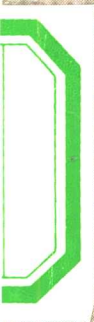


严密自然科学基础近年来的变化

〔德〕W·海森堡著

上海译文出版社



严密自然科学基础 近年来的变化

〔德〕W·海森堡著

《海森堡论文选》翻译组译

上海译文出版社

严密自然科学基础近年来的变化

〔德〕W·海森堡著

《海森堡论文选》翻译组译

上海译文出版社出版

（上海延安中路 967 号）

新华书店上海发行所发行 上海新华印刷厂印刷

开本 850×1156 1/32 印张 6.5 字数 122,000

1978 年 8 月第 1 版 1978 年 8 月第 1 次印刷

书号: 13188·2 定价: 0.62 元

内 部 发 行

译者的话

海森堡(1901—)是德国现代物理学家，量子力学创始人之一。从大学生时起，他就一直和当时已著名的玻尔讨论原子物理学中的各种理论问题。由于在量子力学中出现许多新的概念，而对这些概念的认识不得不涉及许多哲学问题，又不得不把旧的许多物理概念重新加以审查而提出新的观点，所以对原子现象的解释，在哲学上就形成了一个以玻尔、海森堡、魏扎克等人为代表的学派，即所谓哥本哈根学派。但在量子物理学界，人们对这一学派的观点不是都同意的，争论还相当多。

历年来，海森堡在不同场合，借不同机会，作了不少有关原子物理学中认识问题的通俗演讲，阐述他们这一学派的哲学观点。这些演讲后来由他自己分别编集成册出版。

我们这里译出的，是他最先编集的一本，书名《严密自然科学基础近年来的变化》。该书1945年的德文第六版共收有六篇演讲。后来我们看到它的英译本共有八篇，故在翻译时也将其余两篇按英文版加译在内。此外，我们在其他刊物上还找到了另外四篇，也一并附译于后，它们的出处均注在每篇的标题之下。因此，我们这一译

本共收集了他的十二篇演讲。

翻译本书的目的，是为了使读者了解哥本哈根学派的一些观点，供探讨参考。

限于水平，译文不免有不当之处，尚希读者指正。

参加本书译校工作的，有王福山、全增嘏、周煦良、李宝恒、寿进文、张锐、傅季重、钱毓敏等。

1977年9月

目 录

严密自然科学基础近年来的变化·····	1
关于自然的物理解释的历史·····	20
现代物理学的基本问题·····	37
现代物理学中的古代自然哲学思想·····	52
从现代物理学看歌德的和牛顿的颜色学·····	60
自然科学世界图象的统一性·····	81
现代原子物理学的基本问题·····	103
作为国际谅解的一种工具的科学·····	119
原子论和对自然的认识·····	133
普朗克的发现和原子论的基本哲学问题·····	148
从柏拉图到马克斯·普朗克·····	172
二十世纪物理学中概念的发展·····	185

严密自然科学基础近年来的变化^①

现代物理学是从普朗克发现作用量子开始的，它以相对论和量子论作为其知识内容的基础，在最近几年中，它的发展已初步告一段落。如果要把这些新发现的原理应用到其他经验领域中去，那末只有在对这些领域作了实验研究，而且作得比直到现在所做的更加详细以后，才有可能。但另一方面，或许现在我们已经可以对这种发展试图勾划出一幅图画，这幅图画既能摆脱当前一些争论中所产生的各种曲解，又能——尽我所能——客观地弄清楚这个发展的意义。

经典物理学大约在三十年前已告结束，它是建立在某些基本假设之上的。这些基本假设，作为一切严密自然科学的似乎当然的出发点，在这里既不需要证明，也不需要讨论。它们是：物理学所研究的是事物在空间的行为及其在时间上的变化。虽然这种说法最初只说明了物理学以之为基础的那些经验的性质，但它同时似乎也为事物规定了由这些经验所推论出来的一些特性。这就使

^① 1934年9月17日在汉诺威市举行的德国自然科学家和医师协会大会第一次会议上的讲话。最初发表于《自然科学》，1934年，第22卷，第40期。

人作出一个不言而喻的假定，认为对于空间和时间中发生的事件，有一个客观的、不依赖于任何观察的进程；此外，又认为空间和时间构成一切事件的固定而彼此完全独立的顺序排列，因而从这个意义上说，它们也就表现为一种对所有人都是共同的客观实在。

十九世纪自然科学的世界图象，是经典物理学的这些基本假设的自然结果。这些基本假设首先受到了爱因斯坦狭义相对论的冲击。关于这理论的基本思想，我在这里只想讲一下要理解它的方法上的情况所必需的那些东西。这一理论是从一个困难处境中产生的。经典物理学在试图始终如一地解释某些精密实验——特别是著名的迈克尔逊实验——时陷入了矛盾。因此，就有必要来做研究，以便弄清楚这些经典解释中的一个假设，它相当于我们的日常经验总是为一种不准确性所伴随着的，在不能为人们所直接感觉的领域里，是没有任何直接的经验依据的，因而可以把它抛弃掉。这里所指的就是这样一个假设，认为两个事件的同时发生，即使它们并不发生于同一地点，也有其一定意义。我们称某些事件为“过去”，如果我们——至少在原则上——能够通过任何一种观察从它们那里感觉到什么东西的话；而称某些事件为“将来”，如果我们——至少在原则上——对于它们的进程还能加以干预的话。在对它们能感觉到什么东西的那些事件与还能加以改变的事件之间，认为仅仅为一个无限短的瞬间所分开，这是符合我们的日常经验的。我们称这一瞬间为“现在”。经典物理学中这个默认的假定，已经为

许多迫使我们承认狭义相对论的实验研究所证明是错误的。实际上，在我们刚才称之为“过去”的东西和刚才称之为“将来”的东西之间，还存在着一段狭窄而有限的时间间隔。而这段间隔的长短，则取决于判断“过去”或“将来”的观察者 and 所涉及到其时间进程的那事件之间的距离。导致这一认识的理论，已为大量实验所证实而成为一切现代物理学的不言而喻的基础，并且象经典力学或热学一样，已被认为是严密自然科学的坚实而永远可靠的财富。它的非常重大的意义，首先在于使人们完全出乎意料地认识到，在沿着经典物理学所规定的途径始终如一地追随下去时，我们竟会被迫改变这种物理学的基础。象这样的情况，我们以后还会多次遇到。近代的一些理论，并不是犹如从外部引进严密自然科学中的革命性思想产生出来的；实际上，它们是在把经典物理学的计划贯彻到底的尝试中，由自然界强加于我们的研究工作的结果。因此，现代物理学的开始，在这方面也不能同前时期的巨大变革，如哥白尼的成就相比拟。哥白尼的思想，大部分是从外部引进到他那个时代的科学概念中来的东西，所以它在科学中所引起的变化，要比目前时期现代物理学的基本思想所引起的变化深刻得多。

广义相对论除对时间概念作了修正而外，还对空间的几何性质作了修正。如果这个理论已经能够正确地解释它整个问题中到目前为止所仅有的少数几个天文观测，那末如所周知，在宇宙空间的几何结构和物质分布之间就存在着一种关系。欧几里得几何学于是只能应用于

小的空间区域,而在大的范围内,空间则可具有另一种结构,它完全与我们直观感觉到的不同。广义相对论虽然到现在为止还没有和任何实验发生过矛盾,但在实验上它还不象狭义相对论那样可靠。它的说服力并不在于它能解释许多到目前为止不能解释的实验,而在于它创立了一种新的思想方法,这种思想方法是科学家们以前所没有发现的。这样一种新的思想方法,其力量大到何种程度,可在历史上用哥白尼的学说为例来清楚地加以说明。在今天,人们一般已不很清楚,对于正确地表述经验事实来说,哥白尼的思想起初并不比托勒密的眼光来得高明。再则当时伽利略为了支持哥白尼的学说而提出的那些实验证据,也远不及我们今天为支持广义相对论所能提出的那些证据来得令人信服。虽然如此,但事实是:人们不至于陷入谬误之中,如果人们说,就地球在绕太阳运动这一点,已使伽利略有足够理由以其全部精神力量为哥白尼辩护。同样的情况:人们不至于陷入谬误之中,如果人们说,宇宙空间中的几何结构有赖于物质的分布,这虽无任何实验足以证明,但也会对将来的研究产生很大影响,使任何一个有关引力的理论决不能绕过广义相对论,而只能通过它把自己建立起来。

在相对论指出了被看作严密自然科学的那些明显基础可以为新的经验事实所改变之后还不到十年,经典物理学的真正核心,也就是事物在空间和时间上的进程是客观的、和任何观察无关的这种信念,就由于许多实验上的发现而受到了冲击。这些发现,曾导致了玻尔关于原

子结构的理论的发现。这种对自然界的经典描述所依据的原则的背离，即使在量子论中，也不是由于这个缘故，因为有一些新的、对于迄今为止的物理学是陌生的思想渗进到了我们科学中来；而倒是由于在这里有一连串最值得注意的实验发现，才使科学被迫一步一步地放弃了经典物理学这个阵地。在普朗克发现作用量子以后，这里最重要的第一步是由勒纳的研究和由爱因斯坦对它的解释所获得的那种对于光的认识。根据无数的干涉实验必须作为一种波动过程来理解的光，同时在某些实验中却呈现出粒子的性质。所以我们又是在一个新理论出现的开始时期，看到了当经典物理学要完全一贯地运用其原理来解释某些实验时所遇到的内在矛盾。这种对于经典的、和以前的物理学完全陌生的规律的二象性，在以卢瑟福的实验为依据的玻尔原子理论中表现得更加清楚。在随后的几年中，通过一系列实验和理论上的研究，这个理论就获得了结实的基础。关于这些研究，我只想举例来提一提。一方面有弗兰克与赫兹、斯塔克、斯特恩与格拉赫关于实验方面的研究；另一方面有索末菲、克拉默斯、玻恩、泡利关于理论方面的研究。在这以后，德布罗意也在物质的行为方面发现了波动概念与微粒概念的二象性。最后，哥庭根小组和狄拉克以及薛定谔同时进行的工作，把各种不同的实验结果总结成一个数学形式，这样就为物理研究的基础创造了一个清澈晶明的新境况。对这种境况的分析，我们首先要感谢玻尔，但在这里我也只能对此稍为提一下。这境况指出，在我们对原子过程

的探讨中,不可避免地要出现一种分裂,这种分裂性质非常特殊。一方面,对于那些用实验向自然界提出的问题,我们总是借助于经典物理学的直观概念,特别是应用直观的时间与空间概念来表述的;因为事实上除了适合于描述我们日常生活中周围的物体的那种语言而外,我们根本没有其他一种语言,可以用来描述例如测量仪器的结构,而且我们也只能在空间与时间中获得任何一个经验。另一方面,那些适合于表述实验事实的数学形式,却是多维位形空间中的波函数,而这种波函数是没有简单的直观解释的。由于这种分裂,所以在描述原子过程时,我们也就必须在用经典概念描述观察者的仪器和用波函数表示被观察客体的行为之间,划一条分界线。既是在这条分界线的一边,即引向观察者的一边,又是在它的另一边,即包含被观察的客体的一边,所有的相互关系都是为严格的决定论所支配的——这一边用的是经典物理学的定律,那一边用的是量子力学的微分方程,而这条分界线的存在本身,则表现在这里出现着统计的关系上。因为在这条分界线的地方,观察的手段对于被观察的客体所产生的作用,必须看作是部分不能予以控制的一种干扰。这种原则上无法控制的干扰,必然和每一个观察相联结在一起。这种干扰,在许多方面都极为重要。首先,它是量子力学中所以会出现统计性自然规律的原因。其次,它为经典概念的应用规定了一个限度。因为事实证明,运用这些概念来描述自然界,其准确性是受到所谓“测不准关系”的限制的。正是这个准确性的限度,

给了经典概念以一定程度的自由,而这一定程度的自由,又是把一个确定的物理事件中所能显示出来的各种不同的直观图象——例如粒子图象和波动图象——合理地联系起来所必需的。最后,这部分原则上无法控制的干扰,却能以一种可以追溯到各个细节的奇特方式,保证了经典定律和量子论定律的适用范围能够在分界线地方毫不矛盾地互相联系起来,从而产生了一个完整的定律体系。在这里特别起决定作用的一点,就是分界线的位置——也就是哪些物体应该算作是观测的手段,哪些应该算作是被观察的客体——对于自然定律的叙述,可以完全随便。但是从这一判断出发,我们也会碰到一种已经多次提出的异议,它反对量子力学已成为一种定局的理论,认为在量子力学以统计方式表达的相互联系背后,可能还隐藏着一种属于决定论的自然定律体系,它是用我们迄今尚不知道的自然界的另一些决定因素来表述的,正象在热学背后隐藏着玻尔茨曼的原子力学一样。对这种假说的仔细探讨立刻表明,这些新的自然定律,必然要与量子力学的那些严格决定论的结果,发生矛盾。量子力学在任何地方都不给其陈述留有补充余地,因为它唯一含有测不准性的地方,就是在上面讲到的那条“分界线”上。如果想要在任何一个由某些自然过程确定的地方,用一些补充措施来消除量子论的这种测不准性,那末,势必会由于这条分界线从所论及的地方移开了出去,而把量子力学与所提出的补充措施之间的矛盾暴露了出来。

这样一来,便立即产生了一个更为普遍的问题,即由

现代物理学所强迫造成的严密自然科学的基础的变化，在多大程度上可以说已成为定局。为此，我们不得不讨论一下，自然科学家是否必须永远放弃这种想法，以为有一个对所有观察者都共同的客观时间尺度，以及一种在空间和时间上不以任何观察为转移的客观事件，或者还是应该把最近的发展看作只是一种暂时的危机。在我看来，好象有最强有力的理由使人们相信，这种放弃是定局性的。为了讲清楚这一点，我想从一个类比开始说起。在古代的自然科学产生以前，人们曾把世界想象为一个平坦的圆盘，而只是在发现了美洲和第一次环绕世界的航海之后，这种信念才被永远打破。虽然在以前从来没有人看见过世界圆盘的边缘，但是这种“世界尽头”的想法，通过专门谈论它的传说，以及专门研究它的人们的幻想，已获得了它的形象，也获得了它的意义。对于要把一切都研究清楚并且要一直旅行到世界尽头的这样一个人，他的一个老意图我们是知道的。当时，追问世界的尽头有其明确的意义。虽然哥伦布和麦哲伦发现新大陆的航行，使这个追问永远失去了意义，并且使得与它相联的整个思想世界变成了一个神话世界，但是人类并不是因为它已把地球的全部表面探索完毕——其实就是在今天我们对地面上的个别地方还不知道——而放弃了对世界尽头的追问的，而是因为哥伦布和麦哲伦的几次航行为采用新的，即假定地球为球状的那种想法的必要性提供了明显的证明，以致人们放弃对世界尽头的追问才不再觉得它是一种放弃。在我看来，现代物理学告诉我们

应予以放弃的那种对绝对时间尺度以及对空间和时间上的客观事件的追问，情况完全与此相似。绝对时间尺度以及空间和时间上的客观事件，这些概念的意义，也一样从来没有人以其被认为是普遍的那样的普遍性用直接经验证实过；它们也是一种假说性的“世界尽头”。此外，这个应与经典物理学中的这些问题一同被打破的思想世界，其生命力远不如被哥伦布或哥白尼所摧毁的那个思想世界大。因此，现代物理学给我们世界图象带来的那个变化，不及十五和十六世纪所发生的变化那样深刻。量子论的说服力，也并不在于，比方说，我们已经对所有测量电子位置和速度的方法一一试验过而发现没有一个能够避开“测不准关系”，而是在于如康普顿、盖革和玻特的那些实验结果，为采用量子论中建立起来的新的思想方法的必要性提供了如此明显的证明，以致我们对经典物理学的那些问题的放弃，不再会看作是一种放弃。所以，现代物理学的真正力量，就存在于自然界给我们所提供的那些新的思想方法之中。因此，指望用新的实验仍然能够找到在空间和时间上发生的客观事件或者绝对时间，其理由不比在南极圈尚未勘查过的某个地方终于会发现世界尽头的指望来得更加充分。我们还可以在另一点上进行这种比较：对于地中海国家的地理来说，哥伦布的发现根本无关重要，所以说那位著名的热那亚人的航海发现推翻了当时已确知的地理知识，那是完全错误的。而在今天要说物理学被推翻了，那同样也是错误的；伟大的经典科学如力学、光学和热学，并没有因为现代物理学的

出现而有所改变,而受到决定性意义的变化的,只是那幅用我们从有限一部分世界中获得的知识,过早地为这世界的未探索过的领域所描绘的图象。无疑,这幅图象总是在决定着我们的研究所遵循的道路。

在对理论物理学最近时期所发生的情况作了这一简短而肤浅的概述之后,我们要进而讨论这样一个问题:这种情况是否会变得重要,而且重要到何种程度,它会对今后自然科学思想的形成可能产生哪些影响。对自然科学提出的任务有二:一是它应求得对自然界的知识,以使人类能利用自然力为其利益服务;其次,它还要通过对自然界相互联系的真正了解,给人类指定其在自然界中的正确地位。第一个任务统治着自然科学和工程技术在过去一百年中的发展,所以应该是我们首先要讨论的问题。但理论物理学的成果,包括相对论和量子论中所获得的一些知识在内,不能直接用来为发展工程技术服务。理论物理学对工程技术的作用,实际上是间接的,而且是在隔了相当长一段时间之后才发生的。这里要区分两种不同的作用:第一,如果要制造这样一些仪器设备,使它们能完全解决对它们提出的各项任务,那一般说来,就必须假定已精确地知道在它们中起作用的那些自然定律。例如,要制造一部发电机或一架高频装置,就必须知道麦克斯韦方程——不管它们以工程师熟悉的还是以物理学家熟悉的形式出现。同样,为了在将来制造能利用原子现象的仪器设备,掌握原子物理学中的定律也会变得极其重要;可是到现代物理学获得这样一些成效的时候,或许

还要经过很长一段时间。第二,理论上的进展,绝大部分应该能为物理研究的发展从而最后也为工程技术的发展规定方向。讲到这里,我们必须简短地谈一下实验物理学和理论物理学之间的关系问题,因为这个问题近年来在德国的公众中有时被歪曲了。显而易见,不论在哪里,实验方面的研究总是理论认识的必要前提,而且理论方面的主要进展只是在实验结果的压力下而不是依靠思辨来取得的。另一方面,实验研究沿之向前发展的方向,应该总是由理论的途径来决定的。自从现代科学开始以来,决定着理论和经验之间这种相辅相成的协作关系的最著名例子,大概可以说是第谷·布拉赫和开普勒两人的共同贡献。第谷关于行星运动所积累的大量观察资料,是开普勒所决不可能如此精确地收集到的。第谷的这些资料,为开普勒的工作提供了先决条件;而通过开普勒的发现,决定了天文学在随后几个世纪中的发展方向。但是要研究经验和理论之间的这种相互关系,我们毋须追溯到那样久远的时代:严密自然科学的基础在现代物理学中发生了变化,而这个变化就是通过实验研究一步一步地促成的。另一方面,如果把今天和二十年前物理实验室里的研究领域加以比较,就可以立刻看到,我们对自然规律的认识的变化,在多么大的程度上改变了实验研究的方向;而对观测物理学发生影响的每一革新,又都从这里传播到了技术的发展中去。所以在目前情况下,要劝说公众是否应该把他们的兴趣主要放在工程技术上,或者放在实验上,或者还是放在理论科学上,我们首