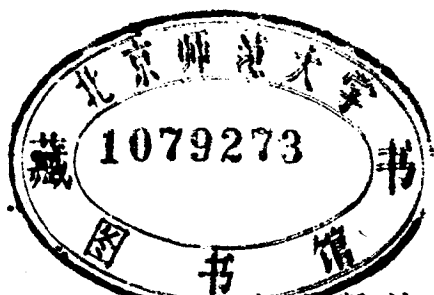


物理学的基本概念

阿瑟·贝塞尔著

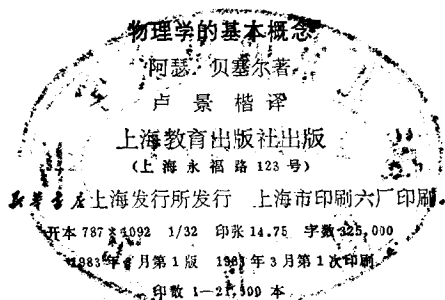
卢景楷译

JY11/22/13



上海教育出版社

Basic Concepts of Physics
Second Edition
Arthur Beiser
Addison-Wesley Publishing Company



统一书号: 7150·2770 定价: 1.25元

序 言

《物理学的基本概念》是一本初等水平的物理学简明引论。作者在编写本版时，把原文进行了重新编排和改写。书中用了比第一版较多的篇幅来讨论现代物理学，但是，由于本书性质所限定，对经典物理学的内容没有进行缩减。在本版中，狭义相对论讨论得较早，这就允许在讨论物质和能量以及电和磁这些题目时，可以用相对论来洞察它们之间的关系。进行这些以及其他改革的目的是，想更清楚地显示出物理学内在的能力和美的鉴赏是学习本书的主要收获之一。当然，物理学的实用方面也是重要的，不过，这方面的意义在今天已经不需要再强调了。

为了更有效地与读者沟通，在课文中加进了大量插图，以便使图文配合来畅通思路。虽然某些图在不知不觉间混进一点轻浮感，但其意图是严肃的，况且把物理学当作是有趣的看法并无坏处。本书把前一版的十四章重新分成四十二小节，每一节都集中到一个单一的主题上；这好比把同样一块肉切成我所希望那样大小的小块后，就易于消化了。本书只用最简单的数学，在附录中给出了需要用到的初等代数。练习从容易回答的到需要推敲的问题（但并不难）都有，它们扩展了课文的内容，也帮助读者扩大知识面。

广大师生对第一版提出了宝贵意见。在此表示感谢。

作者 1971·8

目 录

第一部分 空间和时间..... 1

1. 绪论(1) 科学(1) 物理学(3) 粒子和相互作用(4) 模型(6)
2. 标量和矢量(8) 单位(8) 标量和矢量(10) 矢量(12) 矢量的加法(13) 分矢量(16)
3. 速度(19) 参照系(19) 匀速度(20) 即时速度(23) 怎样作切线(25) 平均速度(26)
4. 加速度(29) 加速度运动(30) 匀加速度(31) 速度和加速度(33) 位移和加速度(34) 重力加速度(36) 自由下落(39)
5. 时间的相对性(45) 测量和相对运动(45) 相对性原理(46) 狭义相对论和广义相对论(47) 光的速度(48) 时间的相对性(50) 时间膨胀(53) 孪生兄弟的悖论(53)
6. 空间的相对性(57) μ (介)子的衰变(57) 洛伦兹收缩(59) 快些意味着短些(61) 极限速度(62)

第二部分 运动定律.....65

7. 质量(65) 物理量(65) 运动第一定律(66) 质量(67) 密度(69) 质量的相对性(71) 相对论性质量增大的例子(72)
8. 动量(74) 线动量(74) 守恒原理(75) 线动量的守恒(75) 动量守恒的应用(78) 火箭的推进(80) 角动量(81)
9. 力(85) 牛顿的运动定律(85) 力(86) 平衡力和不

平衡力(87) 运动第二定律(87) 加速度和力(88)
牛顿(90) 基本的相互作用(93) 重量是一种力(94)
第二定律的局限性(96)

10. 作用和反作用(99) 运动第三定律(100) 第三定律和
动量守恒(101) 作用和反作用(103) 质心(104) 第三
定律的局限性(107)

11. 圆周运动(109) 向心力(110) 向心加速度(111) 向心
力的量值(115) 倾斜弯道(117) 离心力(118)

12. 万有引力(120) 万有引力定律(121) 万有引力是否万
有?(123) 质心(124) 万有引力常数(126) 地球的质量
(127) 卫星的轨道(128) 引力场(130) 场是什么?
(131) 力线(132)

第三部分 能量和物质..... 137

13. 功(137) 能量和变化(137) 功(138) 功的定义(138)
焦耳(140) 对重力作功(141) 功率(142)

14. 能(146) 能(146) 动能(147) 势能(149)

15. 能的守恒(154) 高速度的动能(154) 静能(156) 静能
的释放(157) 能的守恒(158) 机械能的守恒(159) 热
和能(162)

16. 热(165) 温度(165) 摄氏温标(167) 华氏温标(168)
热质(168) 热和能(169) 千卡(170) 热的机械当量
(172)

17. 热和物质(175) 比热(175) 状态的变化(178) 溶解热
和汽化热(180)

18. 理想气体(184) 压力(184) 流体上的压力(185) 大气
压力(187) 玻意耳定律(189) 绝对温标(190) 查理定
律(192) 理想气体定律(193)

19. 物质的分子运动论(196) 原子和分子(196) 物质分子
运动论(197) 气体分子运动论(198) 分子速度(200)

分子的内能(202) 液体中的分子运动(203) 固体的热膨胀(204)

20. 热力学(207) 热机(207) 热力学第一定律(208) 热力学第二定律(209) 热机效率(211) 制冷机(212) 统计力学(213) 时间和热力学第二定律(215)

第四部分 电磁学..... 218

21. 电荷(218) 电(218) 正、负电荷(219) 带电物体怎样吸引不带电物体(221) 电荷守恒(221) 库仑定律(223) 库仑(224) 电荷的不变性(226)

22. 电场(228) 电场(229) 电力线(230) 电荷的分布(231) 电荷的量子化(232) 电势能(234) 电势差(236) 电子伏特(238)

23. 电和物质(242) 电和物质(242) 汤姆孙模型(243) 卢瑟福模型(245) 固体中的传导(246) 电离和复合(248) 极性分子(249) 电解质(251)

24. 电流(253) 安培(253) 电阻(254) 欧姆定律(256) 电功率(257)

25. 磁场(262) 磁力(262) 电磁相互作用(263) 平行电流间的力(264) 安培(267) 磁场(268) 特斯拉(269) 决定 B 方向的右手定则(271)

26. 磁力(273) 作用在电流上的磁力(274) 决定磁力的右手定则(275) 磁力的量值(275) 作用在运动电荷上的磁力(276) 磁场中的圆周运动(277) 磁镜(279) 质谱仪(280)

27. 电流回路(284) 一个电流回路的磁场(284) 作用在电流回路上的转矩(285) 电流计(286) 直流电动机(287) 磁极(288) 地磁场(290) 铁磁性(291) 磁铁是怎样吸引铁的(293)

28. 电磁感应(295) 电磁感应(295) 感生电势差(296) 在

磁场中运动的金属导线(296) 法拉第定律(298) 楞次定律(298) 法拉第定律的推导(299) 电子回旋加速器(300) 发电机(301) 变压器(302) 升压和降压变压器(304)

第五部分 波和粒子..... 309

29. 电磁波(309) 麦克斯韦假设(309) 电磁波(310) 来自加速电荷的辐射波(312) 波(314) 波的类型(316) 电磁波的性质(318) 光的速率(319)

30. 反射和折射(321) 惠更斯原理(321) 镜面反射和漫反射(323) 反射定律(324) 平面镜(325) 折射(326) 折射率(328) 全内反射(329)

31. 光波(331) 干涉(332) 相干(334) 双缝(335) 薄膜(338) 衍射(339) 偏振(341) 散射(344)

32. 光的量子论(345) 波粒二象性(346) 光电效应(347) 光的量子论(349) 光是什么?(351) X射线(352)

33. 物质波(355) 量子力学(355) 德布罗意波长(356) 波函数和几率密度(359) 测不准原理(360) 电子、原子和原子核(362) 用电子进行的实验(363)

第六部分 原子物理学..... 366

34. 氢原子(366) 氢原子的经典模型(366) 原子内的电子波(367) 轨道稳定的条件(369) 能级(370) 原子光谱(372) 光谱线的来源(373) 原子的激发(374)

35. 氢原子的量子论(377) 玻尔理论与量子论比较(377) 量子数(379) 角动量量子化(380) 几率密度(382) $n=1$ 的电子云(383) $n=2$ 的电子云(383)

36. 复杂原子(387) 电子的自旋(387) 原子电子的量子数(388) 不相容原理(389) 元素族(390) 周期律(391) 壳层和支壳层(393) 复杂原子的结构(393)

37. 分子、液体和固体(396) 分子是什么(396) 氮分子

(397) 氢分子为什么是稳定的(398) 饱和(399) 共价键联(400) 液体和固体(401) 固体中的共价键联(402) 离子键联(403) 范德瓦耳斯键联(404) 金属键联(405)	
38. 原子核(407) 核子(408) 同位素(409) 稳定核(411) 原子核的大小(412) 强核相互作用(413)	
39. 核能(415) 结合能(415) 每个核子的结合能(417) 核反应(418) 核聚变(419) 核裂变(421) 链式反应(422)	
40. 放射性(425) α , β 和 γ 放射(425) 放射性衰变的来源(426) α 衰变(427) 半衰期(428) 放射性碳测定年龄(430)	
41. 中微子和反粒子(433) 中微子(433) 弱相互作用(436) 反粒子(436) 反物质(438)	
42. 基本粒子(439) 核力的介子理论(440) π 介子和 μ 介子(442) 基本粒子表(444) 光子(446) 轻子(446) 介子(447) 重子(447)	
附录.....	450
1. 单数习题的答案	450
2. 几个物理常数和转换因式	462

第一部分 空间和时间

1. 绪 论

物理学是物质的科学，它力求了解物质的基本结构、性质和行为。作为一门科学，物理学与其说为实用服务倒不如说为真理服务，但是，现代技术以及其他一切科学，都依赖于物理学所提供的启示去洞察宇宙的运行。因此，在涉及到人类试图

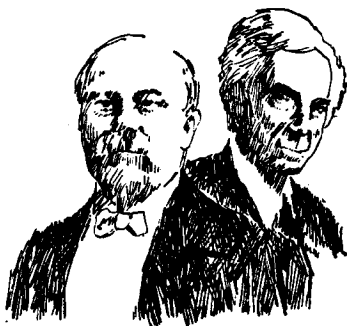


图 1·1·0 庞加勒和罗素

了解和控制自然界的一切基本观念时，都要研究物理学。

科学

我们每个人都是人类社会的一员，都在某个方面参与这个社会的不断发展。政治和经济问题涉及到我们所有的人，因此谁也不愿意对它们全然无知。

我们每一个人也都是物理世界的一部分，我们既不能避开我们同伴的动作，也不能避开宇宙的发展。我们是由结合成分子、液体和固体的原子所组成的，并且生存在被一颗恒星所束缚的行星上，而这颗恒星又是占据着广袤空间的许多星系之一中的一个成员。原子、星系以及其间一切东西的行为都有某些共同的规律性，它们就是“自然定律”。同样，今天支

配着人民和国家生活的技术也是以这些自然定律为基础的。精通科学对于了解人类在现代文明中的地位和了解人类在宇宙中的地位是同样重要的。

科学家探索自然界的方法直接的是用实验和观察，间接的用抽象推理。实验和观察产生数字，即科学的原材料。抽象推理产生理论；理论不但能归纳大量的测量结果，而且还能推断出尚未被发现或者不可能直接检验的现象。谁也不能到太阳或原子内部去访问，但是，我们仍然能知道在那两个地方发生的许多现象。虽然证据是间接的，但却是令人信服的。

每一个科学家都想阐明自然界的一些未知问题，比如说，发现一个尚未被人猜疑过的秘角。最精确的测量和最精细的计算未必是最有效的。这里需要创造性的想象力，这就是为什么科学上最伟大的进展常常是由年轻的、机智的和有好奇心的人所取得的原因。

科学不只是对自然界某些特征的论述，而且还包括获得这些论述的方法。（这两者是相互关连的。实验的结果依赖于如何进行实验的方法，而理论的结果也不能与它所依据的基本假设分开。科学的本质在于，它好比一副总是摊开在桌上的牌，对所讲内容的全部涵义毫不隐瞒。

科学之所以成为研究自然的有力工具，是因为它的发现不断地受到实验和理论的检验。任何事物都不是在个人权威上，或者根据“常识”，或者由于它们是宗教或政治教条的一部分而被接受的。因为科学上的每一个概括都可能由于发现新的证据而被迫修正，所以科学是活的知识整体而不是教条的汇集。有反潮流思想的人，只要他的论点有充分的根据，就不会被人嘲笑，对科学家来说，如果他们的贡献不能永久地保存下来，也不是一种耻辱。把船摇荡起来在游戏中只起很小的

作用,而把船翻转过来才是取得胜利的方法。

诗篇是用含蓄的方法而不是用平铺直叙的方法来取得效果的。诗人喜欢在用词上意味深长,一首优美的诗篇常常以一语双关的用词而闪闪发光。大多数诗篇引起的不同反应取决于不同的读者及这些读者在阅读时的不同感受。

与此相反,科学是客观的而不是主观的。一个科学的论述如果对不同的读者有不同的含义,那就不能被接受。科学家虽然使用清晰的语言,但是他们所得到的一幅世界图样,无论在宽广、详尽、多样、优美、微妙以及美丽方面,都大大超过诗人所得到的。晶体结构的有秩序与气体分子杂乱运动的无秩序,每一种基本粒子都存在一种反粒子的对称性与热力学第二定律的不对称性,行星绕太阳转的确定性与电子绕原子核转的不确定性都可以说是一种美。许多科学方程式也是很美的,当然还可以用实用的观点来鉴赏它们。

物理学

笼统地说,物理学是关于组成物质的基本粒子,关于这些粒子彼此间的相互作用的方式以及关于由基本粒子形成的复合物体(原子、分子、液体和固体)行为的科学。因此,物理学是总科学,它的概念和原理是由探索我们周围世界一些较狭窄方面的化学、生物学、天文学和地质学等这样一些其他科学引起的。物理学是任何严肃的科学研究的起点。

探讨物理学的途径不只一种。我们可以把物理学看成是人类思想的胜利,为了人类自身的缘故把物理学的历史和哲学作为人类文化的一部分来检验,并且希望把它的方法应用到自然科学以外的范围中去(这种希望至今还没有达到)。我们也可以把物理学看成是一座知识宝库,它的目的在于(就象它已经做的那样)把自己应用到其他科学技术中去。

还有第三种观点。我们居住在一个具有确定的性质和行为规律性的宇宙中，并且我们本身也是这个宇宙发展的产物。物理学对这个宇宙基本特性的看法是与一种最有智慧最有美感的模式相吻合的，本书所强调的正是这样一种模式。我们问太阳为什么会发光，光是什么，天空为什么是蓝色的，或者问原子由什么组成等问题，并不是出于我们无聊的好奇心。这些都是深奥的问题，知道它们的答案正在大大丰富着每个人的生活。

粒子和相互作用

象观看商店陈列的样品那样，让我们来看看物理学所提供的最终物质的图画。

我们来考虑任何一种物质的一个样品（例如，一滴水、一粒砂、一根草），并想象把它切成越来越小的碎片。这样不断地切下去结果怎样呢？最后，每个样品都还原成它的组分——原子（有 92 种不同的原子）。如果再使原子分裂下去，剩下的就只有三种不能再分的基本粒子：质子、中子和电子（还有其他的基本粒子，但是这三种是包含在普通物质中主要的三种）。

基本粒子彼此间只以四种不同方式发生相互作用。整个宇宙的结构和行为都归因于这四种相互作用。这四种基本相互作用是：强核相互作用、弱核相互作用、电磁相互作用和引力相互作用。质子和中子由于强核相互作用而结合在一起组成原子核，而原子核的精确成分还部分地决定于弱核相互作用。电磁力使电子保持在原子核周围形成原子。相邻原子间的电磁相互作用又产生称为分子的稳定小块，或形成较大的集合体，它们组成液体和固体。万有引力则在较大范围内把物质结合成居住在空间中的行星、恒星和星系。

用三种粒子和四种相互作用似乎不足以解释日常生活中事物的千变万化,更不用说解释宇宙的演变了。但是,要说明从石块下落到地球历史前期无生命物质发展成为植物和动物的种种现象,这些东西显然够用了。

把我们周围多种多样的事物如此优雅地统一起来是经过四百年的努力才达到的。四百年这个时间尺度不是随意武断出来的,而是因为近代科学起始于伽利略(Galileo 1564—1642年)。在伽利略之前,人们企图用一些不证自明的,即不需要用实验来证明就显然是正确的原理和思想来解释自然界。亚里斯多德(Aristotle)断言重物体下落得比轻物体快就是这种带推测性的不证自明原理的一个例子;另一个例子是相信一切运动都必需用力来维持。这两个原理以及其他许多类似的原理的困难之处,在于它们在各种物体的行为很不相同的真实世界中是错误的。伽利略的最大贡献是他的这一看法即任何对自然界的论述必须用观察来检验,他的这一贡献超过他在力学和天文学中的具体发现。

自此以后的篇幅将介绍从伽利略时代起逐步展开一直到今天导致鉴别基本粒子及其相互作用的各条线索。情况是错综复杂的,部分原因是我们不可能根据日常的经验来分析在原子尺度上发生的事件。试图用日常的语言来讨论原子结构就好比戴着拳击手套来修理手表。在这方面,所需要的是给质量、能量等物理量以及给力场、波等概念下精确的定义。学习物理学的一个主要任务就是要掌握表达这些物理量和物理概念所用的词汇。

当然,物理学除了基本粒子以外还涉及到许多问题。本书目录所列出的就是对那些被认为是物理学基本组成部分的传统课题的适当指南。其中某些课题与自然界没有关系,但

却能弥补实际应用的不足。例如，欧姆定律没有讲到原子或行星，但是它是物质行为的一个方面，每当我们开亮一盏电灯时欧姆定律都在起作用。掌握欧姆定律并不是学习物理学的首要理由之一，另一方面，把欧姆定律包括在物理学的内容中也无须加以解释。

模型

在这里提出物理学家通常在工作中使用的一种带有特征性的工具是适当的。

即使要粗略地对自然界有一个坚定的理性认识也是不容易的。什么东西都不象它看上去那样简单。我们想象地球是圆的，但事实上它不象一个正球形，而更象一颗表皮凹凸不平的象文旦一样的葡萄柚。我们说地球在一个椭圆轨道上绕太阳运行，但事实上轨道是摆动的，不会永远是椭圆形。为了抽出一种现象的实质，物理学家必须用模型来使真实情况理想化。物理学家选用球形作为真实地球的模型，选用椭圆作为真实地球轨道的模型，就是通过把他所研究问题的主要特点分离出来的方法来简化他的分析工作。否则的话，物理学家必须对付一个压扁了的，有皱折的，在不规则的轨道上运行的地球，他就不能取得任何进展。

当物理学家设法了解原子和分子的微观世界时，就出现了另一种模型。例如，一种有用的气体模型把气体想象为无数象弹子球那样的微小粒子的集合，这些粒子在各个方向上飞来飞去。在解释气体行为的许多方面，这种模型是十分成功的。但它毕竟是一种模型而不是全部真相，因为如果我们能以某种方式直接看一看气体构造的话，我们就会发现组成气体的那些粒子完全不象微型弹子球，在某些方面甚至不象通常意义上的粒子。

模型和理论之间并没有明显的分界线。理论一词通常用来表示程度较高的概括，即不但可以用它来解释现有的数据，而且还可以从它出发来预测可能进行的新的实验结果。一种理论可以建立在一种特殊模型的基础上，也可以不这样做。例如，气体分子运动论就是建立在把气体看成是快速无序地运动着的粒子集合的模型基础上的一种逻辑结构。相反地，牛顿的万有引力理论与模型没有直接的联系，它所涉及到的概念并不需要用图形来表示它们是互相联系的。但是牛顿仍然选择把太阳、月球、行星看成是球，把行星的轨道看成椭圆这样的模型来作为他把引力理论用公式表示出来的关键。

在某些情况下使用多于一种模型是方便的，或者是必要的。光就是一个明显的例子。在许多的实际应用中，完全可以把光想象成由一些“射线”所组成，即由一些笔直的，除非被反射或折射才曲折一定角度的某种细小线锥所组成。波动模型是一种较为成熟的，能够解释光的多方面行为的光模型。甚至不需要详细说明光属于哪一种波，就可以用波动模型来解释光的干涉、衍射和偏振，以及用直截了当的方式来解释反射和折射。

模型建造的进一步发展给我们对光的了解带来了更多的好处，但是却产生了一个不希望有的（乍看起来是混乱的）问题：即需要有两种同样有效但应用范围不同的模型。其中之一是简单的波动模型的进一步发展，现在已经证明这种波是电磁性的。另一种模型则完全不用波，认为光是微小的粒子流。某些现象只能用电磁波模型来解释，但是另外一些现象却只能用粒子模型来解释。

那么光是什么呢？答案是：光就是它的本身。我们不能用日常的经验来设想一种能包括光的最根本性质的模型。但

是光的纯抽象理论是有的，从这个理论得到的结论与实验符合得非常一致，并且使我们理解到为什么需要有两种模型。这两种模型都没有错，只是每种模型都有局限性，这种局限性对一切物理学模型来说都是如此。模型是有用的工具，但极少是最后的定论。

本书主要是研究模型，而不是研究真实的事物。研究问题的一种好习惯就是努力辨别出现象的哪些方面结合了模型，哪些方面离开了模型，并且问问我们自己在每一种情况下得到些什么和失去些什么。

2. 标量和矢量



图 1.2.0 伽利略

物理学扎根于观察之中，然而，只有定量的观察才有意义。物理学的理论如果它们不是那些能够用测量某物并将测量结果与预测值进行比较的方法来检验的定量论述就没有任何意义。因此，在正式开始学习物理学之前，我们必须复习一下如何用数学方法来表示和处理物理量。

单位

测量过程实质上就是比较的过程。首先要建立某种可靠的标准量，称为单位，然后用同一种类的其他量与它比较。当我们说一张梯子长 2.6 米时，我们的意思是说，它的长度等于其长短为国际协议所规定的称为“米”的一个确定距离的 2.6 倍。因此，每一次测量最少必须包括两部分：一部分是一

个数字,以便回答“有多少?”这样的问题;另一部分是一个单位,以便回答“是什么?”这样一个问题。

在物质世界中,几乎所有的量都可以用四种基本的量度来表达,它们是长度、时间、质量和电流的量度。这样,各种面积单位(例如平方英尺)是长度单位和长度单位的乘积;各种速率单位(例如英里/小时)都是长度单位除以时间单位;各种力的单位(例如牛顿)都是质量单位与长度单位的积除以时间单位的平方;各种电荷单位(例如库仑)都是电流单位与时间单位的乘积。

单位制就是一组长度、时间、质量和电流的指定单位。其他单位都可以从这些单位推导出来。一切单位都是任意选择的。事实上,在历史上的不同时代和不同地点曾经采用过成千上万种不同的单位。直到今天,普遍使用的大约还有六种单位制。物理学的问题即使不考虑不同的单位制已经是够复杂的了,因此,我们在本书中只限于使用一种单位制。本书选择 MKSA 单位制,在这个单位制中分别以米、秒、千克和安培来表示长度、时间、质量和电流的单位(参看表 1·2·1)。在附录 2 中,也简单地讨论一下现在还广泛使用着的英制单位。

因为一种单位制中的各个基本单位的量值,在某一给定的量度中并不总是很方便的,所以在每一种单位制中还使用其他单位。例如,长的距离常常用英里或公里而不用英尺或米来表示。各种米制单位的最大优点在于它们全都是便于计算的十进位单位,而英制单位的进位就很不规则(例如 1 英里 = 5280 英尺,而 1 公里 = 1000 米)。

因为标准单位的量值保持绝对恒定事关重要,所以它们中间的几种单位近年来都是用自然界中在任何环境下都可看作是不变的并且也不随时间改变的那些量来重新定义的。例