

从近代物理学来看宇宙

(德) 普朗克 著

商 务 印 书 馆

統一書号: 2017·20
定 价: 0.26 元

从近代物理学来看宇宙

(德)普朗克著

何 青 译

商 务 印 书 馆

1959 年 · 北京

內 容 提 要

作者普朗克(1858--1947)是德国卓越的理论物理学家, 诺贝尔奖金获得者。在物理学上有过许多杰出的贡献(1901年建立了量子论)。他还发表过有关科学与哲学问题的论文, 本书就是他在1929年发表的这方面的通俗小册子。

他从哲学的角度论述当时物理学发展中的成就和困难, 接触到所谓“物理学危机”中争论的问题, 提到物理学的方法论, 相对论和量子论的意义, 因果关系、决定论的性质, 物理学的展望等等。

在不少地方, 他的看法和马赫、奥斯特瓦尔德等唯心主义科学家针锋相对, 表现了唯物主义倾向, 但是信仰主义的痕迹也是历历可见的。

本书原名“Das Weltbild der neuen Phys.k”, 1934年本馆曾根据 W. H. Johnston 的英译本翻译出版, 名“近代物理学中的宇宙观”, 现据同一译本重新翻译, 书名更译为“从近代物理学来看宇宙”。为了帮助读者了解作者生平及其思想, 我们从“苏联大百科全书”中译出“普朗克”一文, 附在本文前面供读者参考。

Max Planck

THE UNIVERSE IN THE LIGHT OF MODERN PHYSICS

W.W. Norton & Co.,
New York, 1931

从近代物理学来看宇宙

(德)普朗克著 何清译

商 务 印 书 馆 出 版

北京东总布胡同10号

(北京市书刊出版业营业许可証出字第107号)

新 华 书 店 总 经 售

京华印书局印刷 龙门装订厂装订

统一书号13017·20

1959年1月初版 开本55×1168 1/32

1959年1月北京第1次印刷 字数34千字

印张1 1/16 印数1—6,200

定價(9) 0.26

普朗克

麦克斯·卡耳·恩斯特·路特維希·普朗克 (Max Karl Ernst Ludwig Planck, 1858—1947), 是德国杰出的理論物理学家。从 1894 年起, 他是柏林科学院院士。他起先在慕尼黑大学求学 (1874—1877), 后来在柏林大学攻讀 (1877—1878)。德国卓越的学者格林姆高里茨和基尔霍夫是普朗克的老师。1885 年, 普朗克被聘担任吉里斯克大学的教授, 1889 年, 基尔霍夫去世后, 他就成了基氏在柏林大学的繼任者。在德国物理学家克劳修的著作的影响下, 他开始从事热力学的研究工作。这项工作后来成为他的科学研究工作的基本方向。普朗克的博士学位論文 (1879) 以及他在慕尼黑大学写成的著述, 使他获得了教授的资格。上述學位論文和著述触及到热力学第二定律的論据, 以及运用热力学来解决主要是物理和化学方面的許多問題。他所研究出的有关稀溶液的热力学理論, 具有十分重要的意义。1887 年, 他写出了“能量守恒定律”这一著作, 对能量这一概念的解釋起着肯定的作用。

普朗克的一些最重要的著作, 都是属于有关溫度研究的热力学理論方面的。在这方面, 必須首先指出他在 1900 年确定的 (“标准頻率譜中的能量分布定律論”全集) 能量在研究絕對黑体的頻率譜中的各种能量分布公式。它們有着巨大的理論意义和实践意义。这些公式是通过許多学者以前的著作而得出的, 其中也包括俄国学者——B. A. 米赫尔逊和 B. B. 高里津的著作。有一个公式, 是普朗克根据个人的認識, 通过实验的途徑而發現的。后来 (1900 年 12 月), 普朗克在柏林物理学会所作的一次报告中指出, 假定振盪能量始終是从 $h\nu$ 得出的整倍数, 那么他的定律就是从理論上得出

的。其中 ν 是輻射的頻率，而 h 是称作普朗克恒量的新物理恒量。普朗克的著作的杰出意义在于：普朗克企圖从理論上論証他所發現的公式，敢于和經典的物理学决裂，提出关于輻射体系即直綫振子与輻射范围間的能量的間断代謝和量子代謝的观念。这些假設的进一步發展，使普朗克(1906年)有可能表明，普朗克恒量的基本意义是作用量子，并且用它来确定量子論的原理，这些原理对現代自然科学發生非常重要的影响。普朗克有关相对論各种問題研究的若干著作，具有莫大的意义。

普朗克常常發表关于科学和哲学主題的报告，以及有关这类問題的学术論文。他是站在唯物主义的立場去解决許多具体的科学問題的。他在他的“世界物理狀況的一致性”的学术論文中，公开反对奥国的唯心主义的哲学家和物理学家馬赫。在这篇学术論文發表以后，紧接着，普朗克和馬赫之間便發生了一場論战。在这次論战中，馬赫的唯心主义的世界觀以及他的有关各种历史問題和物理学方法論的部分著作，都遭到了普朗克的尖銳批評。然而，普朗克的哲学言論中，除掉一定的唯物主义的言論外(例如关于因果問題)，还有公开宣揚信仰的东西(例如他的論文和演說：“科学和信仰”、“宗教和自然科学”等等)。

(譯自“苏联大百科全書”第33卷)

I

物理学是一門精密的科学，所以必須依据量度，而量度又必須运用感官知觉。因此，物理学中所应用的一切观念都是由感觉世界推演出来的。由此可知，物理学中的定律归根到底必須有感觉世界中的事件做印証。这样一来，許多哲学家和科学家都相信物理学在根本上只和这一特殊的世界有关。他們心目中的特殊世界当然就是人类的感觉世界。打个比方說，在这种观点之下，通常所謂“客体”，从物理学看来，便都不过是感官材料在某一个地方的复合而已。值得注意的是这种說法无法从邏輯上加以否定，因为邏輯学本身并不能引导我們超出我們自己的感觉范围之外，甚至也不能迫使一个人承認他本身之外还有其他人独立存在。

然而，在物理学中，正如同其他科学一样，單是常識本身并非至高无上的标准，理性也应当占有地位。同时，單是沒有邏輯上的矛盾，并不一定表示所有的东西都是合理的。理性告訴我們，當我們不看所謂“客体”，不去注意“客体”时，客体也仍然繼續存在。理性又告訴我們，个人和全体人类再加上由感官感知的全部世界，在广漠无边的大自然中也不过是滄海一粟而已。自然的規律决不会受人类脑筋的影响。相反地，在地球上有任何生命以前这些規律早就存在，并且在最后一个物理学家死了很久以后也仍然繼續存在。

正是由于这一类的理由，而不是由于任何邏輯上的說法，才使我們不得不承認，在感觉世界的背后，还有另一个实在世界存在。实在世界是在人类之外独立存在的，而且我們也只能以感觉世界为媒介，并运用感官給我們的理解工具——某些符号，間接地感知它。这就好象是我們透过一付光学性質完全不明了的眼鏡觀看某

一客體而對它發生了興趣，並被迫對它作出玄思一樣。

如果這一說法讀者感到難以理解，並且看到實在世界公然被說成是存在於感覺世界之外，因而覺得對這種實在世界的觀念無法接受；那麼我們可以指出，一個盡善盡美的物理學理論和這樣一個尚在發展時期的理論是迥然不同的兩回事。在前一種情形下，理論的內容經得起精密的分析。因而我們應用到感覺世界上去的觀念在每一點上都能符合這一理論的公式。在後一種情況下，我們必須從許多個別的量度上推演出有一套理論來。後一問題比前一問題困難多了。物理學的歷史也告訴我們，凡屬後一問題得到解決的地方，都假定有一獨立於感覺之外的實在世界存在。從道理上講來，將來的情形似乎也肯定還是這樣。

但除了感覺世界和實在世界以外，還有一種物理世界應當和前兩種世界仔細地區別開來。後者和前二者的區別在於它是有限的人類心靈提出來的審慎的假說，因此便可能發生變化和經歷某種演化過程。這樣說來，這種物理世界的功用便可以分兩方面來講，看它是和實在世界相聯系，還是和感覺世界相聯系。在前一種情況下，其作用在於使人尽可能全面地理解實在世界，而在後一種情況下，則在於尽可能用最簡單的方法把感覺世界描述出來。這兩種表達方法並沒有必要分出一個高下來。因為單就其本身來看，它們都是不完善的，而且也是不能令人滿意的。因為，從一方面說來，實在世界決無法直接感知；而另一方面，所有若干互相關連的感官知覺中，究竟那一個表達得算是最簡單的，這是無法肯定答復的問題。在物理學史上常常發現這樣的事情：在一段時期中這兩種表達方式有一種被認為比較複雜，既而又發現它還是其中較簡單的一種。

可見要緊的一點是兩種表達法在實際應用時並不會發生矛盾，而是相輔相成的。第一種表達法在觀察者的想象力摸索前進

时是一个不可缺少的助手，并且也能給他提供許多观念。沒有这些观念他的工作不会有成績。而第二种表达法則可以为他奠定一个坚牢的事实基础。一个物理学家究竟喜欢形而上学的观念还是实証的观念，对他的实际观察都将發生影响。但除了形而上学者和实証主义者以外，还有第三种研究者只从物理学观点来看問題。这种人和前两种人都不同，他們不常注意物理世界和实在世界、感官材料世界之間有何关系，而常注意物理世界的內在統一性和邏輯結構。这些人形成了“公理学派”。他們的活动和其余两类人同样是必要的和有用的。但他們也同樣有發生偏执的危險。当偏执發生在他們身上时，就会使他們产生无益的形式主义，而不去对物理世界作更透徹的理解。物理定律一旦脫离实际，便不再被人認為是独立測得的量值之間的关系，而只被認為是某一量值从其他量值推演出来时所根据的定义。这种方法有特別引人入胜的地方，因为物理量值用公式来确定比用度量法来确定要精确得多。但这种做法就等于拋却了量值的眞实意义，同时，我們必須記住，意义如果發生变化而名称仍旧保持不变时往往会产生混乱和誤解。

因此，我們發現物理学家在对物理世界拟制一套有系統的看法时，每个人的方向和观点是不同的，然而努力的目标却都是一致的，大家都在創立定律來說明感觉世界中各事件之間的关系以及感觉世界与实在世界的事件之間的关系。前述两种不同的趋向在不同的历史时期中自然是互相消長的。在上一世紀后半期物理世界呈現着一种稳定状态，于是形而上学观点便有占統治地位的趋势，并且一般認為相对地說来：对实际世界的完整認識已經比較接近了。相反地，在现代这种动蕩不定的时期，实証主义倒趋向于取得优势。因为在这样的时期里，一个謹慎的研究者必将向眞正能得到保障的地方去寻求支持他理論的事实，而这种地方又剛好存在于感觉世界的事件之中。

如果我們看一看物理世界觀在历史过程中所具有的各种不同的形式,并且找一找这些变化中所具有的典型特性,便可以知道有两件事表現得特別突出。首先,从整个过程上看来,各种不同的物理世界觀的一切变化并不是有节奏地来回摆动,这一点是十分明显的。相反地,我們看到有一种極為清楚的演变过程相当稳定地朝着一个固定的方向前进。更恰当地說,这种进展就是丰富感觉世界的內容,使我們的知識变得更深刻,并且使我們能更牢固地把握感觉世界。这方面最显著的例子,在物理学的实际应用中就能找到。現在,縱使是最頑固的怀疑主义者,也不能否認我們比以往各世代都看得更远,听得更远,并能控制更大的速度和力。这种进展意味着知識是不断的增長的,这一点也是同样肯定的。这种知識的增長在未来的任何时日中都不可能被認為是錯誤而抛弃掉的。

其次,十分令人注目的是,每一次物理世界圖景的簡單化和改进的动力都来自一种新的观察,也就是出自感觉世界中的某个事件。但同时这一物理世界的結構也愈来愈远地离开感觉世界,并愈来愈多地丧失它以往的拟人性質。更有进者,肉体感觉則更加徹底地被排除掉,例如在物理光学中,人的眼睛便不再起任何作用了。在这种情形下,物理世界便日益抽象,純形式的数学計算便起着愈来愈重要的作用,而質方面的差別也愈来愈多地用量方面的差別来解釋。

我們已經在前面指出,物理世界觀已經不断地完善起来了,而且也已經和感觉世界發生了联系。如果把这种事实和上一段所講的情形合起来看,結果是非常惊人的。一眼看上去显然完全說不通。我認為这表面上的矛盾只有一个合理的解釋。这就是說,当物理世界觀完善以后,它同时也就远离了感觉世界。这一过程等于是接近实在世界的过程。对于这一看法我还提不出邏輯上的証明来,我們无法通过純理性的方法来証明实在世界的存在,我們也

同样无法用邏輯方法来否認实在世界的存在，最后的結論必須以常識的世界观为基础。有一句老話說，最有效果的世界观就是最好的世界观，这句话至今还是适用的。物理学以往曾承認一条規律，認為只有遵循这样一条道路才能得到影响最深，价值最高的观察結果，这条道路所引向的目标就是对真正现实的認識，而这在理論上說来又是达不到的。物理学要是沒有承認这一条規律的話，就可能在一切科学部門中占極特殊的地位。

II

最近 20 年来，物理世界观到底發生了一些什么样的变化呢？我們都知道，这一时期中所产生的变化是一切科学發展的变化中最深刻的一个，我們也知道这一变化的过程还没有終了。但看来在这一陣紛扰的变化中，这一新世界的結構有某些富于特性的形式也在开始形成。單就提供某些改进的意見來說，这些形式也值得叙述一下。

如果我們把旧理論和新理論比較一下，就会發現把一切質的區別都追溯到量的區別上去这一过程已經获得重大的發展。例如各种化学現象便都已經用空間和数字的关系来解釋。根据近代观点來說，最終的实体不外乎两种，即正电和負电。两种电都是由許多性質相似的微小質点組成的。这些質点都帶着大小相等、作用相反的电荷。带正电的質点称为質子，带負电的質点为电子。每一个化学原子在电荷上都是中性的，它們是由一些聚在一起的質子和数目与之相等的电子組成的，有些电子牢固地固定在質子上，并与質子共同組成原子核，其余的电子則繞着核的周圍运行。

在各种元素中以氫原子为最小，它的原子核只含有一个質子，

核周圍也只有一个电子繞行。最大的原子則是鈾原子，共有 238 个質子和 238 个电子，其中只有 92 个电子繞着核周圍运行，此外都固定在核內。其他各种元素的原子便处在这两种原子之間，有許多种不同的組合方式。一个元素的化学性質不在于質子和电子的总数，而在于繞行的电子数，它的原子序数也是根据这种繞行电子的数目决定的。

这种重要的进展，只是由于成功地运用了許多世紀以前就开始發展的观念而得来的。除此以外，还有两个新观念使近代的世界观和前人的完全不同，这便是相对論和量子論。新的物理世界中也以这两个观念为最大的特色。它們几乎同时在科学界中出現，但这仅止是一种巧合；因为从它們的内容和对物理世界观的实际影响上来看，彼此是完全不同的。

最初，相对論似乎在傳統的时间与空間的观念上引起了一些混乱；但在長久过程中，却被証明是經典物理学結構的完整形式和最高形式。如果要用一句話來說明狹义相对論的正面結果，那便是把时间和空間的观念結合到一个統一观念里。这当然不是說时间与空間在性質上絕對相同。它們之間的关系很象实数和虛数組成复数时彼此之間所發生的关系一样。从这方面看来，爱因斯坦在物理学方面的工作就很象高斯在数学方面的工作。我們不妨把这对比再引伸一步說；物理学中的相对論从狹义說过渡到广义說就好像是数学中的綫性函数論过渡到一般函数論一样。

对比的說法很少有完全符合的，目前的說法也不例外。但这种对比却能使我們得到一个很好的概念，認識到在物理世界观中导入相对論是获得統一性和完整性的重大步骤。这一点在相对論的結果中表現得很清楚，尤其在于它把动量和能量結合起来，把質量和能量这两个概念統一起来，把慣性質量 and 重力質量这两个概念統一起来，同时又把引力定律化为黎曼几何。

这种提綱挈領的說法虽然很簡短，但却包含了大量的新知識。上面所提的新观念对自然界的事物來說，無論大小都可以适用，小至于發射出波和微粒的放射性原子，大至于千百萬光年以外的天体运行都莫不如此。

关于相对論，最后还要补充几句：这方面惊人的事情也許还在等着我們，尤其是考虑到电动力学和力学融合的問題还没有完全解决时，这一点就更加明显。同时，相对論在宇宙論方面的含义也还没有徹底廓清，主要的問題在于一切都要看外層空間的物質是否具有有限密度，而这一問題却还没有得到解答。但不論这些問題最后得到的答案是什么，相对論原理总归是把經典物理学的理論發展到了最完善的境界，它的世界觀也被琢磨到了非常令人滿意的程度，这是一个确定不移的事实。

以上的事实可以充分說明关于相对論的問題为什么不必再多費時間来討論。同时我也願意指出，关于相对論已經有不少的作品可以滿足各方面讀者的要求了。

III

以上所說的宇宙觀似乎差不多完全符合需要了。但量子論一出現，这一狀況馬上就被推翻了。如果要把量子論这一假設中最富有特性的观念也用一句話表达出来，我們便可以說它的中心内容在于介紹一个新的和普遍的恒量——元作用量子。这一恒量就象实在世界中新傳来的神秘訊息一样，在每一种量度中老是出現，而且不断为其自身要求占得一席之地。但另一方面，它和物理学所提供的傳統宇宙觀又極不和諧，終於打破了旧观念的框架。

在某一个时期中，經典物理学大有整个被打垮的危險。但事

实逐渐明显起来，正如同相信科学漸进說的人肯定預言的那樣，引入量子論似乎並沒有导致物理学的毁灭，而是导向了一个相当深刻的改造。在这改造过程中，整个这門科学的内容都变得更加广泛了。因为作用量子如果是无限小的，量子物理学就会和經典物理学融为一体。实际上經典物理学結構的基础就非但被証明是不可动搖的，而且由于和新观念結合实际上还变得更加巩固了，因此，我們最好是先談談經典物理学的情形。

首先，我們最好是列举一下經典物理学的主要构成成分：这些构成成分都是一些普遍恒量，如引力恒量，光速、質子与电子的質量与电荷等。这些也許是实在世界中最具体的符号，在新的世界观里它們的意义依然不变。其次，我們便要举出能量守恒和动量守恒等重要的原理，它們曾被怀疑过一个时期，但終于能确保无恙。应当強調指出的是：在上述的轉变过程中，公理学派認為这些原理單純是一些定义，事实証明情形并不是那样。再其次，我們还要举出热力学中的主要定律，尤其是第二定律。这一定律在采用熵的絕對值之后，便得到了一个比經典物理学中更精密的公式。最后我們要指出，在量子物理学的新領域中，相对論被証明是一个極可靠而明确的指南。

說到这里，我們要問一句，如果經典物理学中这一些基础完全沒有更动一点的話，近代物理学和以前的物理学是不是会有任何区别呢？这問題只要把元作用量子稍微仔細地查一查就能得到解答。元作用量子意味着从原則上講，在能量与頻率之間在原理上可以成立这样一个方程式： $E = h\nu$ 。可是这个方程式，經典物理学完全不能解釋。由于能量与頻率的量綱完全不同，这問題便非常棘手。能量是一个动力学的量，而頻率則是运动学的量。这一事实本身并不存在任何矛盾。量子論假定动力学和运动学之間有一个直接的联系，这一联系之所以产生，是由于能量的單位是以

长度和時間的單位为基础的,因此,質量的單位便也是如此。这样一来,这一联系非但不是矛盾,而且还能丰富經典物理学的理論,使它更加完善。然而直接的矛盾还是存在的,它使得新理論和經典理論无法調和。下面的論点便可以說明这一矛盾。頻率是一个局部量值,只对于空間的某一点才有一定的意义。机工振动、电振动和磁振动的情形都是这样。因此,只要把有关的某一点观察一段足够的时间就行了。但能量則是一个相加性。因此按照經典物理学的說法,某一定点上的能量是沒有意义的,原因是討論能量时就必須說明所談的能量屬於哪一个物理体系,正如同某一定的速度,如果不說明它所參照的体系就不可能討論一样。我們选择物理体系时是完全自由的,选小的选大的都可以。因此,能量的值在一定程度上总是任意的。困难的問題在于要把这种任意的能量和限于某局部的頻率列成方程式。这两个概念之間的鴻沟已很显然。为了要填平这条鴻沟,便須要采取一个根本性的步驟。这一步驟实际上意味着要和在經典物理学中始終当成公理来运用的那些假定分家。

以往人們都相信,任何物理体系都只能根据一种因果关系运行。在这种因果关系下,物理世界的一切事件都被說成是由个别的和无限小的空間部分中所發生的局部事件組成的。这兒所謂的物理世界和以往一样,不是指实在世界,而是指物理学的世界观。此外,人們还相信,这些基本事件是完全根据一系列的定律,由時間和空間上相邻的局部事件来决定的,至于其他事件則可以完全不管。讓我們拿一个应用得極广泛的具体例子来看:假定有关的物理体系是由在总能量恒定的保守力場中运动的一組質点組成的。那么,依照經典物理学看来,每一个个别的質点在任何时候都处在一定状态中,也就是說,它有一定的位置和一定的速度,它的运动可以根据它的初态和它在运动中所經過的空間部分的力場的

局部性質精密地計算出來。只要這些材料是已知的，有關的質點體系的其他性質就無需過問了。

在近代力學中，情況就完全不同了。從近代力學看來，單單依靠局部關係並不足以擬定運動定律的公式。其情形正好象對一幅圖畫的各部分作出微觀的觀察並不足以明了全圖的意義一樣。反過來說，如果不把有關的物理體系當作一個整體，我們對自己所尋求的物理學定律就不可能得到一個完滿的解釋。從近代力學的观点看來，一個體系中的每一個質點，在某種意義上講，不論什麼時候都可以在該體系所佔據的空間的各部分中同時存在。這種同時存在的情況不但適用於質點周圍的力場，而且適用於它本身的質量和電荷。

因此，我們可以看到，受到考驗的不是別的，而是質點觀念本身——經典力學最基本的觀念。我們不得不拋棄這一觀念早期的基本內容，而只在某些特殊的邊緣情形下保留它。但如果我們根據上述思路追溯下去，就會弄清在更普遍的情況下可以用來代替質點觀念的到底是什麼。

（對技術性問題不感興趣的讀者可以把以下一節略去，接看16頁）。

〔量子論假定能量與頻率之間有一個方程式存在。這個假定如果要具有一個確定的意義，也就是說如果它具有有一個可以脫離自身所涉及的特殊系統而獨立的意義，那麼相對論原理就規定動量矢量^①應該相應於一個波數矢量。換句話說，動量的絕對值必須相應於波面法綫與動量方向相符合的那種波的波長倒數。這種波不能認為是存在於一般的三維空間之中，而是存在於所謂的位

① 矢量是具有一定方向的量，如“每小時向東（或任何其他方向）100公里”便是一個矢量——英譯者注。

形空間之中，其量綱完全取決於該體系的自由度的數目，而其長度元的平方則由動能的 2 倍來量度，換句話說就是由總動量的平方來量度。可見波長是從動能中產生的，也就是從恒定的總能量和位能之差中得出的。這種差必須肯定是前述位置的函數。

頻率與波長之積等於波的傳播速度，換言之，也就是等於給定的波（所謂物質波）在位形空間中的相速度。如果我們在經典力學的一個著名方程式中代入一個適當的值，就得到了薛定諤所創立的齊次綫性偏微分方程。這一方程式奠定了近代量子力學的基礎，就象牛頓、拉格倫日和哈密頓創立的方程式在經典力學中所起的作用一樣。但這兩種方程式之間却有一個重要的區別，問題在於後一些方程式中，位形點的坐標不是時間的函數，而是些自變數。因此，在經典物理學中，任何一個體系的運動方程式都有好些個，其數目有多有少，依該體系的自由度的數目而定，但量子方程式則每個體系都只能有一個。經典理論中的位形點在一段時間中畫出一條確定的曲線，物質波中的位形點則又在任何時候都充滿了整個無限空間，連位能比總能量大的空間也包括在內。因此，根據經典理論，在這些區域里，動能便成了負數，而動量就變成虛數。這種情形正和所謂的光的全反射相似；根據幾何光學，光由於折射角成了虛數，所以就全部反射回來。但根據光的波動說，光雖然不能成為平面波而透入第二種媒質，但在其他狀況下是完全可能透入第二種媒質的。

同時，位能超過總能量的位形空間中也有點存在這一事實，對於量子力學講來是極重要的。計算證明，在所有這類情況下，有限波不相當於能量常數的任何給定值，而相當於某一個一定的值——所謂特征能量值。這種值可以根據波動方程計算出來，並隨着給定的位能的性質而變化。