

物理学的基础

R. B. 林 賽 著
H. 馬 根 腦

許 良 英 譯

商 务 印 书 馆

物理學的基础

R. B. 林賽 著
H. 馬根腦
許良英 譯

商務印書館

1964年·北京

FOUNDATION OF PHYSICS

By

Robert Bruce Lindsay

&

Henry Margenau

Wiley, New York

Fourth Printing December 1946

作者林賽和馬根腦是当代理論物理學家。他們的哲學觀點是唯心主義的。在這本書中，他們論述了物理學的邏輯基礎，對物理學的基本概念、主要原理和物理學理論的邏輯結構以及各種理論之間的相互關係所作的闡述，有一定的參考價值。但是，他們對物理學中基本問題所作的哲學概括，是一種基於馬赫主義的主觀唯心主義觀點，值得注意並批判。

物 理 學 的 基 礎

R. B. 林賽 H. 馬根腦著

許良英譯

商 務 印 書 館 出 版

北京復興門外翠微路

(北京市書刊出版業營業許可證出字第107號)

新 華 書 店 經 售

京 華 印 書 局 印 裝

統一書號：2017·105

1964年1月初版

開本 850×1168 1/32

1961年1月北京第1次印刷 字數 475 千字

印張 26 2/16

插頁 1

印數 1—2,500 冊

定價 (10) 3.80 元

目 录

原著者序	5
------------	---

第一章 物理理論的意义

1.1 物理学的事实材料	9
1.2 实验和量度	13
1.3 符号体系	15
1.4 物理学中的符号体系	20
1.5 什么是物理定律?	24
1.6 什么是物理理論?	32
1.7 物理理論的数学展开 元抽象法	42
1.8 元抽象法的进一步說明 波动	50
1.9 边界条件在物理理論中的意义	62
1.10 物理理論发展中的积分方程式和差方程式	70

第二章 物理学中的空間和时间

2.1 問題的性质	75
2.2 心理的空間或者个人的空間	76
2.3 公共的或者物理的空間	78
2.4 过渡到几何空間	79
2.5 物理学中时间的意义	90

第三章 力学的基础

3.1 导言	99
--------------	----

3.2	运动学的概念 位置的规定	100
3.3	位移、速度和加速度概念	103
3.4	动力学的概念 牛顿的力学公设	106
3.5	质量概念	113
3.6	力的概念 运动定律的概要	116
3.7	运动方程式的解释	122
3.8	达朗伯原理和虚位移原理	126
3.9	高斯的最少约束运动原理	137
3.10	赫兹力学	144
3.11	能量概念	147
3.12	哈密顿原理和最小作用	155
3.13	广义坐标和拉格朗日方法	165
3.14	哈密顿的正则方程式	174
3.15	力学的变换理论	181
3.16	总结	189

第四章 几率和它的某些应用

4.1	几率的意义	191
4.2	几率集合的分析性质	196
4.3	一些有用的概念	201
4.4	伯努利问题	204
4.5	作为几率问题的 α 射线的发射	207
4.6	拉普拉斯公式	210
4.7	密度涨落	213
4.8	泊松公式	216
4.9	误差理论	217

第五章 統計的观点

5.1 动力学理論和統計学理論·····	226
5.2 电流的动力学理論·····	242
5.3 动力学理論在热力学中的应用·····	248
5.4 热力学的基本事实·····	254
5.5 統計力学 吉布斯方法·····	261
5.6 关于吉布斯方法的概述和批評·····	300
5.7 达尔文和否勒的方法·····	303

第六章 連續区的物理学

6.1 物理学中連續区的概念·····	335
6.2 标場和矢場·····	343
6.3 变形媒质和张量場·····	348
6.4 电磁場·····	359

第七章 电子論和狭义相对論

7.1 电动力学的电子論·····	379
7.2 电子論的場方程式的不变性·····	384
7.3 狭义相对論·····	392

第八章 广义相对論

8.1 相对論的基本观念·····	420
8.2 在引力場中质点的运动·····	430
8.3 广义相对論力学·····	444

第九章 量子力学

9.1 导言	456
9.2 量子力学的公理基础	472
9.3 一些有用的定理	487
9.4 命题 6 的注解 不确定性	496
9.5 厄密算符	498
9.6 薛定谔方程式的特殊形式	504
9.7 薛定谔方程式的解和本征函数的普遍性质	519
9.8 矩陣	528
9.9 矩陣力学的形式结构以及它对于算符理论的关系	536
9.10 微扰理论	544
9.11 量子动力学	554
9.12 回顾和前瞻	563
9.13 电子自旋	565
9.14 不相容原理	576
9.15 原子构造	582
9.16 量子统计学	585
9.17 狄喇克的电子理论	592

第十章 因果性问题607

术语和专名混合索引	624
译后记	636

原 著 者 序

最近一二十年科学的惊人发展之一是在于对物理科学哲学方面的与日俱增的兴趣，物理学家、哲学家以及一部分外行的公众都一样有这兴趣。这种兴趣大部分是由现代物理学所激起的，特别是由于量子力学（及其在原子构造中的应用）和相对论，它们的概念对于那些由十九世纪科学完成其物理思考的大多数概念似乎都是革命的。物理学家对于他们的学科所依据的基本概念比历来更感兴趣，并且对他们理论的假设本性也开始比以前更了解了；同时，哲学家也找到了用现代物理观念来重新解释他们整个宇宙观的新任务了。

这种兴趣的一个副产品是产生了一些力图以简单语言来解释的书，这种解释很少带有或者根本没有学术上的严格性，而这种严格性正是物理学家所寻求的。这些通俗的和半通俗的著作的广泛成就表明了关于这种讨论的兴趣的成长和强烈。但很多人感觉到这类书籍所引用的论述虽然无疑是有趣的，却不够透彻，并且由于避免分析，时常要貽误读者。为要得到较深入的理解，热心的读者自然要转向比较精详的物理理论著作。但在那里，他时常发觉到基本概念被认为是当然的，而且姑息在特殊问题上分析应用的混乱——分析总要对他的数学能力作更大的要求。其结果是易于被弄得狼狽不堪，并且容易埋怨：物理学要成为一个值得去化工夫的领域，那是太专门了，也太精详了。

手头这本书是为满足那样一些人的需要而写的，他们强烈地感觉到通俗讨论和严格理论著作之间存在着空隙。作者试图从哲

学观点来研究并且討論物理学的基本問題；同时在那些为清楚理解所必要的地方也不犹豫地使用数学分析，因为分析是物理学的語言。因此本书在外表上很象理論物理学的教科书。但应当着重指出，作者的計劃中沒有一部分是想写这种教科书的，而且也不应当把所写的这本书同別的书混同起来。在一切場合下，它都着重在物理描述的方法和物理理論的結構上，而不是在特殊的和精詳的应用上。由此，本书缺少題材方面的完整性：为研究所特別选择的課題，反映了作者关于說明物理思想根本結構的适宜材料的见解。一个相反的特点是較少注意严格的教学法上的要求：这本书不是单独为某一类的讀者而写的，难以期望每个人都觉得它的一切部分都是同样容易和同样有价值的。从来沒有一本科学著作，它使一切讀者讀起来都有一律的兴趣。

但也作了这样的努力，使开头几章在数学上比以后几章简单些。要充分了解前几章，需要有比初等物理学的一般优等知識稍多一些的知識和微积分的基本知識。相对論和量子力学的那几章自然要更加着重地依靠讀者的根基，尽管为要符合于那个为本书的目的所必需的普遍性程度，这里的处理已尽可能地简单了。描述部分和思考部分輪換着，这同整个的分析部分无关。作者願意相信：在这中間，坦率地說来，他們已弄清楚了数学是怎样进到物理学里去的，而且某些数学方法怎样会特別适合于某些特殊的物理理論的。在这方面，他們希望他們能够起些作用（即使是很小的作用）：来推动现代哲学家去比較深入地研究物理学的語言，以便物理学家和哲学家之間逐漸增长的合作对思想进步能有更大的决定意义。此处說这样的话也許不是不恰当的：作者已力求簡洁，而在分析部分里，簡洁是一种財富。另一方面，在闡明概念的意义时，他們并不顧忌爭論。

在任何批判性的評論中，总潜伏着一个非常实在的危險：作者要不是会在說明自己的观点时采取了过于独断的論調而排除別的可能性，由此引起了不滿；否則就会走向另一极端，不如果断分析地介紹許多分歧的方面，因而被責备为軟弱和犹豫不决。本书的作者试图走中間路綫：公平地对待通常的观点，但也不犹豫地強調什么对于它們似乎是最合理的。

书中題目出现的次序反映了作者的基本意向。由此，先是一般的物理定律的意义的分析和物理理論的結構的分析，再加上关于那两个为一切理論都用来表述的空間和时间基本范畴的討論，接下来的是由力学和随后的統計学开始的特殊理論的詳細論述。这給晚近的相对論和量子力学的介紹安好阶梯。本书以考查那个在当代物理哲学思想中或許是最热烈的討論題目——因果性——作为結尾。

作者所希望的是，对于非常广泛的讀者，包括物理学家、哲学家、数学家，以及其他一切为物理科学任何方面所吸引的人，本书都会是有价值的，并且会引起兴趣。它的开头当然是产生自物理学的基础，那是两位作者过去几年在他們各自的研究所里提出来的。他們确信，它会被用来作为別处类似課程的根据，或許会成为提出这种課程的一个刺激。作者觉得，某几章是教授理論物理学高等課程的合适材料。这一点就应当使本书值得作为輔助讀物，即使不是作为正规教本来使用的話。

在象目前这样的一本著作里，很难特別感謝那些其思想被援引过的人。整本书里时常出现的脚注，就部分地用来偿还作者在这方面所負的恩义。对于那些在出版前讀过手稿的人，以及对于那些为本书表述的正确性和明确性作过重大貢獻的人，都要深致謝意。两位作者都要对耶魯大学的雷·培治(Leigh Page)教授表

示衷心的感谢，为了他的有重大价值的指教和鼓励。列在首名的作者还要感激他的妻子瑞車耳·林賽，为了她在手稿上和校样上給以很大的帮助。

R.B.L.

H.M.

1935 年 12 月 2 日

第一章 物理理論的意義^①

1.1 物理学的事实材料

物理学关系的是人类經驗的某一部分。物理学家从这种經驗构成他所說的物理世界，物理世界这概念产生自某些观察到的事实同那个由它們的知觉所引起的推理之間的一种特殊結合。大多数的物理学教科书都尽力以最适当的教授法，按照历史的发展来向学生介紹物理世界的特征，可是本书的主要目的却在于对这些特征的邏輯組成的考查，把它們分析成为一些象所观察到的事实、定义、假設和演繹这样的一些要素。

那末什么是經驗？它同物理学到底有多少关系？要詳細回答前一个问题，就得深入哲学里去，而这并不是本书原来所要做的。为了避免可能的誤解，在这一点上有必要作些說明。我們应当立即假定經驗和知識的可能性是任何科学基本根据的形而上学基础。进一步我們还应当承认正常人的感官知觉的真实性，并且在这里禁止作关于正常性的意义的爭論。物理学家自然象一切科学家一样，我們假定他除了有檢驗正常知觉的客观判据以外，必須永远防止不正常的知觉。我們还必须允許交換知識的可能性，这就是說，一个人能够以自己的感官知觉和思考来理解別人的感官知觉和思考。

但在科学照我們所知道那样的成为可能以前，还必须作进一

① 这一章开头六节充滿着唯心主义的歪曲，其中基本論点主要来自馬赫、彭加勒和布立治曼，讀者要不是为了批判的目的，可以不去看这六节。——譯者

步的关于經驗的假定。常人之間的經驗不但一定相互符合，而且还必定显示出某种**一致性** (uniformity) 来。那就是說，許多感官知觉的出现并不是完全无规律的，而有某些多少是明确的感觉群在反反复复地重复着，它們只有一些很小的而且往往是微不足道的改变。日夜的交替和它的伴随现象就說明了这一点，讀者能从一切科学部門中举出别的例子。这样，在自然现象里好象有一种秩序，这就是通常所說的因果律：如果某一群感官知觉多次出现时都有第二群的感官知觉伴随着，我們就推测第一群的重现总要伴随第二群的重现。这里不去詳細討論关于各种不同形式的一致性的假定对于物理学的意义。以后(第十章)我們会有机会比較精密地来研究这些問題，这里提到它，只不过为了便于开始我們的討論。

现在很清楚，物理学并不关涉到人类經驗的全体。那末，怎样来选择物理学的事实材料呢？但在回答这个問題以前，讓我們先完全弄明白下面这一点：象一切科学一样，物理学的任务是要得到对經驗的始終一貫的**描述** (description)。至于处在經驗背后的一个可能的实在世界，物理学什么也沒有說。物理学虽然是建筑在知識的可能性和經驗的一致性这两个假定上面，但另外一些同实在論和唯心論有关的哲学問題，对于它却毫无意义；^①了解到这一层是极端重要的。人們时常听說物理学的任务是在描述或者解释物质世界的行为。我們不免感觉到这种說法是暗示着这样一种世界的存在，尽管这里所說的“物质”这两个字的意思很不清楚。物理学家曾以多年的努力要給**物质**这名词以清楚的意义，无疑地，我

① 实证主义者(本书的作者公开声明自己是属于这一派的)从来都标榜着他們是超越哲学两大阵营以外的，实际上他們是最狡猾的唯心主义者，他們故意回避唯物主义，以至不願意提它的原来的名称，而用“实在論”来代替它。——譯者

們有理由相信，我們今天給這概念的意義，是遠超過五十年前的物理學家所給它的。但是，對於象物質這樣的物理概念有一個清楚的理解，並不完全就等於假定了在我們的感官知覺的背後有一個對物質的存在負責的“實在”世界。也許可以不妨作這樣的假定——事實上，有些人會認為它能夠使他們比較牢固地掌握住並且信賴物理理論；但必須着重指出，這個假定不是物理學的必需部分，在物理學的邏輯發展中最保險的辦法，是把它完全省略掉。^①實際上可能這樣來看：把這個假定當作物理學家產品的一部分來採納，會引起困難。物理現象背後實在的物質世界，除非它對於我們的緩慢的但穩步前進着的知識是永久不變的，那簡直就用不着去相信它。但我們關於它的知識，自然地是以那些流行的物理理論為根據。情況好象是這樣的：對於這種世界的信仰，可以鼓勵人去過於嚴格地拘泥於那些相當成功的物理理論，在碰到新經驗的要求時，也極少允許對這些理論作必要的修正。由此可見，開頭一段所用的“物理世界”這名詞不能解釋作是同實在世界完全一樣的。

我們現在應當回到前面第二段開頭提出來的問題：怎樣選擇物理學的事實材料？經驗是多方面的，物理學所牽涉到的只是它的某些方面。如果我們回想一下科學的初期，就會看到希臘哲學家和其他的古代思想家都試圖理解許多常見的自然現象，例如天體的運動、河水的流動、潮汐、虹、火的作用，等等。除了他們對自己所處這個世界的好奇心和想找出這世界里某種秩序的願望，就很難從別的任何方面來說明他們的興趣。^②在他們的研究中，逐漸

① 他們開宗明義就來反對“物質的存在”，要在邏輯發展中“把它完全省略掉”。但物質的存在是客觀的事實，不是閉上眼睛所能“省略”掉的。——譯者

② 固然這種好奇心也時常以實用的形式出現：迦勒底人(Chaldeans)利用他們對行星位置的觀察，來作占星術的預卜。

产生了某种方法。特别是发现到某些现象由于显然有較稳定的性质,使它們比較容易被理解;而在这些现象中,生物的行为只是主观(比如对无生命世界的观察)加进去的。另一方面,生物本身所显示的现象,很早就被看作是属于不同的范畴,这样划分是由于它們沒有无生命的自然现象所特有的确定性和稳定性。由此,我們得到了把科学分成物理科学和生物科学的分类根据。这里所强調的这种区别,是作为历史的,而不是作为邏輯的。以后我們將有理由看到,科学方法也許只有一种,那就是物理学的方法。^①近代一切科学部門的进步,充分地証实了这种看法。不过暂时还让我们把所考虑的物理学的題材限制在无机的自然界里。

早期科学家的注意力大部分只限于他們所能观察到的东西。所以最初的物理学大部分是关于自然界的观察的,而沒有涉及对自然的控制,控制是通过**实验**这媒介引进来的。比如对于金属遇热膨胀的粗略观察,同对于这膨胀是怎样精确地发生的实验研究,是很不相同的,因为后者包括要回答“多少?”的問題。关于象日蝕和月蝕之类的天文现象,象虹之类的光学现象,等等,都能作类似的說法。这里我們注意到的区别,是經驗的质的側面同量的側面之間的区别。几乎所有固体当放手(或者离开別的支持物)时就要落地,这是一个对于一切常人都共同的經驗陈述,因而是一个物理事实。但物理学家不以这种形式的命題为满足,虽然的确有过一个时期,整个物理学都是由这种命題所組成。物理学家觉得这些命題太含糊,他們要得到更加深入的理解,并且能作更进一步的描述。实现这个打算的,是**实验**和**量度**的功能,为要进一步研究物理学的事实材料,我們必須轉过来研究它們。

① 把科学“統一”为物理学,是实証主义者在三十年代“发明”的新花样,他們曾在“統一科学”上大做文章。——譯者

1.2 實驗和量度

什么是實驗？說它是被控制的感官知覺而不作一些解釋，那是很不夠的。經過考查以後，會發現這概念包含着很多觀念，整個看來是相當複雜的。首先，實驗的進行意味着把注意力集中在經驗的一個相當小的部分里——從全體物理現象中抽象出一個有限的範圍。第二，這意味着實驗者對於這群感官知覺已經有了先存的觀念。這些觀念大抵是從以前的觀察或者是關於這種觀察的回想所產生；這些觀念促使實驗者提出問題，而他相信只有實驗才能回答這些問題。我們時常聽說，實驗者在进行他的工作时，必須公正而沒有成見。但這決不是說要他去掉同實驗研究的感官知覺領域有關的思想。第三，實驗這觀念含有某種代表實驗者的支配動作的意思。實驗者為着希望經歷到在被動狀態中得不到的經驗，他必須進行某些操作(operation)。最初這種操作可以完全是手工性質的。比如可以使兩塊不同重量的石頭從同一高度落下，看它們是否同時落地。（當然會注意到，即使在這個簡單的操作里，就已從根本上進來了空間和時間的觀念；後面我們要充分地來討論這件事。）或者可以把一塊玻璃做成三角稜鏡，使日光通過一個小孔後射過這個稜鏡，來考查日光照到稜鏡另一面放着的屏上的現象。這樣的例子可以很容易地舉出很多；我們要強調的是實驗的操作的特徵。現代最複雜的實驗，用到許多複雜的玻璃和金屬制的儀器，而大部分的操作是將電門打開和关上，但還可看出它們的特徵依然是一樣的。

至此，我們了解到實驗的明顯特點是：(1)從經驗的全體中，抽象出一個要特別加以研究的小範圍；(2)實驗者的心里存在着同這

范围有关的观念，这些观念使他构成了他要去寻找答案的某些問題；(3)实验的操作特征，这包含着代表实验者的明白规定的动作。

这个程序，对一般的科学都是共同的。但是在物理学中，还得以十分确定的形式加进另外的元素。这就是量的侧面，是由**量度**来表明的，它也许是物理科学最重要的特点。表现量的一个高度成熟了的思想形态，是**数学**的形态，它包含了数的观念。^①物理经验同数相联系，在最初阶段可以是很简单的；例如，人们可以考查并且确定太阳光谱中容易辩别的颜色的数目，或者天上行星的数目，等等。数的初步的应用只在于数物理对象的个数和物理性质的种数，在实际的实验中，当然远不止此。它只表明一个方面，即所谓**基数**(cardinal number)。用**序数**(ordinal number)来表示的次序的概念，也很重要，比如可以把一群大小相同而质料不同的物体，依它们的重量增加的次序(密度的原始观念)排列起来。即使如此，我们觉得这种结合还是太肤浅。进一步，我们应当认识到这样的事实：科学的描述是用**空间**和**时间**来表达的，而物理的量度最后总是要关涉到这两个概念同数的结合。

根据关于空间的某些没有理由但却是根深蒂固的观念，一根等间隔刻划记号的杆子(即标尺)，乍看来就可简单地当作量长度的工具，虽然这样的操作严格分析起来却非常复杂。但凡是要作量度的物理实验，本质上都可还原为下面这种操作，即观察点的重合，或者观察指针在标尺上的标度，或者将一些这种重合的组作比较；而观察的符号表示是用伴随着标度的数来作的。

因此，立即可明白，要讨论物理的量度，必须牵涉到一种对空间、时间和数的物理意义的批判。在每一次实验中，几何学都要参

^① 见丹支希(T. Dantzig)的《数，科学的语言》一书(Macmillan Co., 纽约, 1930年)。