

吴大猷 著
金吾伦 胡新和 译

**HISTORY AND
PHILOSOPHY OF
PHYSICS**

**物理学的
历史
和哲学**

中国大百科全书出版社



物理学历史和哲学

吴大猷 著

金吾伦 胡新和 译

中国大百科全书出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

物理学的历史和哲学/吴大猷著;金吾伦,胡新和译.

北京:中国大百科全书出版社,1997.6

ISBN 7-5000-5811-X

I. 物… I. ①吴… ②金… ③胡… II. ①物理学史②
物理学哲学 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 25584 号

中国大百科全书出版社出版发行

(100037 北京阜成门北大街 17 号)

北京宏伟胶印厂印刷 新华书店经销

1997 年 6 月第 1 版 1997 年 6 月第 1 次印刷

开本: 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张: 8

字数: 190 千字 印数: 1—1000 册

定价: 25.00 元

序

吴大猷先生 1907 年出生于广州一个书香门第。早年就读于天津南开大学物理系，得我国物理学界前辈饶毓泰的赏识。1931 年经饶毓泰和叶企孙推荐，赴美国密歇根大学深造。1932 年完成了《最重元素低能态》一文，预言铀后元素的存在，为后来超铀元素的发现做出了开创性的理论贡献。1933 年获博士学位。

1934 年，吴先生回国任北京大学物理系教授，时年仅 27 岁。抗日战争期间，吴先生转往昆明西南联合大学任教。尽管当时学校物质条件极差，但西南联大却以国际级学术水平见称。吴先生在艰苦条件下写成了《多原子分子的振动光谱和结构》一书。这是红外光谱、喇曼光谱和分子结构方面的首部研究专著，也是该研究领域的经典著作之一。吴先生因此书而于 1939 年获中央研究院丁文江奖。吴先生教书育人，奖掖后进，当年在他门下受业的学生，后来许多成为世界一流的科学家，其中包括两位诺贝尔物理学奖获得者杨振宁和李政道。

抗日战争胜利以后，吴先生去美国，先后在美国几所大学执教并从事物理学研究，其间有 14 年在加拿大国家研究院负责理论物理研究工作。

1956 年后，吴先生常到台湾讲课并兼任职务。1978 年

从美国纽约州立大学退休后定居台湾。几十年来，他为台湾的科学和教育的发展绘制了蓝图，制订了发展规划和一系列政策，大大促进了台湾的科学和教育事业的进步，从而也推动了台湾的工业和经济的快速发展。

吴先生在从事科学研究和教学的同时，出版了13部专著、近120篇研究论文，涉及原子物理、分子物理、统计物理、天体物理与大气物理、原子核结构、散射理论、等离子体、气体和相对论等。吴先生在这些领域做出了不少具有独创性的贡献。

吴先生除了从事物理学研究，关心科技发展和教育改革之外，还涉足人文、社会等领域，对时代的弊病常常给以有力的针砭。吴先生自己说：“作为一个曾与任何组织和党派无瓜葛的‘局外人’，使我在决策时更独立也更客观。经年的严格学术生涯培养了我独立思考的习惯和思想的诚实性。对于无论个人或小集体利益的淡漠使我弥补我的坦率——对于过失直言不讳——可能带来的损失。”吴先生的坦诚率直赢得了公众的敬重。

70年代以后，吴先生开始更多地思考有关科学的理论性问题，对科学，尤其是物理学的本质等进行深入的探讨。1974年他出版了《现代物理学基础的物理本质和哲学本质》（The Physical and Philosophical Nature of the Foundation of Modern Physics）一书；1988年1月，他因病住院，在医院写了《物理学的性质、简史和哲学》，此文发表在台湾中央研究院物理研究所集刊第17卷上；他在台湾大学物理系所作的14次系列讲演的汇集也以《物理学：它的发展和哲学》（Physics: Its Development and Phi-

losophy) 为题刊登于国际现代物理杂志 1989 年第 4 卷上; 1992 年, 吴先生又将此文作了大幅度修改和扩充, 正式成书出版, 定名为《物理学: 它的发展》(Physics: Its Development)。

吴先生谈物理学理论的这两本书——《现代物理学基础的物理本质和哲学本质》和《物理学: 它的发展》, 都是用英文写作和发表的, 国内还没有译本, 现在由中国社会科学院哲学研究所金吾伦、胡新和两位把两书结合在一起译成中文, 介绍给更广大的读者, 我认为, 这是一件很有意义的工作。译本定会国内广大物理学、哲学等学科的读者带来深刻的启示。

钱 临 坚

目 录

序	钱临照
第一章 引论	1
1. 观察及由此形成的物理概念	4
2. 物理定律	5
3. 物理理论	5
第二章 经典动力学	8
1. 经典物理学的基本特性	8
2. 惯性定律	12
3. 运动定律	12
4. 力的定律	13
5. 哈密顿动力学: 可积系统	15
6. K-A-M 理论	19
7. 万有引力理论	20
参考文献	23
第三章 光学和电磁学	24
1. 光学	24
2. 电磁学	27
3. 对麦克斯韦理论的评论	32
参考文献	34
第四章 相对论	35
1. 狭义相对论: 背景	35
2. 洛伦兹变换和爱因斯坦的贡献	36

	3. 相对论性动力学	39
	4. 广义相对论	41
	5. 爱因斯坦的“引力理论”	42
	6. 对爱因斯坦引力理论的评论	48
	参考文献	49
第五章	相对论对现代物理学哲学的影响	50
	1. 变换概念和不变性概念	50
	2. 洛伦兹变换和相对性概念	52
	3. 爱因斯坦的空间、时间“操作”定义和 相对性原理	53
	4. 广义相对论	56
	5. 爱因斯坦的引力理论	58
	6. 评论	61
第六章	对称、变换和不变性	64
第七章	气体动理论、热力学和统计力学	68
	1. 气体动理论	68
	2. 经典热力学	71
	3. 玻耳兹曼的统计理论	74
	4. 吉布斯理论: Γ 空间	77
	5. 统计力学: 系综理论	78
	(1) 玻耳兹曼和麦克斯韦的早期理论	78
	(2) 吉布斯的系综理论	80
	6. 能量均分定理	82
	7. 量子统计	83
	8. 评论	85
	参考文献	87

第八章	量子论	89
	1. 量子论的起源	89
	2. 爱因斯坦理论	90
	3. 玻尔理论	91
	4. 跃迁概率	93
	5. 玻色统计	93
	6. 量子论的困难	94
	参考文献	95
第九章	量子力学	96
	1. 波动力学	98
	2. 矩阵力学	102
	参考文献	106
第十章	量子力学的公设形式及其物理诠释	107
	1. 历史进展	107
	2. 基本公设	109
	3. 小结	115
	参考文献	117
第十一章	量子力学本质的哲学问题	118
	参考文献	125
第十二章	爱因斯坦—玻尔关于量子力学 诠释之争	126
	参考文献	131
第十三章	经典场论和量子场论	132
	1. 量子力学中的场	132
	(1) 不可积的相	132
	(2) 可积的相	133

(3)阿哈罗诺夫—玻姆理论	133
2. 统一场:引力场和电磁场	134
3. 经典场	136
4. 量子化场	138
5. 粒子和相互作用	142
6. 统一场:电磁与弱相互作用	144
7. 强相互作用	145
8. 引力场	147
参考文献	148
第十四章 结束语:物理学中实验与理论的相 互作用	149
附录	160
1. 电动力学方程在洛伦兹变换下的 不变性	160
2. 相对论形式的经典动力学	164
3. 爱因斯坦理论中的静态球对称场	167
参考文献	174
4. 在平直时空中的加速运动——时 钟佯谬	174
5. 气体动理论	178
5.1 玻耳兹曼方程	178
5.1.1 H 定理	178
5.1.2 查普曼—恩斯考格解法	179
5.2 玻耳兹曼理论的基础	181
5.3 主方程和时间可逆性	182

5.4 波哥留波夫理论(1946 年)	184
5.4.1 B-B-G-K-Y 方程链	184
5.4.2 时间尺度	186
5.4.3 涨落	188
参考文献	188
6. 非平衡热力学	189
6.1 不可逆过程	189
6.2 非平衡热力学	191
6.2.1 熵产生率	191
6.2.2 宏观定律	192
6.2.3 倒易关系	193
6.3 昂萨格理论	194
6.3.1 涨落与回归	194
6.3.2 微观可逆性	195
6.3.3 倒易关系	197
6.3.4 热电现象的不可逆热力学	198
6.3.5 对非平衡热力学理论的评论	201
参考文献	202
7. 爱因斯坦光子理论——波粒二象性的起源	203
8. 海森伯新理论(1925 年)的指导思想	204
9. 薛定谔波动力学的出发点	208
10. 量子理论中的概率概念	211

11. 概率公设与互补公设之间的一 致性	214
12. 哥本哈根学派和量子力学其他 观点	215
13. 对称性	217
13.1 引言	217
13.2 物理现象与对称群	218
13.2.1 $U(1)$	218
13.2.2 $SU(2)$	219
13.3 $SU(3)$	221
13.3.1 $SU(3)$ ——八重法	221
13.3.2 $SU(3)$ ——夸克和 量子色动力学	223
13.4 $SU(2) \times U(1)$ ——电 弱场、规范场	225
13.5 更多的对称性	225
参考文献	226
人名索引	228
译者后记	242

第一章 引 论

物理学有若干个层面。首先，我们最关心的是那些我们看做物理学本身主题的东西，即自然界和实验室内发生的物理现象、定律和理论，以及它们的应用。接着，关心的是物理学发展的历史——观察中的重要发现，由实验所得出的理论，以及物理学各分支的形成。进而，有一个更深的层面，那就是基本概念本质的研究和理论结构的研究。这，我们将不严格地称之为物理学哲学。大多数学习物理学的学生都满足于物理学的“作业知识”（working knowledge），独独把物理学哲学搁置一旁。毕竟没有它，物理学家们仍能做好他们的工作。事实上，大量的贡献，尤其是应用物理学于实际问题上的贡献，都是那些对有关物理理论基础可能无太多兴趣的物理学家做出的。但是，一位物理学家从对物理学演变过程的一个更深刻更具批判性的理解中，能获得精神上的更大满足与享受。

让我们先看看“定律”与“理论”。物理“定律”乃是一种连接某些物理概念的关系。经验定律便是从观察或实验资料中发现的这样的关系。前者的一个例子是开普勒行星运动定律，这些定律是从丹麦天文学家第谷·布拉赫（1546—1601）的观测资料中得出的。后者的一个例子是玻意耳（1627—1691）的气体定律。

对观测资料或实验资料进行分析，为我们思考现象和表述经验定律而引进概念，这些构成了作为一门科学的物理学成长的最初阶段。第二阶段则是经过思考构建现象的“理论”。

理论的目的是使物理学家运用较少的或较简单的连接物理概念的假定关系，去力图“理解”（以定律形式表达的）经验事实。这些假定关系可能要求引进新概念。牛顿运动定律中的动量概念，牛顿万有引力概念，热力学中的熵概念，化学中和气体理论中的分子概念等等，便是例子。这些假定依据它们所扮演的角色而被叫做“假定”（具有一种尝试的性质）、“假设”、“公设”（具有一种较强的性质）和具有欧几里得几何学中公理性质的“公理”。

理论的第一个明显要求是，它要与所有已知的观测事实相一致。第二个更加严苛的要求是，该理论的一切逻辑推论，都必须与为检验它们而设计的所有进一步的实验结果完全相符。因此，在这个意义上说，理论总是“处在试验之中”的；一旦发现其逻辑结论与某种经验事实相矛盾，该理论就必须加以修正或被抛弃。

按照爱因斯坦的论述（1919年），理论有两大类。一类他称为“构建性理论”，气体动理论就是这类理论的一个范例。另一类他称为“原理性理论”，经典热力学和相对论是这类理论的范例。

牛顿运动三定律，严格说来，应称为理论。“三条定律”都是强的“原理”，而非经验定律。但是，动力学的整个结构及其应用的成功（直到它们应用于原子和亚原子领域才出现例外），已把牛顿“理论”提升到“定律”的地位。

在本书中，我们将循着从 17 世纪经典动力学到目前的物理学的发展路子，强调基本概念和理论真正本质的基础性变化。因此，牛顿力学具有绝对时间的基本概念和决定论的运动方程；光学理论和电磁理论充分发展了场概念并为狭义相对论铺设了道路；狭义相对论抛弃了绝对时间和以太，并强调变换和协变的概念，推广到广义相对论，引进了一种时空引力的全新观点，开创了宇宙学的领域。在讨论巨量物质的性质时，发展出了三种方法：气体动理论、热力学和统计力学。当应用到黑体辐射问题时，热力学和统计力学导致了普朗克和爱因斯坦的量子论。原子物理学沿着玻尔理论的发展，导致了量子力学的发展，其中牛顿体系的基本概念和物理理论的本质，由数学形式体系和一种物理理论的新哲学所取代。

在物理学发展过程中，重要目标之一是已知各种相互作用的统一。电磁场的统一是最早的统一；接着于本世纪 10 年代后期开始致力于引力场与电磁场的统一。这个目标迄今尚未达到，但弱相互作用与电磁相互作用的统一在 60 年代首次达到，并于 1983 年得到实验的支持。这两种相互作用与强相互作用和引力相互作用的最终统一是目前研究的任务之一。这些话题，将在书中的有关章节中论及。

* * * *

物理学家，或许还有科学哲学家都普遍赞同，相对论和量子力学是现代物理学的两块基石。每所大学的大学生都学这两门课程。数学方面，诸如洛伦兹变换及其推论、薛定谔方程为许多问题提供的解，所有物理系的学生都是相

当熟悉的。然而，对于物理诠释和哲学诠释，却并不熟悉。教科书或讲演中通常也不对之作充分的强调。作者相信，为了对这两个课题有一个较深刻的理解和恰当的把握，某些关于历史透视和哲学涵义的知识是必要的。下面就这两个课题的几个方面作一简要的阐明。

1. 观察及由此形成的物理概念

物理学，作为科学的一个学科，开始于对某些种类现象的观察。为了对这些观察作思考，以及将这些思考与别人进行交流，有必要形成某些概念。其中有些概念是基本的，它们是从我们的经验中形成起来的，例如空间和时间的概念。与空间概念相伴随，出现了几何学的概念，或许来自于耕种土地的实践经验，欧几里得几何学便诞生了。这种几何学是以其隐含在空间中能将一个图形变换成另一个全等图形的可能性为特征的。这种几何学，由于与我们物理世界的日常经验相近而如此深深地扎根于我们的思维之中，以致直到爱因斯坦于1910—1915年提出他的引力理论，在物理学家和哲学家的头脑中，欧几里得空间依然是我们的物理空间。但是，其他的空间也是可能的，对于这些空间，上面所说的“全等”是不可能的，例如鸡蛋的二维表面。广义相对论将弯曲空间引入了物理学。

试考虑时间概念。我们将不涉及哲学家的时间概念。在物理学中，我们涉及的是，测量在同一空间彼此作相对运动的诸点上的事件之间的时间间隔。物理学中有绝对的时间（或宇宙时间）概念，这个概念一直沿用到爱因斯坦在他1905年的相对论对之作作了批判性的重新考察，并且

表明它没有物理意义为止。

由空间和时间概念，人们得到速度、加速度等导出概念。于是，在处理动力学现象时，便形成了诸如粒子、质量、动量、力、功、能量等附加概念。与此相似，也形成了波、电荷、温度等等概念。

2. 物理定律

根据观察（和测量）的经验数据，应用已形成的概念，通过内插和外推，在概括的基础上运用归纳过程而得到种种关系，这些关系就成了物理定律。范例是：气体定律 $pV = RT$ 、开普勒行星运动定律、傅里叶热传导定律、安培定律、法拉第定律等等。物理定律在起源上是经验性的，尽管概括和抽象过程有时掩盖了这种经验本质。这后一种情况的实例是热力学定律和爱因斯坦—德布罗意关系（见第九章量子力学）。热力学定律是第一类和第二类永动机不可能这一经验事实的概括陈述；爱因斯坦—德布罗意关系则是由光电效应和康普顿效应等实验所揭示的波粒二象性的概括陈述。以这种概括形式，这些陈述在量子力学中可以被看做“原理”。

3. 物理理论

单独的“物理定律”集合只不过是一种组织起来的、系统的经验资料的集合而已。物理理论的目的和功能是要将许多分离的定律通过一些观念集合成为一个统一的整体。这些观念被叫做“原理”或“公设”，它们由包含物理概念的关系（方程）组成。一个理论必须与所有已知事实相一