兹是德国 19 世纪后半叶最伟大的科学家之一，与同时代的大多数德国科学家一样，他也是一位善于严密哲学思考的科学家。由于个人天赋、时代环境和科学发展状况等方面的原因，他先后在生理学、心理学、几何学和物理学等诸多领域做过重要研究，并且在哲学领域发表过一些独创性见解，因而他的思想支脉芜杂，把握起来相当困难。

亥姆霍兹的哲学思想在其科学生涯前后时期发生了明显的变化，经历了从早期拥护康德的认识论和形而上学到逐步走向经验主义而强烈反对形而上学的变化过程。他最初受到康德的影响把物质和力视为本体论意义上的实体，并且认为它们能够从形而上学上被加以证明。后来，在法拉第等英国物理学家和其他因素的影响下，他逐渐踏上了反形而上学的道路并发展出一种经验主义认识论。此外，亥姆霍兹部分接受了费希特行动哲学的观点，这为他重视实验进而形成实验互动理论的科学方法论提供了一个思想来源。

亥姆霍兹的哲学思想之转变与他的科学研究是相互关联的。观其一生，他的职业生涯可以概括为三次学术斗争，从早期的活力论与机械论之争转到先验论与经验论之争，再到后期在电动力学研究中提倡用实验方法反对“浪漫主义”形而上学的残余。本书从反活力论、反先验论和反浪漫主义三个方面分析了亥姆霍兹的哲学思想与其科学思想、从事科学研究的动机以及研究领域选择之间的关系。在反活力论方面，他选择肌肉和神经生理学作为研究的突破口，强有力地反击了活力论观点，从而进一步确立了生理学研究的物理学和化学基础并且最终得到了著名的能量守恒定律和神经冲动的传播速度；在反先验论方面，亥姆霍兹反驳了当时在生理光学和非欧

几何学领域中长期处于主导地位的先验立场，并发展出一套基于经验主义的视觉理论和非欧几何公理化思想；在反浪漫主义方面，他从生理学转到物理学领域并把其一贯采用的实验方法引入到电动力学研究当中，强烈反抗韦伯等人的超距作用理论而力举麦克斯韦的电磁场理论，这与他的反浪漫主义思想有着不可忽略的关系。

由这些分析可以看出，亥姆霍兹的哲学思想与科学思想是紧密联系在一起的。其哲学思考指导了他的具体科学研究工作，而科学研究的成果进一步完善和深化了他的哲学思想，正是在这样一个动态过程中，亥姆霍兹的科学生涯在时间和空间上不断地向前推进。因此，要想深入理解亥姆霍兹的科学工作，就应当了解其哲学思想的变迁，反之，他的哲学思想也时时刻刻影响着他的科学工作。就此而言，亥姆霍兹是一位名副其实的“哲人科学家”。

关键词：亥姆霍兹；哲学思想；科学思想；反活力论；反先验论；反浪漫主义

ABSTRACT

Hermann vonHelmholtz was one of the greatest scientists in the second part of the nineteenth century, and just as most of his contemporary scientists, he was also a scientist expert in rigorous philosophical reflections. For some reasons, such as his talents, the environment at that time and the state of science development, Helmholtz has contributed to physiology, psychology, geometry and physics successively, and presented some original ideas in philosophy. So his thoughts are ramified and very complicated, which are fairly difficult to grasp.

The philosophical thoughts of Helmholtz changed greatly from the first half to the second half of his academic career, from supporting Kant's epistemology and metaphysics to taking empiristic position. At first, under the influence of Kant, Helmholtz proposed that matter and force were ontological entities and could be justified metaphysically. However, affected by Faraday and other English physicists, he gradually took up an attitude of anti - metaphysics and developed an empiristic epistemology. Moreover, Helmholtz accepted some ideas of Fichte's philosophy of action, and this became a source of his scientific methodology, i. e. the theory of experimental interactionism.

The changes in Helmholtz's philosophical thoughts were correlated with his scientific studies. During his scientific career, Helmholtz was involved in three main academic battles: the first was the battle between vitalism and mechanism, the second between nativism and empiricism, and the last aimed at eliminating the remnants of romanticistic metaphysics with experimental methods. From these three aspects, this book analyzes the

relationship between Helmholtz' s philosophical thoughts and scientific ideas, his motive for doing scientific research and his choice of research fields. To retort the vitalistic viewpoint convincingly, Helmholtz studied physiology of muscle and nerve, established experimental physiology on the basis of physics and chemistry, attained the famous law of energy conservation and measured the velocity of transmission of the nerve impulse. To challenge the a priori viewpoints, Helmholtz refuted the a priori position dominant in physiological optics and geometry, and developed a set of theories of vision. His ideas of the axiomization of non - Euclidean geometry are also based on empiricism. To refuse the romanticism, Helmholtz diverted from physiology to physics and introduced the experimental method into the studies of electrodynamics, especially his way of resisting Weberian theory of action at a distance in support of Maxwell' s field theory of electromagnetism. So there may be some kind of intrinsic relations between Helmholtz' s electrodynamics research and his anti - romanticistic thoughts.

Basing on the above analyses, thisbook suggests that Helmholtz' s philosophical thoughts are closely correlated with his scientific ideas. Philosophical considerations directed his scientific researches and the scientific achievements furthered his philosophical ideas. Helmholtz' s scientific career was characteristic of such a dynamic process. In order to better understand Helmholtz' s scientific researches, one needs to get some ideas of the changes of his philosophical thoughts. Conversely, his philosophical thoughts always influenced his scientific research. From this view, Helmholtz is a genuine "Philosopher - Scientist" .

KEY WORDS: Helmholtz; philosophical thoughts; scientific ideas; anti - vitalism; anti - nativism; anti - romanticism

目 录

导 论	1
第一节 问题的提出及研究的目的和意义	1
第二节 文献综述	6
一、关于 18 世纪和 19 世纪初德国科学的研究	6
二、国内外对亥姆霍兹的研究情况	9
第三节 关于亥姆霍兹重要科学论文、演讲和信件的 研究情况	21
第四节 研究内容和研究视角	24
第一章 亥姆霍兹的哲学思想分析	28
第一节 亥姆霍兹的早期哲学思想：物质和力的形而上学	28
第二节 亥姆霍兹的认识论转变：从康德的认识论转向 经验论	34
一、实验互动理论与费希特哲学的关系	34
二、符号理论与无意识推理	39
三、经验主义认识论	43
第三节 亥姆霍兹的成熟时期的哲学思想：自然规律的 客观性	49
第二章 反活力论与能量守恒定律的建立	55
第一节 19 世纪 40 年代以前对生命现象的解释	55
一、活力论与机械论	56
二、对活力论的批判	58
第二节 亥姆霍兹对活力论的拒绝	65
一、发酵与腐败的本质	66

二、动物热的来源	73
三、永久运动问题与两种力学传统	88
第三节 《论力的守恒》与能量守恒定律的确立	92
第四节 能量守恒思想的意义	100
第三章 反活力论与神经冲动速度的测量	103
第一节 心身关系问题和 19 世纪中叶以前的神经冲动 研究	103
一、心身平行论与心身交感论	104
二、神经冲动的电特性	106
三、神经冲动速度的早期认识	109
第二节 图示法与神经冲动速度的测量	111
一、肌肉收缩的时间记录和图示法的发现	111
二、精密测量与神经冲动的传播速度	119
第三节 误差分析的发展及其作用	127
第四节 神经冲动研究的意义及其后续研究	134
一、神经冲动研究的意义	135
二、神经冲动的后续研究	138
第四章 反先验论与经验主义视觉理论	142
第一节 眼睛的折光学和色觉理论	142
一、眼睛是一种光学仪器	143
二、神经特殊能学说与色觉理论	147
第二节 1838—1862 年的视觉研究	153
一、缪勒的网膜对应点学说	154
二、惠斯通与立视镜的发明	156
三、视觉是一个心理过程	159
第三节 视觉先验论与经验论之争	165
一、争论领域：双眼单视、眼动研究和深度视觉	166
二、黑林对网膜对应点学说的发展	171
第四节 符号理论与经验主义视觉理论	174
一、亥姆霍兹对神经特殊能学说的发展	174

二、局部符号与经验主义视觉理论	178
第五章 反先验论与亥姆霍兹的非欧几何公理化思想	184
第一节 空间知觉研究中的先验论与经验论之争	184
第二节 亥姆霍兹进入几何学领域	190
第三节 亥姆霍兹和黎曼几何思想的比较	194
第四节 亥姆霍兹对非欧几何的经验主义辩护	201
第六章 反浪漫主义与亥姆霍兹的电动力学研究	214
第一节 亥姆霍兹走向电动力学研究的思想基础	214
一、能量守恒定律	215
二、电生理学研究	216
三、流体力学	217
第二节 1870 年以前电动力学的发展情况	218
一、弗兰兹·诺伊曼的电动力学	218
二、威廉·韦伯的电动力学	220
三、麦克斯韦电磁场理论	223
第三节 亥姆霍兹—克劳修斯之争与韦伯理论的困难	225
一、亥姆霍兹—克劳修斯之争	225
二、韦伯理论的困难	230
第四节 反浪漫主义与亥姆霍兹的电动力学研究	231
一、亥姆霍兹的反浪漫主义思想	232
二、亥姆霍兹的电动力学理论	243
结语	251
附录：亥姆霍兹年表	254
参考文献	265
人名索引	277
致谢	283

导 论

第一节 问题的提出及研究的目的和意义

亥姆霍兹 (Hermann von Helmholtz, 1821—1894) 是德国 19 世纪伟大的科学家, 被誉为“科学的帝国宰相”, ^{〔1〕, 1093-1128} 更被称为德国科学的化身。他是一位兴趣十分广泛的全才, 其研究领域涵盖当时几乎所有学科。在《科学传记辞典》(Dictionary of Scientific Biography) 中, “亥姆霍兹”词条的撰写者用了长达十几页的篇幅分别从能量学、生理声学、生理光学、认识论、流体力学和电动力学六个方面概括了亥姆霍兹一生主要的研究工作。即便如此, 还是没有提到他在非欧几何学中的工作, 而这一工作对后来该领域的发展具有重要影响。此外, 他在气象学、美学、音乐和艺术等方面也有不俗成就。

在任何学术领域内要充分理解一个伟人的工作, 这在很大程度上取决于对他之前时代主要思想倾向的正确认识。也就是说, 要从他的而不是我们的立场去考察当时激发人们思考的一些问题, 从而揭示其思想发展的路线。只有这样, 我们才可以公正评价时代环境对伟人成长的影响, 评价同时代人的思想在塑造他的个性和把他引向某个方向中所起到的作用, 还可以评价他对周围环境的影响以及他对人类知识所作的贡献。^{〔2〕, 18} 对于科学家的研究必须采取这种方式, 因而在准确评价科学伟人及其完成的工作之前, 必须研究其教育状况、科学研究的条件以及当时流行的科学和哲学观点等因素。通常会得到这样的结论: 这个伟人生逢其时。其实, 科学史上有很多精神上处于相对平静的时期, 许多人都在忙于积累事实, 但并没有什么惊人的发现和一些可以用新的眼光处理这些事实的广泛结论。

尽管这样的时期不利于科学伟人的涌现, 但它仍然存在着可能

提出一些重大问题的思想暗流。因为某个孤独的思想家可能正在对一些重大问题进行冥思苦想，也许他的思想尚不明晰或仍不为人所知，然而他却在不知不觉中为那些后来的天才们最终揭示真理创造了条件。所以，通常只有很少一些人才会享有作出全新发现的荣誉。一个时代的领路人通常拥有新的观点和新的看待事物的方式，哥白尼（Nicolaus Copernicus, 1473—1543）、伽利略（Galileo Galilei, 1564—1642）、牛顿（Isaac Newton, 1642—1727）、达尔文（Charles Robert Darwin, 1809—1882）等人就是其中的杰出代表。显然，就这些科学家个人而言，他们毫无疑问是伟大的。但是，在评价他们的工作时，我们必须记住这样一个事实，即他们不仅具有很高的天赋，而且也是时代的幸运儿。他们在最恰当的时候来到这个世界并且为当时科学的发展付出艰辛努力，从而为之增添了新的动力。

亥姆霍兹就是这样一个在科学史上生逢其时的幸运儿。因此，要理解他对当时科学作出的诸多贡献，我们一方面必须承认他的卓越天赋，另一方面也要承认那个时代为他的全面发展提供的有利条件。19世纪三四十年代是德国自然哲学日渐衰落、精密科学日趋兴起的时期，也是科学的大过渡时期。^{〔3〕,56-76〕}亥姆霍兹的年轻时代正是在这样的社会背景中度过的。由于负担不起大学教育的费用，他不得不放弃直接从事所热爱的物理学的想法，而进入政府财政支持的医学学校接受教育，这段经历对亥姆霍兹日后的研究产生了重要影响。在回忆这段经历时，他说：“对于我的成功来说，除了拥有几何学和物理学知识以外，在很大程度上要归之于我有幸进入医学界，并在生理学中发现了一块多产的处女地。”^{〔4〕,310〕}正是在医学领域，亥姆霍兹学到了关于解剖学和精密解剖学观察的基本原理，也正是在这个领域他接触到那个时代的一些医学理论，并且发现这些理论中的一些不能令人满意的地方。在柏林，缪勒^①（Johannes Peter

① 德国生理学家和比较解剖学家，1833年受聘于柏林大学任解剖学和生理学教授，成为当时生理学界的最高权威。施旺、雷蒙德、布吕克、路德维希、亥姆霍兹和海克尔等人都曾做过他的学生或助手。

Mueller, 1801—1858) 把他带入到生理学领域, 使他对认识论和神经生理学产生了终生的兴趣。在生理学研究, 亥姆霍兹非常关注感觉器官的作用, 尤其是眼和耳, 并把数学和实验方法引进自己的研究当中。亥姆霍兹在生理学方面的研究成果最终体现在《生理光学手册》和《音调的感觉》这两部著作当中, 它们成为后来人们研究和发展这两个领域的重要历史参考文献。

1847 年, 亥姆霍兹发表了他的重要论文《论力的守恒》(Ueber die Erhaltung der Kraft, 下文中简称为《守恒》)。这篇论文被认为是一项具有纲领性意义的工作, 对生理学和物理学, 尤其是后者, 有着极其重要的意义。就生理学而言, 它提出了关于有机自然的一个根本性说明, 使得此后的生理学家可以像物理学家和化学家一样能够使用相同的质量守恒和能量守恒定律。而对于物理学, 它成为热力学的基础并为接下来半个世纪的物理学发展指明了方向。科学史家克隆比 (A. C. Crombie) 曾说道: “它 (指《守恒》) 的意义以及它提出的问题统治了从法拉第和麦克斯韦的电磁学研究到 1900 年普朗克引入量子理论这段时间的物理学。”^①然而, 《守恒》一文只是他在物理学领域的贡献之一。1871 年, 当他离开海德堡大学到柏林大学就任物理学教授一职时, 他的兴趣完全转向了物理学并在此领域做了大量的工作。特别是, 由于他的坚持, 欧洲大陆的物理学家们最终接受了麦克斯韦 (J. C. Maxwell, 1831—1879) 的电磁场理论而抛弃了韦伯 (Wilhelm Eduard Weber, 1804—1891) 的超距作用理论, 当时欧洲大陆电动力学被超距作用理论完全统治的格局才得以改变。

亥姆霍兹相信整个自然界都受到一些基本定律和原理的支配。他一生都在追求隐藏在各种自然现象背后的那些统一的基本原理, 其职业生涯开始于一个统一的理论即能量守恒原理, 而结束于另一个统一的理论即最小作用量原理。在其学术生涯的最后十年里, 亥

① 转引自 Subodh Mahanti. Hermann von Helmholtz: One of the Most Versatile Nineteenth Century Scientists.

姆霍兹试图利用最小作用量原理把包括力学在内的所有物理学分支都统一起来，尽管这种尝试最终被证明是不成功的。

在物理学和生理学领域，亥姆霍兹做出了很多开创性的研究，这在某种意义上源于他对自然界进行的一种缜密的哲学思考。一方面，亥姆霍兹受到康德（Immanuel Kant，1724—1804）哲学的影响很大。在他看来，科学是根据力和物质这两个抽象概念看待世界的，科学的最终目标是把现象追溯到那些与因果律相一致的基本原因，而这种基本原因就是一些不变的力，即引力和斥力。因此，只有把现象还原成基本原因的解釋才是一种我们可以赋予它“客观真理”地位的解釋。显然，这些与康德的形而上学的影响有关。此外，康德的认识论主张对知识的来源及其限制条件进行考察，这促使亥姆霍兹进入了感官生理学的研究领域。另一方面，亥姆霍兹受到英国经验主义的影响甚大，后者关于知识来源于经验的断言更是被他推崇。在某种程度上说，亥姆霍兹的所有工作，尤其是感官生理学方面的工作，都具有明显的经验主义倾向。^①虽然其思想中混有形而上学实在论的成分，但是在科学研究中亥姆霍兹坚决反对先验论的立场和方法，并与这一观点的持有者进行了长达十几年的争论。概而言之，一切自然现象都遵循着一定的科学规律，并且洞悉这些规律的唯一方法是经验主义，这是亥姆霍兹始终坚守的两个基本观念，也可以看作他的两条重要的哲学信念。

由于亥姆霍兹的研究所涉及的领域非常广泛，所以很多领域都可以从对他的研究中得到一些有价值的东西。近年来，对亥姆霍兹的研究越来越多并且也越来越深入，有的重在对他的重要论文的深入剖析，有的着力于综合研究他在某个领域的工作，有的则关注他的研究工作与当时的社会背景之间的联系。尤其在一些周年纪念论文中，很多作者把亥姆霍兹的研究与现在很多学科的发展关联起来

^① 缪勒对实验方法和经验证据的重视也对亥姆霍兹后来坚持经验主义立场产生了重要影响。

进行考察，得出了一些很有价值的结论。比如，克拉姆^{〔5〕,25-43)} (Bernhard Kramer) 指出现代物理学在很多方面与亥姆霍兹有着密切联系，其中重要一点就是他提倡并积极采用的“精密测量技术”提供了有关物理学结构的一些新的洞见。

尽管现有关于亥姆霍兹的研究已有不少，也有一些可供参考的分析结论，但还是有很多有待进一步研究的方面。首先，虽然有些作者曾提到过亥姆霍兹是一位在很少几条基本观念指导下工作的多方面的天才，但至今还没有一项研究对此处所谓的“很少几个基本观念”进行过系统的梳理和总结，阐述他是如何根据这几个基本观念在一些主要领域中进行研究的。其次，现有的一些研究已经注意到亥姆霍兹的反活力论、反先验论和反形而上学的思想倾向在其科学研究中的重要影响，但具体到某个领域或联系几个领域进行全面考察的研究还尚有欠缺。再者，很多研究者已经看到亥姆霍兹在其职业生涯的前后时期思想上发生的根本变化，即从形而上学实在论的支持者转变成一个经验论者。然而，事实上亥姆霍兹从其学术生涯的一开始就表现出对经验主义立场的支持，因此简单地从形而上学实在论者向经验论者的转变来理解亥姆霍兹有所不足。

基于以上几个方面的考虑，本项研究试图通过对亥姆霍兹的一些具体科学工作进行深入细致的分析和考察，论述其哲学思想与科学工作之间的相互关系，阐明他的哲学思想与科学思想如何在时间和空间上实现互动进而完成提升，以此勾勒出他规划和发展其科学研究工作的路径。这样不仅可以弥补上述提到的现有研究的不足，也可以对研究其他科学家的类似工作提供借鉴。此外，这一研究还可以加深对统治 19 世纪物理学的力学自然观的理解，对这一时期德国科学的发展状况，对精密科学在德国大学中的确立过程，对科学与哲学、科学与文化的关系，以及对公共知识与个人知识的相互转化过程的理解是非常有益的。同时，它对进一步推进国内关于亥姆霍兹的研究也有重要的理论和现实意义。

第二节 文献综述

对伟大科学家的关注和研究，一直是科学史的重要内容之一。亥姆霍兹作为 19 世纪后半叶德国最重要的科学家理应成为科学史研究予以关注的对象，然而，科学史界对他的研究却总是处于不冷不热的状态，这显然与他取得的众多科学成就形成了鲜明对比。其中的原因也许正如亥姆霍兹的著名研究专家卡亨（David Cah-an）^{〔6〕2-4〕}所指出的，一是亥姆霍兹的研究领域过于广泛；二是他在一些主要领域的兴趣是很短暂的。不过，近年来，随着人们对亥姆霍兹认识的深入，国内外相关的研究也渐渐增多，研究成果也日渐丰富，现有关于亥姆霍兹的研究主要集中在生理学、物理学、哲学和一些综合性的研究方面。

一、关于 18 世纪和 19 世纪初德国科学的研究

一般认为，时至 18 世纪和 19 世纪初期，德国科学几乎没有什么发展。^{〔7〕}在这一时期，科学还没有完全在德国大学里落脚，精密科学尚未在大学中得到系统地讲授。英国历史学家梅尔茨（John Theodore Merz, 1840—1922）在《十九世纪欧洲思想史》中对此有这样一段评论。他说到，由法兰西科学院大规模地进行的那些纯科学研究之所以得到公认，成为德国大学教学大纲的一个不可分割的部分，乃是本世纪（即 19 世纪）初的事。在本世纪前 40 年里，不断听到人们抱怨说，有些最重要的科学没有得到应有的表现。^{〔8〕149〕}

就当时科学的发展状况而言，肯德里克（John Gray M' Kendrick）认为，在化学中，燃素理论^①把人们引向错误的方向近一个世纪。而物理科学中的问题仍然依靠先验的方法来研究，而且谢林

① 燃素说是形成于 17 世纪末、18 世纪初的一个用于解释燃烧现象甚至整个化学的学说。

(Friedrich Wilhelm Schelling, 1775—1854) 和黑格尔 (Georg Wilhelm Friedrich Hegel, 1770—1831) 的思辨哲学不赞成任何以事实研究为基础的方法。虽然已经获得了一些重要的科学成果,但是由于物理学家之间没有合作、没有致力于其中的共同目标,因而物理学的发展非常缓慢。^{〔12〕}^{〔20〕}同样,这个时期的生理学还没有成为一门建立在观察和实验基础之上的科学,它仍然是解剖学的“婢女”并且受到一种形而上学的“活力”观念的支配。这种观念极大阻碍了研究者考察许多处于与无机界中起作用的相同的力的作用之下的生理学现象,而且关于活力作用取决于生命组织中的分子变化和化学变化的观念还没有被普遍接受。

然而在邻近的法国,科学的发展却呈现出另一番景象。与德国的这种停滞不前的状态不同,法国科学的各个领域在这一时期都得到了极大的发展,思想上的动荡局面导致了一种几乎普遍的怀疑主义。曾经有一段时期,人们甚至对哲学体系和伦理体系的方法以及由此得到的结论失去了信任,而逐渐转向思考物理学和化学问题。于是,出现了库仑 (Charles - Augustin de Coulomb, 1736—1806)、拉瓦锡 (Antoine Laurent Lavoisier, 1743—1794)、拉普拉斯 (Pierre Simon Laplace, 1749—1827) 等人,并因此使法国成为世界科学研究中的领导者,特别是在物理学和化学领域里更是如此。实际上,这些情况并非没有对德国产生影响。许多年轻的德国科学家,比如亚历山大·洪堡 (Alexander von Humboldt, 1769—1858)、米彻利希 (E. E. Mitscherlich, 1794—1863) 和李比希 (Justus von Liebig, 1803—1873),都曾在巴黎接受过教育和训练并且吸收了法国学者的科学精神。当这些人回到他们的祖国后,他们就很快占据了很多德国大学里的一些有影响的职位。由于德国的大学分散在各个州,所以像法国那样集中的科学活动也逐渐地出现在德国。根据韦德曼^① (Gustav Heinrich Wiedemann, 1826—1899) 所言,那时候在柯尼斯

① 德国物理学家,1844年进入柏林大学学习并与亥姆霍兹相识,1877年接替波根道夫任《物理学与化学年鉴》杂志的主编。

堡出现了一个重要的数学物理学学派^①，并且最终主要由于米彻利希的声望和影响在柏林形成了一个像巴黎那样的科学中心。^{〔2〕.22)}

米彻利希、李比希、欧姆 (Georg Simon Ohm, 1787—1854)、弗兰兹·诺伊曼 (Franz E. Neumann, 1798—1895) 和威廉·韦伯是德国科学启蒙阶段的早期代表人物。很快，柏林的波根道夫 (J. C. Poggendorff, 1796—1877)、多佛^② (H. W. Dove, 1803—1879) 和马格努斯 (Gustav Magnus, 1802—1870) 等人也加入到这些人当中，从而形成了 19 世纪初德国科学发展中的一支中坚力量。以马格努斯为例，他是柏林物理学派的奠基人，后来成为一名非常著名的教师和实验工作者，他通过教学和言传身教为他的那些年轻而又富有才华的学生们树立了榜样。这些物理学家反对那些统治德国思想很长时间的形而上学学派，而且他们几乎走到了其反面，也就是说只提倡经验和实验。甚至有一段时间他们认为搜集事实是物理研究的首要目标，而理论则被置于背景之中。马格努斯就是这种观点的持有者，他经常告诉他的学生不要太投入到数学中，并且他把实验物理学和数学物理学看成是两个独立的分支。柏林学派通过这种方式为理论观点确立了牢固的事实基础，这也明显地与那些作为形而上学之结果的观念区分了开来。^③ 经验主义的物理学研究方法有一种片面的倾向，而且在沉湎于这种方法一段时间之后，接下来几乎总是一个关于这一主题的更为一般的论述。这在马格努斯的学生中非常普遍。最初他们对发现事实非常热情，后来每一个人都忙于理论观点的思考，显然这个时候他们的研究已经超出了实验科学的范围。

① 在德国，数学物理学方法最早出现在柯尼斯堡大学和哥廷根大学，前者主要以雅可比和诺伊曼为代表，后者主要由高斯和威廉·韦伯所开创。

② 19 世纪德国气象学领域的统治性人物，研究过哲学、历史和自然科学，曾在柏林大学等学校教授物理学课程。

③ 克劳修斯是马格努斯的学生，他的热力学工作是这种说明的很好例证。另外，亥姆霍兹和迈尔的著作也是很好的例子，前者从实验中发展出来，而后者是一种更具形而上学意义的研究方法。