

EPR
EPR
EPR

爱因斯坦学术思想 与EPR问题

黄政新 著



今日中国出版社

爱因斯坦学术思想与 EPR 问题

黄政新 著

今日中国出版社
一九九七年

<京>新登字 132 号

图书在版编目(CIP)数据

爱因斯坦学术思想与 EPR 问题/黄政新著. —北京:今日
中国出版社, 1997. 12

ISBN 7—5072—0906—7

I. 爱… II. 黄… III. 狭义相对论—研究 IV. D412.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 27507 号

爱因斯坦学术思想与 EPR 问题

*

今日中国出版社出版

(北京百万庄路 24 号 邮编 100037)

新华书店经销

外文印刷厂印刷

1997 年 12 月第一版 1997 年 12 月第一次印刷

850×1168mm 32 开本 150 千字 7 印张

印数:1—1000

ISBN 7—5072—0906—7/G·178

定价:14.80 元

在我们这一时代的物理学史中,爱因斯坦的地位将在最前列。他现在是并且将来也还是人类宇宙中有头等光辉的一颗巨星……按我的意见,他也许比牛顿更伟大一些,因为他对于科学的贡献更深入到人类思想基本概念的结构中。

——郎之万

量子力学的哲学问题已经吵了五十多年了,还没有解决,近来验证了贝尔(Bell)不等式,问题更严重了。我认为我们中国的物理学家和哲学家应该投入这一研究,并比较满意地解决它,也在此过程中发展马克思主义哲学。

——钱学森

《中国教育报》1991年10月27日

前 言

狭义相对论和量子力学是本世纪理论物理学的两大支柱。然而,本世纪最伟大的两位物理学家爱因斯坦(A. Einstein, 1879 - 1955)和玻尔(N. Bohr, 1885 - 1962)对量子力学的理解却十分不同,并由此导致了著名的爱因斯坦—玻尔论争。爱因斯坦更多地是从狭义相对论的立场和观点来批评量子力学;而玻尔则更多地是捍卫量子力学的自洽性。1935年,爱因斯坦同 Podolsky 和 Rosen(缩写为 EPR)联合发表论文,指出量子力学允许神秘的 EPR 关联存在,这是违反狭义相对论观点的;EPR 不相信这种神秘的关联,因而断言量子力学是不完备的。EPR 论文的发表把爱因斯坦—玻尔论争推向高峰。

然而,这场论争并没有随着两位大师的先后故去而停止。1972—1982年,对贝尔(J. S. Bell, 1928 - 1990)不等式检验的实验(称 EPR 实验)已完成了十二个,几乎一致地支持贝尔定理的断言:没有任何决定论的定域隐变量理论能够重现量子力学的全部统计预言。八十年代中期以来,有关 EPR 问题的理论和实验两方面的研究均有不少的进展。例如,在实验方面,已完成的好多个新实验采用一种称为光学参量下变频(optical parametric down-conversion, 缩写为 OPDC)的技术来产生关联光子对,从而对贝尔不等式进行新的检验,虽然采用的技术不一样,但同 1982 年以前完成的实验一致的是,实验结果同量子力学的预言相符合,而以好几个标准偏差违反贝尔不等式。EPR 问题不仅涉及爱因斯坦、玻尔及其他著名学者的学术思想,涉及狭义相对论和量子力学两大理论的关系,同时也涉及理论物理、实验物理和哲学的许多重大问题。可以说,EPR 问题是个世界级的大难题、是个跨世纪的大难题。当然,由此我们也能意识到它的价值

之所在。多年来,美国、法国、英国、意大利、加拿大、俄国等国家的一大批学者对 EPR 问题长期进行了不懈的探索,取得了不少重大进展。从新近的文献看,德国、日本、荷兰、比利时、奥地利、澳大利亚、葡萄牙、印度、以色列、西班牙、新西兰、瑞士、挪威、捷克、巴西、阿根廷、韩国、斯洛伐克、希腊、波兰等国的一些学者也纷纷介入这一领域的研究。毫无疑问,富有挑战性、刺激性的 EPR 问题已成为国家间竞争的大课题了。

几年前,我国著名科学家钱学森曾指出:“量子力学的哲学问题已经吵了五十多年了,还没有解决,近来验证了贝尔(Bell)不等式,问题更严重了。我认为我们中国的物理学家和哲学家应该投入这一研究,并比较满意地解决它,也在此过程中发展马克思主义哲学。”(《中国教育报》,1991年10月27日,第二版)从八十年代初到九十年代初,我国几位物理学工作者和哲学工作者在几家刊物上发表论文或译文,对 EPR 问题及其进展作了介绍、评述,提出了自己的观点;董光璧和田昆玉合作于1988年出版了《EPR 关联之谜》一书(7.8万字,侧重历史发展方面);也有个别人(如首都师大耿天明等)在国外刊物发表研究成果。总的说来,我国学者对 EPR 问题的研究,无论从理论物理、实验物理还是哲学方面讲,都缺少长期的、深入的和系统的研究,都同国外有很大的差距。

本书作者研究生毕业(82年)后不久即有机会聆听我国老一辈物理学家、复旦大学卢鹤绂先生有关 EPR 问题的学术报告(83年10月,南宁),随后,也从罗嘉昌、苏汝铿、陆埏、董光璧和洪定国等先生先后发表的论文中获得有益的启示和影响,并从八十年代中期开始认真思考 EPR 问题,给自己定下一个研究主题:运用爱因斯坦的学术思想(包括物理思想、科学方法和哲学认识论等)来研究 EPR 问题,以及为解决 EPR 问题提供一种源

于爱因斯坦的思想方法。

这一研究主题的确立同如下认识互为因果：

爱因斯坦物理学研究的最大特点是追求物理学的统一基础。狭义相对论和广义相对论的建立就是这种追求的体现，爱因斯坦也在建立相对论的过程中形成了一种被称为修改普遍的理论基础的方法，以及与之相应的哲学认识论。爱因斯坦要求量子力学也应奠定在相对论场论基础上，否则物理学基础就是分裂的、就没有一个统一的基础。EPR 佯谬不是孤立的和局部的物理问题，而是涉及到当代整个物理学基础的根本问题。EPR 佯谬的实质在于爱因斯坦定域性，这是量子力学同狭义相对论冲突的焦点，尽管爱因斯坦有其失误之处，但他是站在物理学统一基础这个高度上来看待狭义相对论和量子力学的关系，以及断言量子力学是不完备的（实际上已构成 EPR 佯谬）。对于贝尔定理和已完成的 EPR 实验，无论给予多大的评价都不过分，但从另一角度看，它们又只不过是一次又一次地佐证了爱因斯坦的一个根本观点：量子力学同狭义相对论是尖锐冲突的，在物理学基础上是分裂的。令人惊奇的是，量子力学和狭义相对论之间的冲突及其导致的 EPR 实验结果，同电磁学和牛顿力学之间的冲突及其导致的迈克耳孙—莫雷实验结果比较，这两段历史有许多相似之处。那么，量子力学和狭义相对论是否应在一种新的理论体系中加以统一呢？如果是肯定的话，那么，狭义相对论的建立是否可作为一个“案例”，能对今后建立这种新的理论体系提供有益的启迪呢？人们曾“事后诸葛亮”发现迈克耳孙—莫雷实验结果蕴含着狭义相对论的两条基本原理，那么，我们今天能否事先发掘 EPR 实验结果是否蕴含着能作为新的理论体系基础的基本原理呢？量子力学已获公认的其他的实验是否蕴含着同 EPR 实验结果蕴含着的相同的基本原理？如果是

肯定的话,则可撇开“决定论的定域隐变量”理论的许多复杂问题,就象爱因斯坦当年并没有从迈克耳孙—莫雷实验结果入手去提炼出狭义相对论的两条基本原理,它可以回避复杂的以太问题。

本书除第二章外,其余内容是 86 年以来围绕上述问题进行的思考和探索陆续写作的,以及成书时改写和新写的。尽管作者作了很大的努力,但由于才疏学浅,书中不妥和错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

附录中收入 EPR 问题英文文献 360 条,目的在于为有志于 EPR 问题研究的年轻同志提供一些方便。本书稿原列入前 200 条,它们是根据手头逐年积累的一些资料和 96 年春在解放军通信工程学院进行电检时获得的资料(含摘要)选出的。后 160 条是今年 9 月初当本书稿进行校对时才增加进去的。因此时获悉我校图书馆购进英国科学文摘光盘,便检索了 94 年下半年、95 年和 96 年的光盘,从获得的三百多条资料(含摘要)中选出 160 条。尽管还有不少遗漏,但从这 360 条资料,对自 64 年贝尔论文发表以来 EPR 问题涉及的各方面的进展,会有一个较好的了解。

最后,本书作者要向他们表示深深感谢的是:卢鹤绂院士等先生,他们对 EPR 问题的先期研究影响和激励了笔者;厦门大学物理系及公共物理教研究室、基础物理教研室,原厦门大学自然辩证法研究室的师友,他们的教诲、关怀与帮助,笔者终生难忘,笔者的学术研究基础也是在那里奠定的;南京航空航天大学有关领导及科研办、研究生部,本书多年来的研究及出版得到了他们的关心和支持。

作者

1997 年 9 月 10 日



作者简介

黄政新，男，1948年5月生于福建省泉州市洛阳镇。1982年厦门大学自然辩证法专业研究生毕业，获哲学硕士学位。现为南京航空航天大学人文学院副教授。

19/07/03

目 录

前 言

第一章 爱因斯坦和物理学统一基础的追求…………… (1)

一、牛顿力学作为物理学统一基础的成功和失败 …… (2)

二、爱因斯坦和物理学统一基础的追求 …… (9)

第二章 物理学理论基础的逻辑简单性原则 …… (22)

一、对简单性原则的歧见…………… (23)

二、爱因斯坦对逻辑简单性原则的理解…………… (27)

三、对称性原理是爱因斯坦追求逻辑简单性的

主要方法…………… (33)

四、确立公理的指导原则…………… (37)

五、科学探索的路标…………… (43)

六、选择和评价理论的准则…………… (47)

第三章 相对论的探索性演绎体系与爱因斯坦的

哲学认识论 …… (52)

一、探索性演绎体系与爱因斯坦哲学认识论的转变……………

…………… (53)

二、爱因斯坦是位认识论上的机会主义者吗? …… (62)

第四章 狭义相对论、迈克耳孙—莫雷实验和洛伦兹

理论 …… (82)

一、爱因斯坦建立狭义相对论的主要环节…………… (84)

二、迈克耳孙—莫雷实验对狭义相对论的建立

不起决定性的作用…………… (89)

三、狭义相对论的建立同洛伦兹理论无关·····	(93)
第五章 快子(超光速粒子)理论能建立在狭义相对论的基础上吗? ·····	(97)
一、根据狭义相对论断言快子不存在是没有充分理由的·····	(98)
二、当前快子理论的困难 ·····	(101)
三、在狭义相对论的基础上不可能建立一个自洽的快子理论 ·····	(102)
第六章 从 EPR 不完备结论到 EPR 实验 ·····	(106)
一、爱因斯坦关于量子力学的基本观点 ·····	(107)
二、爱因斯坦—玻尔论争的焦点与 EPR 不完备结论 ·····	(112)
三、贝尔不等式 ·····	(121)
四、EPR 实验简况 ·····	(123)
第七章 能认为 EPR 实验是世纪之交物理学晴空中的 一朵乌云吗? ·····	(133)
一、国内外学者对 EPR 实验结果的理解和评论·····	(134)
二、EPR 实验的意义和 EPR 实验结果的蕴含 ·····	(155)
1. EPR 实验的地位和意义 ·····	(156)
2. EPR 实验与判决性实验 ·····	(159)
3. EPR 实验结果的蕴含 ·····	(163)
附录 EPR 问题英文文献(360 条) ·····	(171)

第一章 爱因斯坦和物理学 统一基础的追求

自然和自然规律
沉浸在一片黑暗之中。
上帝说道：
“牛顿出世了！”
于是，
一切都变得明朗了。

——亚历山大·波普

1879年，对物理学来讲，是悲喜交加的一年。这年11月5日，电磁场理论的建立者、英国物理学家麦克斯韦(J. Maxwell, 1831 - 1879)不幸因病去世，年仅48岁。而在同年3月14日，一名叫阿耳伯特·爱因斯坦(Albert Einstein)的小男孩诞生在欧洲大陆国家德国的一个叫乌耳姆的小镇。正是这位爱因斯坦继承了麦克斯韦的事业，并成为现代物理学革命的旗手。

1900年，作为普通的历史意义的年份，它代表着新世纪的开始。

1900年，在物理学史上，它是一个分界线，它代表着现代物

理学的开始。因为这一年，普朗克(M. Planck, 1858 - 1947)提出了能量子假说，打响了现代物理学革命的第一枪。

1900年，它还有另一个意义，这一年，爱因斯坦大学毕业了，并完成了第一篇科学论文，从此，他致力于物理学的研究达半个世纪之久。如果站在物理学统一基础的高度上来看问题，我们就能更好地理解爱因斯坦的物理学研究和一个世纪以来物理学的变化。

一、牛顿力学作为物理学统一基础的成功和失败

1687年，英国物理学家牛顿(I. Newton, 1642 - 1727)出版了《自然哲学的数学原理》这本名著，它的出版标志着经典力学体系的建立。在此书中，牛顿以绝对空间、绝对时间、力和质量等基本概念，三大定律和引力定律等基本定律为出发点，运用他所发明的微积分这数学工具进行逻辑演绎，再现了当时人们已知的力学规律，也揭示出当时人们尚未知的力学规律，并把天上的和地面的物体的力学规律统一了起来。牛顿力学体系是物理学的第一个统一理论。由于牛顿力学体系实际上是模仿欧几里德(Euclid, 约公元前450—前374年)几何体系建立起来的，是个原理—演绎体系，因此它也属于爱因斯坦所说的理论物理学的完整体系。

由于力学取得的巨大成就及其他复杂因素，使得当时的许多自然科学家和哲学家建立一种坚定的信念，即完全相信可以用力学来理解一切自然现象。牛顿本人之所以坚持光的微粒说而反对光的波动说，就是这种信念的表现。这种信念影响之深刻还表现在，无论是热力学和统计力学，还是电磁学，实际上都是在牛顿力学纲领的指导下发展起来的。

热力学和统计力学(后者的前身是气体分子运动论)是热现象的两个理论。德国物理学家克劳修斯(R. Clausius, 1822 - 1888)于 1857—1858 年建立了气体分子运动论。他第一次把统计概念引入物理学;为作为统计个体的原子规定了力学性质;获得了分子的平均动能与温度成正比的结论,从而把温度这个热学的基本概念归结为力学概念;第一次提供了测量分子绝对大小的方法。克劳修斯的工作促使麦克斯韦速度分布律和玻尔兹曼(L. Boltzmann, 1844 - 1906)速度分布律的提出。麦克斯韦和玻耳兹曼的工作把气体分子运动论推向统计力学阶段。

气体各种性质的力学理论的成功有力地激发了物理学家们努力从力学推导出热力学各定律。这其中成就最大的当数玻耳兹曼。他作了多年艰苦的努力,试图以统计方法由纯粹力学规律推导出热力学第二定律,著名的 H 定理和各态历经理论就是这期间取得的成果,1877 年,玻耳兹曼给出了

$$S \propto \ln W$$

这著名式子。其中 S 为熵, W 为体系宏观状态所包含的微观数目。它对热力学第二定律作了统计解释:在孤立系统中,熵增加对应于向最可几状态的过渡,熵减小的过程并非不可能,只是几率太小,平衡态对应于最可几状态,系统达到平衡后,熵值仍然有涨落。玻耳兹曼这一工作被看作是牛顿纲领的伟大胜利,人们也因此坚信力学和热学有着统一的基础。

电磁理论的发展也有类似的情况。

无论是库仑(C. A. Coulomb, 1736 - 1806)定律,还是后来的安培(A. M. Ampere, 1775 - 1836)定律、毕奥—萨伐尔—拉普拉斯(J. B. Biot, 1774 - 1862; F. Savart, 1791 - 1841; P. S. Laplace, 1749 - 1827)定律,以及韦伯(W. Weber, 1804 - 1891)的和诺依曼(F. E. Neumann, 1798 - 1895)的电动力学均是在牛

顿力学纲领指导下建立起来的,它们都是反平方关系,是超距作用的。

英国物理学家法拉第(M. Faraday, 1791 - 1867)反对超距作用观点,认为电力与磁力是经中介介质逐点传递的,因此这种作用是接触作用或近距作用,并于1837年引入“场”的概念。法拉第为了描述力场的总背景,于1852年通过对流体力学的类比,提出场是力的线或力的管子所组成的。正是这些力线、力管把不同的电荷、磁体或电流连接在一起。麦克斯韦于1855—1865年连续发表了《论法拉第力线》、《论物理力线》和《电磁场的动力学理论》三篇论文,用严格的数学方法建立了电磁场理论。这个理论预言了电磁波的存在并证明了电磁波以光的速度传播,德国物理学家赫兹(H. Hertz, 1857 - 1894)于1888年在实验室证实了这个预言,该理论还把光、电、磁三者统一了起来,是牛顿力学之后物理学的又一次统一。麦克斯韦方程组在该理论中的地位犹如牛顿第二定律在牛顿力学中的地位。

法拉第一麦克斯韦电磁学理论实质上已构成对牛顿力学基础的伟大变革。因为,近距作用的观点同超距作用的观点是矛盾的,场的观点同质点的观点是矛盾的。但是,这场伟大的变革对法拉第、麦克斯韦和赫兹来说是“半不自觉的,并且是违反他们的意志的。所有这三位,在他们的一生中都始终认为自己是力学理论的信徒。”^① 对于法拉第的工作,爱因斯坦指出:“他把这些场设想为一种充满空间的媒质中的机械的应力状态,这类似于弹性膨胀体中的应力状态。因为在那个时候,对于这些在空间里显然是连续分布着的状态,这是唯一可能设想的办法。在背后保留着关于这些场的独特的力学解释——从法拉第时代

① 许良英,范岱年编译,《爱因斯坦文集》,第一卷,商务印书馆,1976年版,第387页。

的力学传统来看,这是对科学良心的一种安慰。”^① 麦克斯韦在建立其理论时曾借助于以太的机械模型。如所周知,光的传播曾被假定要在光以太这种媒质中进行。既然光被归结为电磁波,则假定了电磁以太是电磁场传播的媒介。“被想象为构成电磁场的这种媒质的状态,起初是以固体的弹性变形为模型,从力学上去想象的。”^② 如何用以太的力学结构来理解场的性质及麦克斯韦方程,是坚持牛顿力学纲领所要考虑的。包括麦克斯韦在内的许多人对此作了不懈的努力。

对于上述这段历史,爱因斯坦在为纪念牛顿逝世二百周年而写的文章中深刻地指出:“牛顿的成就的重要性,并不限于为实际的力学科学创造了一个可用的和逻辑上令人满意的基础;而且直到十九世纪末,它一直是理论物理学领域中每个工作者的纲领。一切物理事件都要追溯到那些服从牛顿运动定律的物体,这只要把力的定律加以扩充,使之适应于被考查的情况就行了。牛顿自己曾试图把这个纲领用于光学,假定光由惯性微粒组成。在牛顿运动定律用到连续分布的物体以后,甚至连光的波动论也利用了牛顿运动定律。牛顿的运动方程也是热的分子运动论的唯一基础,这不仅为人们发现能量守恒定律作了思想准备,而且还导致一种直至最后的细节都已经证实了的气体理论,以及关于热力学第二定律的本质的一种更为深刻的看法。电学和磁学的发展也沿着牛顿的路线前进直至近代(带电的和磁性的实物,超距作用力)。甚至由法拉第和麦克斯韦所发动的电动力学和光学的革命,也完全是在牛顿思想的影响下发生的,这一革命是牛顿以后理论物理学中第一次重大的基本进展。麦

① 《爱因斯坦文集》,第一卷,第 387 页。

② 《爱因斯坦文集》,第一卷,第 261 页。

克斯韦、玻耳兹曼和开耳芬勋爵不厌其烦地把电磁场和它们的动力学相互作用归结为假想的连续分布质点的机械作用。”^①

事实上,十九世纪末,当许多学者正陶醉在机械观胜利的气氛中,牛顿力学基础已遭到多方面的挑战。

也许可以说,众人皆醉他独醒,早在1883年,奥地利物理学家和哲学家马赫(E. Mach, 1838 - 1916)就出版了《力学及其发展的批判历史概要》一书,系统地抨击了牛顿的绝对时空和绝对运动的学说以及把力学作为全部物理学基础的机械观。

统计力学的成功是牛顿力学纲领的重大胜利,但是,它尚不能拿出强有力的证据来证明作为统计力学基础的原子确实是存在着的,从而遭到马赫和奥斯特瓦尔德(W. Ostward, 1853 - 1932)等著名科学家的反对,玻耳兹曼也因长期孤军奋战、忧愤成疾,于1906年自杀身亡。与此相关的是,1895、1896和1897三年中连续发现了X射线、放射性现象和电子。原子是物质不可分割的最小微粒这个观念因此遭到了破坏。在牛顿力学中,原子即质点,而质点是牛顿力学最基本的概念。因此,这三大发现不仅已打开了原子的大门而且已对牛顿力学基础产生冲击。

黑体辐射和“紫外灾难”问题是对牛顿力学基础的一次沉重的打击。德国物理学家维恩(W. Wien, 1864 - 1928)根据热力学并结合实验数据,于1896年获得了一个辐射能谱公式:

$$\rho_{\nu}(\nu, T) = B\nu^3 e^{-A\nu/T}$$

该式在短波区与实验结果非常一致,然而在长波区域同实验值有很大的偏离。1900年,英国物理学家瑞利(L. Rayleigh, 1842 - 1929)根据统计力学中能量按自由度均分原理,利用电磁学理

^① 《爱因斯坦文集》,第一卷,第225页。