

docsriver.com  
商家本本店

# 物理学和哲学

〔西德〕W·海森伯 著

商务印书馆

53.36  
435

# 物理学和哲学

## 现代科学中的革命

〔西德〕W. 海森伯 著  
范岱年 译



商务印书馆

1981·北京

1109947

D470 111  
23

*W. Heisenberg*  
**PHYSICS AND PHILOSOPHY**  
(The Revolution in Modern Science)  
George Allen and Unwin  
1958

### 内 容 简 介

本书作者是量子力学的创始人，哥本哈根学派的主要代表人物之一。本书从量子论建立的历史谈起，讨论了现代物理学中的主要哲学问题，并牵涉到哲学史、语言学、逻辑的一些问题和物理学的社会作用的问题。书中较系统地阐述了哥本哈根学派的基本哲学观点，是该学派的有代表性的哲学著作。

附录中收录了诺斯劳普为英文版写的“序言”，以及海森伯在晚年发表的四篇文章。

本书可供物理学、物理学史和哲学研究工作者、大中学校物理、哲学教师参考。

### 物 理 学 和 哲 学

现代科学中的革命

[西德] W. 海森伯 著

范岱年译

---

商 务 印 书 馆 出 版

(北京王府井大街 36 号)

新 华 书 店 北 京 发 行 所 发 行

外 文 印 刷 厂 印 刷

统一书号：2017·263

---

1981年7月第1版

开本 850×1168 1/32

1981年7月北京第1次印刷

字数 170 千

印数 1—9,100 册

印张 7 1/4

定价：0.93 元

[www.docsriver.com](http://www.docsriver.com) 定制及广告服务 小飞鱼  
更多**广告合作及防失联联系方式**在电脑端打开链接  
<http://www.docsriver.com/shop.php?id=3665>



[www.docsriver.com](http://www.docsriver.com) 商家 本本书店  
内容不排斥 转载、转发、转卖 行为  
但请勿去除文件宣传广告页面

若发现去宣传页面转卖行为，后续广告将以上浮于页面形式添加

[www.docsriver.com](http://www.docsriver.com) 定制及广告服务 小飞鱼  
更多**广告合作及防失联联系方式**在电脑端打开链接  
<http://www.docsriver.com/shop.php?id=3665>



# 目 录

第一章 老传统和新传统.....	1
第二章 量子论的历史.....	3
第三章 量子论的哥本哈根解释.....	14
第四章 量子论和原子科学的渊源.....	25
第五章 自笛卡儿以来哲学观念的发展 和量子论的新形势的比较.....	38
第六章 量子论和自然科学其他部分的关系.....	52
第七章 相对论.....	65
第八章 对量子论的哥本哈根解释的批评 和反建议.....	80
第九章 量子论和物质结构.....	94
第十章 现代物理学中的语言和实在 .....	109
第十一章 现代物理学在当前人类思想 发展中的作用 .....	124
附录: 英文本序言 (F. S. C. 诺斯劳普).....	139
科学真理和宗教真理 .....	160
量子论历史中概念的发展 .....	174
基本粒子是什么? .....	188
宇宙辐射和物理学中的基本问题 .....	203
译后记 .....	215

# 第一章

## 老传统和新传统

今天,当人们谈到现代物理学时,首先就想到原子武器。人人都认识到这些武器对现代世界政治结构的巨大影响,并且都心悦诚服地承认物理学对一般政治形势的影响比以往任何时期都要大。但是,现代物理学的政治方面真的是它的最重要的方面吗?当世界上的政治结构已变得适应于新技术的种种可能性时,现代物理学还将留下什么影响呢?

为了回答这些问题,应当记住,每个工具都带有用来创造它的那种精神。因为每个国家和每个政治集团,不管它的地理位置和文化传统如何,都必须以某种方式关心这种新武器,所以,现代物理学的精神必将渗透到许多人的心灵之中,并以各种不同的方式和老传统联系起来。现代科学的这个特殊部门对各种强有力的老传统进行冲击的结果将是什么呢?世界上已经发展了现代科学的那些地区,长时期来,主要兴趣是在实用的活动方面,在工业和与这种活动的内外条件的合理分析相结合的工程学方面。这些地区的人觉得应付这些新观念是颇为容易的,因为他们已经有充分时间慢慢地、逐渐地来适应现代科学的思想方法。在世界的其他地区,这些观念将同本地文化的宗教基础和哲学基础发生冲突。因为现代物理学的成果确实触及实在、空间和时间这样一些基本概念,所以,这种冲突可能引起全新的、难以预料的发展。在现代科学和旧思想方法之间这次决战的特征之一,就在于它完全是国际性的。在这次思想交流中,老传统的一方在世界不同地区是不同

的，而它的对方则在任何地区都是一样的，因此，这次思想交流的结果将传播到发生论战的全部地区。

由于这样的理由，尝试用不太技术性的语言来讨论现代物理学的这些观念，研究它们的哲学影响，将它们和若干较老的传统相比较，可能不是一个无关紧要的任务吧。

对量子论的发展作一历史性描述，可能是着手讨论现代物理学问题的最好的方法。确实，量子论仅仅是原子物理学中的一个小分支，而原子物理学又是现代科学中的一个很小的分支。然而，正是在量子论中，关于实在的概念发生了最基本的变化，并且也是在量子论中，原子物理学的新观念集合并具体化为它的最后的形式。原子核物理学研究所需的巨大的、非常复杂的实验设备，显示了这一现代科学部门的另一非常激动人心的方面。说到实验技术，原子核物理学代表了自从惠更斯(Huyghens)、伏打(Volta)或法拉第(Faraday)以来一直决定着现代科学成长的研究方法的最大扩展。与此相似，量子论某些部分的令人望而生畏的数学复杂性，也可以说是代表着牛顿(Newton)、高斯(Gauss)或麦克斯韦(Maxwell)的方法的最高成就。但是，在量子论中显示的实在概念的变化，并不是过去的简单的继续，而却象是现代科学结构的真正破裂。因此，下一章首先将致力于探讨量子论的历史发展。

## 第二章

### 量子论的历史

量子论的起源是和一個大家熟悉的现象相联系的，这一现象并不属于原子物理学的中心部分。任何一块物质在被加热时，都会开始发光，并在较高温度下达到红热和白热。发光的颜色与材料表面关系不大，而对于黑体，则只与温度有关。因此，这样一个黑体在高温下发出的辐射是物理学研究的适当对象；它是一个简单的现象，并且应该可以根据已知的辐射和热学定律找到一个简单的解释。但是，瑞利勋爵(Lord Rayleigh)和琼斯(Jeans)在十九世纪末所作的努力却失败了，并且揭示了种种严重的困难。这里无法以简单的词句描述这些困难。但只要指出他们应用已知定律不能导出合理的结果这一点，应该也就够了。当普朗克(Planck)在1895年进入这条研究路线时，他试图将问题从辐射转到辐射原子方面。这种转换不能消除问题中固有的任何困难，它只简化了经验事实的解释。正当这个时候，即在1900年的夏天，库尔包姆(Curlbaum)和鲁本斯(Rubens)在柏林对热辐射光谱作了很准确的新测量。当普朗克听到这些结果时，他试图根据他对热与辐射的一般联系的研究，用简单的、看来好象是合理的数学公式来表示它们。有一天，普朗克和鲁本斯在普朗克家中喝茶，他们将鲁本斯的最新结果和普朗克提出的新公式作比较。比较的结果表明二者完全相符。这就是普朗克热辐射定律的发现。

就在这个时候，普朗克开始了艰巨的理论工作。什么是新公式的正确物理解释呢？既然普朗克能根据他以往的工作把他的公



式毫不费力地翻译成关于辐射原子(所谓振子)的陈述,那么他一定很快就发现了,他的公式似乎表明振子只能包含分立的能量子——这个结果与经典物理学中任何已知的东西是那么不同,以致他在开始的时候一定会觉得难以相信。但是,在1900年夏天最紧张的工作时期中,他终于确信无法避免这个结论。普朗克的儿子曾说,他的父亲曾在通过柏林近郊的森林——绿林的漫长的散步中谈到了他的新观念。在这次散步中,他解释说,他感到他可能已经完成了一个第一流的发现,或许只有牛顿的发现才能和它相比。所以,这个时候普朗克一定认识到了,他的公式已经触动我们描述自然的基础,并且有朝一日,这些基础将从它们现有的传统位置向一个新的、现在还不知道的稳定位置转移。普朗克由于在整个世界观上是保守的,他根本不喜欢这个后果,但他还是在1900年12月发表了他的量子假说。

能量只能以分立的能量子发射或吸收,这个观念是这样新奇,以致它不能适合物理学的传统框架。普朗克企图把他的新假说和老的辐射定律调和起来的尝试,在几个根本点上都失败了。这一尝试花了五年时间,直到能够朝新方向迈出第二步时为止<sup>①</sup>。

这时候出现了年轻的阿耳伯特·爱因斯坦(Albert Einstein),物理学家中的一个有革命性的天才,他不怕进一步背离旧的观念。他在两个问题中应用了新观念。一个就是所谓光电效应,即金属在光的作用下发射出电子。许多实验——特别是勒纳(Lenard)的那些实验——都表明,发射电子的能量与光的强度无关,而只与光的颜色有关,更准确地说,即只与光的频率有关。根据传统的辐射理论,这是难以理解的。爱因斯坦将普朗克的假说解释为光是由

---

<sup>①</sup> 海森伯这句话同历史事实不尽相符。普朗克作这种调和的尝试不止进行五年,而是进行了十多年,直到1915年他才宣告放弃他的这种尝试。那时,别的物理学家朝量子论这个“新方向迈出”已经不止是“第二步”了。——译者注

穿过空间的能量子组成的,这样,他就成功地解释了上述的观测结果。按照普朗克的假说,一个光量子的能量应当等于光的频率乘以普朗克常数。

另一个问题是固体的比热。从传统理论推导出来的比热值与高温时的观测记录相符,但在低温时就不相符了。又是爱因斯坦成功地指出,将量子假说应用到固体中原子的弹性振动上去,就可以理解这种性状。这两个结果标志了一个很重要的进展,因为它们表明,普朗克的作用量子(在物理学家中称为普朗克常数)也出现在若干与热辐射并无直接关系的现象中。同时,它们还揭示了新假说的深刻的革命性,因为第一个问题导出了与光的传统的波动图象迥然不同的描述。光既可以按照麦克斯韦的理论解释为由电磁波所组成,又可以解释为由光量子,即由以高速穿过空间的能包所组成。但是,是否两种解释都成立呢?爱因斯坦当然知道,著名的衍射和干涉现象只有根据波动图象才能解释。他不能消除这个波动图象和光量子观念之间的根本矛盾;他甚至也不企图消除这种解释的不一致性。他只是简单地把这种矛盾看作是某种大概只有在很久以后才能弄清楚的东西。

在这期间,贝克勒耳(Becquerel)、居里(Curie)和卢瑟福(Rutherford)的实验,对原子结构的问题作了某种程度的澄清。1911年,卢瑟福从他对穿过物质的 $\alpha$ 射线与物质的相互作用的观测,推导出他的著名的原子模型。原子被描绘为由一个原子核和一些电子所组成,原子核带正电,差不多包含了原子的全部质量,而电子环绕原子核旋转,就象行星环绕太阳旋转一样。不同元素的原子之间的化学键被解释为相邻原子的外层电子之间的相互作用;它和原子核没有直接关系。原子核通过它的电荷决定着原子的化学行为,而原子核的电荷又使中性原子的电子数目固定不变。起初,这个原子模型不能解释原子的最突出的特性,即原子的巨大稳定

性。按照牛顿的力学定律，从来没有一个行星系统在它和另一个这样的系统碰撞以后能够回复它原来的位形。但是，举例说吧，一个碳元素的原子，在化学结合过程中的任何一次碰撞和相互作用之后，都始终保持为一个碳原子。

玻尔(Bohr)在1913年利用普朗克的量子假说，对这个不平常的稳定性作出了解释。如果原子只能通过分立的能量子来改变它的能量，这必定意味着原子只能处在分立的定态之中，而最低的定态就是原子的正常态。因此，原子在各种相互作用以后，最后总是回复到它的正常态。

通过量子论在原子模型上的这种应用，玻尔不仅能够解释原子的稳定性，而且，在若干简单例子中，对原子通过放电或加热受激发后所发射的光谱线也能作出理论解释。他的理论以电子运动的经典力学和量子条件的结合为基础，这些量子条件是为了定义系统的分立定态而强加于经典运动之上的。关于这些条件的一致的数学表述是后来由索末菲(Sommerfeld)给出的。玻尔完全了解量子条件在某些方面破坏了牛顿力学的一致性这样一个事实。在氢原子的简单例子中，人们能根据玻尔的理论算出原子所发射的光的频率，并且和观察结果完全一致。然而这些频率和电子环绕原子核的轨道频率以及它们的谐频都不相同，这个事实立刻显示了玻尔的理论还充满了矛盾。但是，它包含了真理的主要部分。它定性地解释了原子的化学行为和它们的光谱线。分立定态的存在也为弗朗克(Franck)和赫兹(Hertz)、斯特恩(Stern)和革拉赫(Gerlach)的实验所证实。

玻尔的理论开辟了一条新的研究路线。光谱学在好几十年内积累起来的大量实验资料，现在可用来作为关于支配原子中电子运动的奇怪的量子定律的信息了。许多化学实验能用于同样的目的。从这个时候开始，在这方面物理学家才学会提出正确的问题；

而提出正确的问题往往等于解决了问题的大半。

这些问题是什么？实际上全部问题都涉及不同实验结果之间的奇怪的明显的矛盾。同一种辐射，它既产生干涉图样，因而它必定是由波所组成，然而它又引起光电效应，因而它必定由运动的粒子所组成，这是怎么一回事呢？原子中电子的轨道运动的频率怎么能够不在发射出的辐射的频率中显示出来？难道这意味着没有轨道运动？但是假如轨道运动的观念是不正确的，那么原子中的电子到底是怎么样的呢？人们能够看到电子通过一个云室，有时它们是从一个原子中打出来的；为什么它们不再运动到原子之中去呢？确实，在原子的正常态即最低能态中，电子或许可能是静止的。但是还有许多较高的能态，在这些态里电子壳层有一个角动量。那里的电子不可能是静止的。人们还能够举出许多类似的例子。人们一而再、再而三地发现，用物理学的传统术语来描述原子事件的企图，结果总是导致矛盾。

到二十年代的初期，物理学家们逐渐变得习惯于这些困难了，他们得到了关于麻烦会在哪里发生的某种模糊的知识，并且还学会了回避矛盾。他们知道，对于所探讨的特殊实验，关于原子事件的哪一种描述是正确的。这虽然还不足以为一个量子过程中所发生的一切构成一幅前后一致的一般图象，但它是这样地改变了物理学家们的见解，以致他们多少领会了量子论的精神。因此，甚至在人们建立起前后一致的量子论形式系统以前的相当时期，人们就已多少知道一些实验的结果将是个什么样子。

人们常常讨论到那种所谓理想实验。这样的实验是被设计来回答判决性的问题的，不管它们实际上是否能够实现。当然，重要的是原则上应当能够实现这个实验，但在技术上可能是极端复杂的。这些理想实验在澄清某些问题方面是十分有用的。如果物理学家们对某个理想实验的结果没有一致的意见，那就常常可以找

到一个与之相似但更为简单的能够实现的实验，从而使实验答案能从基本上对量子论的阐明有所贡献。

那几年有一个最奇怪的经验：在阐明过程中，量子论的佯谬并没有消失；恰恰相反，它们甚至变得更为显著，更加激动人心了。例如，康普顿(Compton)有一个关于X射线散射的实验就是这样。在以往关于散射光干涉的实验中，散射无疑地主要以下列方式发生：入射光波使得处于光束中的一个电子以光波的频率振动；然后振荡的电子发出一个同样频率的球面波，从而产生了散射光。然而康普顿在1923年发现，散射出来的X射线的频率与入射X射线的频率不同。假设散射是用光量子和一个电子的碰撞来描述的，那么，频率的这种改变在形式上是可以理解的。光量子的能量在碰撞过程中改变了；并且因为频率乘上普朗克常数应当是光量子的能量，所以频率也应当改变。但是在光波的这种解释中发生了什么呢？两个实验——一个是关于散射光的干涉，另一个是关于散射光频率的变化——看来是互相矛盾，没有任何调和的可能性的。

这时候，许多物理学家相信，这些明显的矛盾应当归入原子物理学的内在的结构。因此，1924年，法国的德布罗意(de Broglie)试图将光的波动描述方法和粒子描述方法间的二象性推广到物质的基本粒子，首先是推广到电子上去。他指出，有某种物质波云“对应”于一个运动电子，就象一个光波对应于一个运动光量子一样。那时候，在这种联系中“对应”这个词意味着什么，还是不清楚的。但是德布罗意建议，应当把玻尔理论中的量子条件解释为关于物质波的陈述。由于几何学上的理由，环绕一个核转动的波只能是一个驻波；而轨道的周长必定是波长的整数倍。德布罗意的观念就是这样地把量子条件和波粒二象性联系起来，而量子条件过去在电子力学中一直是一个外来的因素。

在玻尔的理论中，计算出来的电子轨道频率和发射出来的辐射频率间的不相符，必须解释成电子轨道的概念有其局限性。这个概念从一开始就有点值得怀疑。然而，对于较高的轨道，电子将在离核很远的地方运动，就象人们看到它们在云室中运动时的情况一样。在那里，人们应当谈到电子轨道。因此，对于这些较高的轨道，发射辐射频率接近轨道频率和它的较高的谐频，这是很令人满意的。此外，玻尔在他的早期论文中就已经提出，发射光谱线的强度接近于对应的谐波的强度。这个对应原理对近似地计算谱线强度已经证明是很有用的。这样，人们就有一个印象：玻尔的理论对原子内部发生的事情作了定性的但不是定量的描述；物质行为的若干新特征是由量子条件定性地表示的，而这些量子条件又与波粒二象性相联系。

量子论的准确的数学表述最后是从两个不同的发展方向出现的。一个从玻尔的对应原理开始。人们不得不放弃电子轨道的概念，但在高量子数的极限情况下，即对于大轨道而言，这个概念仍须保留。在后面这种情形中，发射辐射以它的频率和强度给出电子轨道的图象；这个图象代表数学家所谓的轨道的傅里叶(Fourier)展开式。这种观念自身说明了，人们不应当把力学定律写为电子的位置和速度的方程，而应当写为电子的傅里叶展开式中的频率和振幅的方程。从这样一些方程出发并稍稍改变它们，人们就能够希望得到同发射辐射频率和强度相对应的那些量之间的关系，这些关系甚至对于小轨道和原子的基态也能成立。这个计划是能够实际实现的；1925年的夏天，它引导出一个数学形式系统，称为矩阵力学，或者，更一般地称为量子力学。牛顿力学的运动方程被矩阵之间的类似方程所代替；有一个新奇的经验是：人们发现牛顿力学的许多旧结果，例如能量守恒等等，也能从新的数学方案推导出来。后来，玻恩(Born)、约尔丹(Jordan)和狄拉克(Dirac)

的研究表明，代表电子的位置和动量的矩阵是不对易的。这个事实清楚地显示了经典力学和量子力学之间的本质差别。

另一个发展方向是随着德布罗意的物质波的观念而来的。薛定谔(Schrödinger)试图建立一个关于环绕原子核的德布罗意驻波的波动方程。早在1926年，他成功地推导出氢原子各定态的能量值作为他的波动方程的“本征值”，并能给出将一套已定的经典运动方程转换成多维空间中对应的波动方程的更一般的规定。后来，他又得以证明，他建立的波动力学形式系统和较早的量子力学形式系统在数学上是等价的。

因此，人们终于有了一个前后一致的数学形式系统，它能用两种等价的方法规定下来，或者从矩阵之间的关系出发，或者从波动方程出发。这个形式系统给出了正确的氢原子能量值；不到一年，又证明它对氦原子和较重原子的更复杂问题也是成功的。但是新的形式系统是在什么样的意义上描述原子的呢？波动图象与微粒图象间二象性的佯谬尚未解决；这些佯谬不知因什么缘故而潜伏在数学方案之中。

玻尔、克拉麦斯(Kramers)、斯莱特(Slater)在1924年向真正理解量子论迈出了第一步和很有意义的一步。这几位作者试图用几率波的概念来解决波动图象和粒子图象间的明显矛盾。电磁波不被解释为“真实”的波，而被解释为几率波，几率波在每一点的强度决定该点的原子吸收(或感生发射)一个光量子的几率。这个观念引导出这样一个结论：能量和动量守恒律对单个粒子事件不一定成立，它们只是统计规律，只有取统计平均值时才成立。不过，这个结论是不正确的，而辐射的波动面貌和粒子面貌之间的联系却变得更为复杂了。

但是玻尔、克拉麦斯和斯莱特的论文揭示了量子论的正确解释的一个主要特征。几率波的概念是牛顿以来理论物理学中全新

的东西。在数学或统计力学中，几率意味着我们对实际状况认识程度的陈述。在掷骰子时，我们不知道决定骰子下落的人手运动的细节，因此我们说掷出某一个特定数字的几率正好是六分之一。然而，玻尔、克拉麦斯、斯莱特的几率波意味着更多一些东西；它意味着对某些事情的倾向。它是亚里士多德(Aristotle)哲学中“潜能”(potentia)这个老概念的定量表述。它引入了某种介于实际的事件和事件的观念之间的东西，这是正好介于可能性和实在性之间的一种新奇的物理实在。

后来，当量子论的数学框架确定了以后，玻恩采取了这个几率波的观念，并给被看作几率波的形式系统中的数学量以清楚的定义。它不是象弹性波或无线电波那样的三维波，而是在多维位形空间中的波，因而是颇为抽象的数学量。

即令在这个时候，即在1926年夏天，在各种情况下应当怎样使用数学形式系统来描述给定的实验状况，也还是没有搞清楚。人们知道怎样描写一个原子的定态，但不知道怎样描述一个简单得多的事件——例如通过云室的一个电子。

当薛定谔在那个夏天证明了他的波动力学形式系统在数学上等价于量子力学以后，他一度试图全部放弃量子 and “量子跳变”的观念，并简单地用他的三维物质波来代替原子中的电子。他当时热衷于这种尝试是由于他得到了一个成果，即在他的理论中氢原子的能级似乎正好就是驻立物质波的本征频率。因此，他以为把它们叫做能量是错误的；它们只不过是频率。但在玻尔、薛定谔和哥本哈根学派的物理学家们于1926年秋在哥本哈根举行的讨论会中，很快就弄清楚，这样一种解释甚至还不足以解释普朗克的热辐射公式。

在这些讨论以后的几个月内，在哥本哈根对有关解释量子论的全部问题所作的紧张研究，正如许多物理学家所相信的那样，终



于对情况作出了全面的、令人满意的阐明。但这不是一个容易被人接受的解答。我记得有一次同玻尔讨论了几个钟头，直到深夜才几乎在绝望中结束；当讨论结束时，我独自到邻近的花园中去散步，当时我一再反复问我自己：难道自然界真能象这些原子实验给我们的印象那么荒诞无稽吗？

最后的解答是从两条不同的道路逐渐接近的。一条是改变问题的提法。代替这样一个问题：“人们怎样才能够在已知的数学方案中表示出一个给定的实验状况？”提出了另一个问题：“只有能在数学形式系统中表示出来的实验状况才能在自然中发生，也许这是正确的？”如果假设这实际上是正确的，结果就将对自牛顿以来成为经典力学基础的那些概念的适用范围施加限制。像在牛顿力学中那样，人们能够谈论一个电子的位置和速度，并能够观察和测量这些量。但是，人们不能以任意高的准确度同时测定这两个量。实际上已经发现，这样两个不准确度的乘积不应当小于普朗克常数除以粒子的质量。从其他实验状况也能推出类似的关系。它们通常称为测不准关系，或测不准原理。<sup>①</sup>人们已经知道，老概念只是不准确地吻合自然。

另一条接近的道路是玻尔的互补概念。薛定谔已经不把原子描述为一个原子核和电子的系统，而把它描述为一个原子核和一些物质波的系统。这种物质波图象当然也包含一个真理的因素。玻尔把两种图象——粒子图象和波动图象——看作是同一个实在的两个互补的描述。这两个描述中的任何一个都只能是部分正确的，使用粒子概念以及波动概念都必须有所限制，否则就不能避免矛盾。如果考虑到能够以测不准关系表示的那些限制，矛盾就消失了。

这样，自从 1927 年春天以来，人们就有了一个量子论的前后

---

<sup>①</sup> 或译不确定关系或不确定原理。——译者注

一致的**解释**，它常常被称为“哥本哈根解释”。1927年在布鲁塞尔举行的索尔维(Solvay)会议上，这个解释接受了严峻的考验。对那些总是导致最坏的佯谬的实验全都再三地在所有细节上作了讨论，特别是爱因斯坦。人们还设想了一些新的理想实验去探索理论的任何可能的不一致性，但是这个理论被证明为前后一致的，并且对于人们所知道的一切实验，看来都是符合的。

这个哥本哈根解释的细节将是下一章的主题。应当强调指出这一点：从最初提出存在能量子的观念到真正理解量子理论的定律，已经过去了四分之一世纪以上。这表明了，在人们能够理解新情况之前，有关实在的基本概念必须发生巨大的变革。

## 第三章

### 量子论的哥本哈根解释

量子论的哥本哈根解释是从一个佯谬出发的。物理学中的任何实验,不管它是关于日常生活现象的,或是有关原子事件的,都是用经典物理学的术语来描述的。经典物理学的概念构成了我们描述实验装置和陈述实验结果的语言。我们不能也不应当用任何其他东西来代替这些概念。然而,这些概念的应用受到测不准关系的限制。当使用这些概念时,我们必须在心中牢记经典概念的这个有限的适用范围,但我们不能够也不应当企图去改进这些概念。

为了更好地了解这个佯谬,比较一下在经典物理学和量子论中对一个实验进行理论解释的程序是有用的。譬如,在牛顿力学中,我们要研究行星的运动,可以从测量它的位置和速度开始。只要通过观测推算出行星的一系列坐标值和动量值,就可以将观测结果翻译成数学。此后,运动方程就用来从已定时间的这些坐标和动量值推导出晚些时候系统的坐标值或任何其他性质,这样,天文学家就能够预言系统在晚些时候的性质。例如,他能够预言月蚀的准确时间。

在量子论中,程序稍有不同。例如,我们可能对云室中一个电子的运动感兴趣,并且能用某种观测决定电子的初始位置和速度。但是这个测定将不是准确的;它至少包含由于测不准关系而引起的不准确度,或许还会由于实验的困难包含更大的误差。首先正是由于这些不准确度,才容许我们将观测结果翻译成量子论

的数学方案。写出的几率函数是代表进行测量时的实验状况的，其中甚至包含了测量的可能误差。

这种几率函数代表两种东西的混合物，一部分是事实，而另一部分是我们对事实的知识。就它选定初始时间的初始状况的几率为1（即完全确定）这一点说，它代表了事实：电子在被观测到的位置以被观测到的速度运动；“被观测到”意指在实验的准确度范围内被观测到。而就另一个观测者或许能够更准确地知道电子的位置这一点说，它则代表我们的知识。实验的误差并不（至少在某种程度上）代表电子的性质，而表示了我们对电子的知识的缺陷。这种知识的缺陷也是由几率函数表示的。

在经典物理学中，当在进行精细的研究时，人们同样应当考虑到观测的误差。结果，人们就得到关于坐标和速度的初始值的几率分布，因此也就得到很类似于量子力学中的几率函数的某种东西。只是量子力学中由于测不准关系而必有的测不准性，在经典物理学中是没有的。

当量子论中的几率函数已在初始时间通过观测决定了以后，人们就能够从量子论定律计算出以后任何时间的几率函数，并能由此决定一次测量给出受测量的某一特殊值的几率。例如，我们能预测以后某一时间在云室中某一给定点发现电子的几率。应当强调指出，无论如何，几率函数本身并不代表事件在时间过程中的经过。它只代表一些事件的倾向和我们对这些事件的知识。只有当满足一个主要条件时：例如作了决定系统的某种性质的新测量时，几率函数才能和实在联系起来。只有那时，几率函数才容许我们计算新测量的可能结果。而测量结果还是用经典物理学的术语叙述的。

由此可见，对一个实验进行理论解释需要有三个明显的步骤：  
(1)将初始实验状况转述成一个几率函数；(2)在时间过程中追踪

这个几率函数；(3)关于对系统所作新测量的陈述，测量结果可以从几率函数推算出来。对于第一个步骤，满足测不准关系是一个必要的条件。第二个步骤不能用经典概念的术语描述；这里没有关于初始观测和第二次测量之间系统所发生的事情的描述。只有到第三个步骤，我们才又从“可能”转变到“现实”。

让我们用一个简单的理想实验来演示这样三个步骤。前面已经说过，原子是由一个原子核和环绕原子核运动的电子所组成；前面也已论述过，电子轨道的概念是可疑的。人们或许会主张，至少原则上应当能够观察到轨道中的电子。人们可以简单地通过一个分辨本领非常高的显微镜来观看原子，这样就应该能看到在轨道中运动的电子。当然，使用普通光的显微镜是不能达到这样高的分辨本领的，因为位置测量的不准确度决不能小于光的波长。但是一个用波长小于原子大小的 $\gamma$ 射线的显微镜将能做到这一点。这样的显微镜尚未被制造出来，但这不应当妨碍我们讨论这个理想实验。

第一个步骤，即将观测结果转述成一个几率函数，是可能做到的吗？只有在观测后满足测不准关系时，这才是可能的。电子的位置可以观测得这样准确，其准确度随 $\gamma$ 射线的波长而定。在观测前电子可以说实际上是静止的。但是在观测作用过程中，至少有一个 $\gamma$ 射线的光量子必须通过显微镜，并且必须首先被电子所偏转。因此，电子也被光量子所撞击，这就改变了它的动量和速度。人们能够证明，这种变化的测不准性正好大到足以保证测不准关系的成立。因此，关于第一个步骤，没有丝毫困难。

同时，人们能够很容易理解没有观测电子环绕原子核的轨道的方法。第二个步骤在于显示一个不绕原子核运动而是离开原子的波包，因为第一个光量子已将电子从原子中打出。如果 $\gamma$ 射线的波长远小于原子的大小， $\gamma$ 射线的光量子的动量将远大于电子

的原始动量。因此,第一个光量子足以从原子中打出电子,并且人们决不能观测到电子轨道中另外的点;因此,也就没有通常意义的轨道了。下一次观测——第三个步骤——将显示电子离开原子的路线。两次相继观测之间所发生的事情,一般是完全无法描述的。当然,人们总想这样说:在两次观测之间,电子必定要处在某些地方,因而必定也描绘出某种路线或轨道,即使不可能知道是怎样一条路线。这在经典物理学中是一个合理的推论。但是,在量子论中,我们将在后面看出,这是语言的不合理的误用。我们可以暂时不去管这个警告究竟是指我们谈论原子事件的方法还是指原子事件本身,究竟它所涉及的是认识论还是本体论。但在任何情况下,我们对原子粒子的行为作任何陈述时,措辞都必须非常小心。

实际上我们完全不需要说什么粒子。对于许多实验,说物质波却更为便利;譬如,说环绕原子核的驻立物质波就更为便利。但是,如果不注意测不准关系所给出的限制,这样一种描述将和另一种描述直接矛盾。通过这些限制,矛盾就避免了。使用“物质波”是便利的,举例说,处理原子发射的辐射时就是这样。辐射以它的频率和强度提供了原子中振荡着的电荷分布的信息,因而波动图象比粒子图象更接近于真理。因此,玻尔提倡两种图象一并利用,他称它们是“互补”的。这两种图象当然是相互排斥的,因为一个东西不能同时是一个粒子(即限制于很小体积内的实体)而又是一个波(即扩展到一个大空间的场),但二者却互相补充。摆弄这两种图象,从一种图象转到另一种图象,然后又从另一种图象转回到原来的图象,我们最终得到了隐藏在我们的原子实验后面的奇怪的实在的正确印象。玻尔在量子论解释的好几个地方使用了“互补性”概念。关于粒子位置的知识是和关于它的速度或动量的知识互补的。如果我们以高度的准确性知道了其中一个,我们就不能以高度的准确性知道另一个;但为了决定系统的行为,我们仍须

两个都知道。原子事件的空间时间描述是和它们的决定论描述互补的。几率函数服从一个运动方程,就象坐标在牛顿力学中那样;它随时间的变化是被量子力学方程完全决定了的,但它不容许对原子事件在空间和时间中进行描述。另一方面,观测要求在空间和时间中对系统进行描述,但是,由于观测改变了我们对系统的知识,它也就破坏了几率函数的已定的连续性。

一般地讲,关于同一实在的两种不同描述之间的二象性已不再是一个困难了,因为我们已经从量子论的数学形式系统得知,矛盾是不能产生的。两种互补图象——波和粒子——间的二象性也很清楚地表现在数学方案的灵活性中。数学形式系统通常是仿照牛顿力学中关于粒子的坐标和动量的运动方程写出的。但通过简单的变换,就能把它改写成类似于关于普通三维物质波的波动方程。因此,摆弄不同的互补图象的这种可能性类似于数学方案的不同变换;它并不给量子论的哥本哈根解释带来任何困难。

然而,当人们提出了这样一个著名的问题:“但是在原子事件中‘真正’发生了什么呢?”这时,了解这种解释的真正困难就产生了。前面说过,一次观测的机构和结果总是能用经典概念的术语来陈述的。但是,人们从一次观测推导出来的是一个几率函数,它是把关于可能性(或倾向)的陈述和关于我们对事实的知识的陈述结合起来的一种数学表示式。所以我们不能够将一次观测结果完全客观化,我们不能描述这一次和下一次观测间“发生”的事情。这看来就象我们已把一个主观论因素引入了这个理论,就象我们想说:所发生的事情依赖于我们观测它的方法,或者依赖于我们观测它这个事实。在讨论这个主观论的问题之前,必须完全解释清楚,为什么当一个人试图描述两次相继进行的观测之间所发生的事情时,他会陷入毫无希望的困难。

为此目的,讨论下述理想实验是有好处的:我们假设一个小的

单色光源向一个带有两个小孔的黑屏辐射。孔的直径不可以比光的波长大得太多，但它们之间的距离远远大于光的波长。在屏后某个距离有一张照像底片记录了入射光。如果人们用波动图象描述这个实验，人们就会说，初始波穿过两个孔；将有次级球面波从小孔出发并互相干涉，而干涉将在照像底片上产生一个强度有变化的图样。

照像底片的变黑是一个量子过程，化学反应是由单个光量子所引起的。因此，用光量子来描述实验必定也是可能的。如果容许讨论单个光量子在它从光源发射和被照像底片吸收之间所发生的事情的话，人们就可以作出如下的推论：单个光量子能够通过第一个小孔或通过第二个小孔。如果它通过第一个小孔并在那里被散射，它在照像底片某点上被吸收的几率就不依赖于第二个孔是关着或开着。底片上的几率分布就应当同只有第一个孔开着的情况一样。如果实验重复多次，把光量子穿过第一个小孔的全部情况集中起来，底片由于这些情况而变黑的部分将对应于这个几率分布。如果只考虑通过第二个小孔的那些光量子，变黑部分将对应于从只有第二个小孔是开着的假设推导出来的几率函数。因此，整个变黑部分将正好是两种情况下变黑部分的总和；换句话说，不应该有干涉图样。但是我们知道，这是不正确的，因为这个实验必定会出现干涉图样。由此可见，说任一光量子如不通过第一个小孔就必定通过第二个小孔，这种说法是有问题的，并且会导致矛盾。这个例子清楚地表明，几率函数的概念不容许描述两次观测之间所发生的事情。任何寻求这样一种描述的企图都将导致矛盾；这必定意味着“发生”一词仅限于观测。

这确是一个非常奇怪的结果，因为它们似乎表明，观测在事件中起着决定性作用，并且实在因为我们是否观测它而有所不同。为了更清楚地表明这一点，我们必须更仔细地分析观测过程。



首先,记住这一点是重要的:在自然科学中,我们并不对包括我们自己在内的整个宇宙感到兴趣,我们只注意宇宙的某一部分,并将它作为我们研究的对象。在原子物理学中,这一部分通常是一个很小的对象,一个原子粒子或是一群这样的粒子,有时也可能要大得多——大小是不关紧要的;但是,重要的是,包括我们在内的大部分宇宙并不属于这个对象。

现在,从已经讨论过的两个步骤开始对实验作理论的解释。第一步,我们必须用经典物理学的术语来描述最后要和第一次观测相结合的实验装置,并将这种描述转译成几率函数。这个几率函数服从量子论的定律,并且它在连续的时间过程中的变化能从初始条件计算出来;这是第二步。几率函数结合了客观与主观的因素。它包含了关于可能性或较大的倾向(亚里士多德哲学中的“潜能”)的陈述,而这些陈述是完全客观的,它们并不依赖于任何观测者;同时,它也包含了关于我们对系统的知识的陈述;这当然是主观的,因为它们对不同的观测者就可能有所不同。在理想的情形中,几率函数中的主观因素当与客观因素相比较时,实际上可以被忽略掉。这时,物理学家就称它为“纯粹情态”。

现在,当我们作第二次观测时,它的结果应当从理论预言出来;认识到这一点是十分重要的,即我们的研究对象在观测前或至少在观测的一瞬间必须和世界的另一部份相接触,这世界的另一部份就是实验装置、量尺等等。这表示几率函数的运动方程现在包含了与测量仪器的相互作用的影响。这种影响引入一种新的测不准的因素,因为测量仪器是必须用经典物理学的术语描述的;这样一种描述包含了有关仪器的微观结构的测不准性,这是我们从热力学认识到的;然而,因为仪器又和世界的其余部份相联系,它事实上还包含了整个世界的微观结构的测不准性。从这些测不准性仅仅是用经典物理学术语描述的后果而并不依赖于任何观察者

这一点说，它们可以称为客观的。而从这些测不准性涉及我们对于世界的不完全的知识这一点说，它们又可以称为主观的。

在发生了这种相互作用之后，几率函数包含了倾向这一客观因素和知识的不完整性这一主观因素，即令它以前曾经是一个“纯粹情态”，也还是如此。正是由于这个原因，观测结果一般不能准确地预料到；能够预料的只是得到某种观察结果的几率，而关于这种几率的陈述能够以重复多次的实验来加以验证。几率函数不描述一个确定事件（即不象牛顿力学中那种正常的处理方法），而是种种可能事件的整个系综，至少在观测的过程中是如此。

观测本身不连续地改变了几率函数；它从所有可能的事件中选出了实际发生的事件。因为通过观测，我们对系统的知识已经不连续地改变了，它的数学表示也经受了不连续的变化，我们称这为“量子跳变”。当一句古老的谚语“自然不作突变”被用来作为批评量子论的根据时，我们可以回答说：我们的知识无疑是能够突然地变化的，而这个事实证明使用“量子跳变”这个术语是正确的。

因此，在观测作用过程中，发生了从“可能”到“现实”的转变。如果我们想描述一个原子事件中发生了什么，我们必须认识到，“发生”一词只能应用于观测，而不能应用于两次观测之间的事态。它只适用于观测的物理行为，而不适用于观测的心理行为，而我们可以说，只有当对象与测量仪器从而也与世界的其余部分发生了相互作用时，从“可能”到“现实”的转变才会发生；它与观测者用心智来记录结果的行为是没有联系的。然而，几率函数中的不连续变化是与记录的行为一同发生的，因为正是在记录的一瞬间我们知识的不连续变化在几率函数的不连续变化中有了它的映象。

那么，我们对世界，特别是原子世界的客观描述最终能达到什么样的程度呢？在经典物理学中，科学是从信仰开始的——或者人们应该说是从幻想开始的？——这就是相信我们能够描述世

界,或者至少能够描述世界的某些部分,而丝毫不用牵涉到我们自己。这在很大程度上是实际可能做到的。我们知道伦敦这个城市存在着,不管我们看到它与否。可以说,经典物理学正是那种理想化情形,在这种理想化情形中我们能够谈论世界的某些部分,而丝毫不涉及我们自己。它的成功把对世界的客观描述引导到普遍的理想化。客观性变成评定任何科学结果的价值时的首要标准。量子论的哥本哈根解释仍然同意这种理想化吗?人们或许会说,量子论是尽可能地与这种理想化相一致的。的确,量子论并不包含真正的主观特征,它并不引进物理学家的精神作为原子事件的一部分。但是,量子论的出发点是将世界区分为“研究对象”和世界的其余部分,此外,它还从这样一个事实出发,这就是至少对于世界的其余部分,我们在我们的描述中使用的是经典概念。这种区分是任意的,并且从历史上看来,是我们的科学方法的直接后果;而经典概念的应用终究是一般人类思想方法的后果。但这已涉及我们自己,这样,我们的描述就不是完全客观的了。

在开始时已说过,量子论的哥本哈根解释是从一个佯谬开始的。它从我们用经典物理学术语描述我们的实验这样一个事实出发,同时又从这些概念并不准确地适应自然这样一个认识出发。这样两个出发点间的对立关系,是量子论的统计特性的根源。因此,不时有人建议,应当统统摒弃经典概念,并且由于用来描述实验的概念的根本变化,或许可能使人们回到对自然界作非静态的、完全客观的描述。

然而,这个建议是立足于一种误解之上的。经典物理学概念正是日常生活概念的提炼,并且是构成全部自然科学的基础的语言中的一个主要部分。在科学中,我们的实际状况正是这样的,我们确实使用了经典概念来描述实验,而量子论的问题是在这种基础上来找出实验的理论解释。讨论假如我们不是现在这样的人,

我们能做些什么这样的问题,是没有用处的。在这一点上,我们必须认识到,正如冯·威扎克(Von Weizsäcker)所指出的,“自然比人类更早,而人类比自然科学更早。”这两句话的前一句证明了经典物理学是具有完全客观性的典型。后一句告诉我们,为什么不能避免量子论的佯谬,即指出了使用经典概念的必要性。

我们必须在原子事件的量子理论解释中给实际程序加上若干注释。已经说过,我们的出发点总是把世界区分为我们将进行研究的对象和世界的其余部分,并且这种区分在某种程度上是任意的。举例说吧,如果我们将测量仪器的某些部分或是整个仪器加到对象上去,并对这个更复杂的对象应用量子论定律,在最终结果上确实不应有任何差别。能够证明,理论处理方法这样的一种改变不会改变对已定实验的预测。在数学上这是由于这样一个事实,就是对于能把普朗克常数看作是极小的量的那些现象,量子论的定律近似地等价于经典定律。但如果相信将量子理论定律对测量仪器这样应用时,能够帮助我们避免量子论中的基本佯谬,那就错了。

只有当测量仪器与世界的其余部分密切接触时,只有当在仪器和观测者之间有相互作用时,测量仪器才是名符其实的。因此,就象在第一种解释中一样,这里关于世界的微观行为的测不准性也将进入量子理论系统。如果测量仪器与世界的其余部分隔离开来,它就既不是一个测量仪器,也就根本不能用经典物理学的术语来描述了。

关于这种状况,玻尔曾强调指出,对象和世界其余部分的区分不是任意的这种讲法是更为现实些。在原子物理学中,我们的研究工作的实际状况通常是这样的:我们希望了解某种现象,我们希望认识这些现象是如何从一些普遍的自然规律中推导出来的。由此可见,参与现象的一部分物质或辐射是理论处理中的当然的“对

象”，并且在这方面，它们应当和用来研究现象的工具分离开来。这又使得原子事件描述中的主观因素突出出来，因为测量仪器是由观测者创造出来的，而我们必须记得，我们所观测的不是自然的本身，而是由我们用来探索问题的方法所揭示的自然。在物理学中，我们的科学工作在于用我们所掌握的语言来提出有关自然的问题，并且试图从我们随意部署的实验得到答案。正如玻尔所表明的，这样，量子论就使我们想起一个古老的格言：当寻找生活中的和谐时，人们决不应当忘记，在生活的戏剧中，我们自己既是演员，又是观众。可以理解，在我们与自然的科学关系中，当我们必须处理只有用最精巧的工具才能深入进去的那部分自然时，我们本身的活动就变得很重要了。

## 第四章

### 量子论和原子科学的渊源

原子的概念比十七世纪现代科学的开端要早得多；它起源于古希腊的哲学，在希腊哲学初期，它还是留基伯(Leucippus)和德谟克利特(Democritus)所传授的唯物主义的**中心概念**。另一方面，原子事件的现代解释和真正的唯物主义哲学已很少类似之处；事实上，人们可以说原子物理学已经使科学离开了它在十九世纪所具有的唯物主义倾向。因此，将希腊哲学向原子概念的发展同这一概念现在在现代物理学中的地位作一比较，是颇有趣味的。

首次提出物质的最小的、不可分割的、最终的单位的观念，是和作为希腊哲学初期的标志的关于**物质、存在和生成**等概念的刻苦钻研相联系的。这时期开始于公元前六世纪，首先是由米利都学派的创始人泰勒斯(Thales)开端的，亚里士多德认为“水是万物的质料因”这个命题就是泰勒斯首创的。这个命题，虽然在我们看来感到很奇怪，但却如尼采(Nietzsche)所指出，表达了哲学的三个基本观念。第一，提出万物的质料因问题；第二，要求对这个问题作出合理的回答，而不求助于神话和神秘主义；第三，假设最终必能把万物还原于一个本原。泰勒斯的命题是关于基本实体观念的第一个表述，他认为所有其他东西都是基本实体的暂时形式。在那个时代所说“实体”一词，当然不是单纯在质料的意义上解释的，如我们今天常常描述它的那样。当时，生命被认为是与这种“实体”相联系或者是这种“实体”所固有的，并且，亚里士多德认为“万物都充满着神”这一命题也是泰勒斯提出的。但是，泰勒斯还

是提出了万物的质料因这样一个问题,并且不难设想,他最初是从气象学的考察形成他的观点的。我们知道,在万物之中,水能够取多种多样的形状:它在冬天能取冰和雪的形式,它能变为蒸汽,它能形成云雾。在河流形成三角洲的地方水似乎转化成为土地,水也能从土地中喷出。水是生命的条件。由此可见,假如说有那么一种基本实体,很自然地会首先想到水。

基本实体的观念后来又为阿那克西曼德(Anaximander)进一步发展了,他是泰勒斯的学生,他们生活在同一个城市中。阿那克西曼德否认基本实体是水或者是任何其他已知的实体。他教导说,原始实体是无限的、永恒的和不灭的,它包含着整个世界。这种原始实体转化成为各种各样我们熟悉的实体。德奥弗拉斯特(Theophrastus)引用了阿那克西曼德的一段话:“万物所由之而生的东西,万物又消灭而复归于它,这是命运规定的了,因为万物按照时间的秩序,为它们彼此间的不正义而互相补偿。”在这种哲学中,存在与生成的对立起着基本的作用。原始实体,即无限和永恒的、不能分割的存在,退化成为多种多样的形式,这些形式导致无穷无尽的斗争。生成的过程被看作是无限的存在的一种贬质——即分离成为对立,这种对立又因复归到无形无性的那种东西而最后得到补偿。这里所指的对立是热和冷、火和水、湿和干等对立面。其中一方对另一方的暂时胜利就是不正义,为此,它们最后将按照时间的秩序作出补偿。按照阿那克西曼德的见解,存在着“永恒的运动”,有无穷个世界从无限中产生,又消灭复归于无限。

在这里指出这一点可能是有意思的,“原始实体能不能是一种已知的实体或者它必须是某种本质上不同的东西?”这个问题在原子物理学的最新部门中也以稍微不同的形式发生了。现今,物理学家企图发现一个物质的基本运动定律,使得所有基本粒子和它们的性质都能用数学方法从这个定律推导出来。这个基本运动

方程或许与一种已知类型的波有关,例如和质子和介子波有关,或许与一种本质上不同性质的波有关,这种波与任何已知的波或基本粒子都毫无关系。第一种情形意味着所有其他基本粒子都能用某种方法还原为少数几种“最基本的”基本粒子;实际上在过去的二十年中,理论物理学主要遵循了这条研究路线。在第二个情形中,所有不同的基本粒子,都能够还原为某种我们可以称作能量或者物质的普遍实体,但基本粒子中的任何一个都不能比其他的更为“基本”。当然,后一见解与阿那克西曼德的学说更为一致,我相信,在现代物理学中这种见解是正确的。但现在还是让我们继续讨论希腊哲学吧。

米利都学派的第三个哲学家,阿那克西曼德的朋友阿那克西米尼(Anaximenes)教导说,空气是原始实体。“正如我们的灵魂是空气,并且是通过灵魂使我们结成一体一样,嘘气和空气也包围着整个世界。”阿那克西米尼在米利都哲学中引入了凝聚和稀散过程是原始实体变化为其他实体的原因的观念。水蒸汽凝聚为云被看作是一个明显的例子,当然,空气和水蒸汽的差别在那时候还是不知道的。

在爱非斯的赫拉克利特(Heraclitus)的哲学中,生成的概念占有头等的地位。他认为运动着的火是基本的元素。他认为对立面的斗争正是一种和谐,从而解决了将一个基本的本原的观念与现象的无限多样性相协调的困难。对于赫拉克利特,世界同时是一和多,正是各个对立面的“对立关系”构成了一的统一性。他说:“应当知道,战争对一切都是共同的,斗争就是正义,一切都是通过斗争而产生和消灭的。”

将希腊哲学的发展回顾到这里,人们认识到,从开始到这个阶段,它都被一与多之间的对立关系所推动。对于我们的感觉,世界是由物、事件、颜色、声音的无限多样性所构成的。但是为了了解



它，我们必须引入某种秩序，而秩序意味着去认识什么是相等的，它意味着某种统一性。由此产生了有一个基本的本原的信仰，而同时也产生了从它导出万物的无限多样性的困难。因为世界是由物质组成的，所以，万物应当有一个质料因的观点是理所当然的出发点。但当人们把基本统一性的观念推到极端，人们就到达无限的和永恒的不可分割的**存在**，它不管是不是质料的，都不能以它本身解释万物的无限多样性。这就导致**存在和生成**的对立，并最终导致赫拉克利特的解答：变化本身是基本的本原；正如诗人们颂赞它的：“不朽的变化啊，你革新了世界。”但是变化本身并不是一个质料因，因而在赫拉克利特的哲学中用火来代表它，把它当作一个基本元素，它既是物质，又是一种动力。

在这里我们可以看到，现代物理学在某些方面非常接近赫拉克利特的学说。如果我们用“能量”一词来替换“火”一词，我们差不多就能用我们现在的观点一字不差地来重述他的命题。**能量**实际上是构成所有基本粒子、所有原子，从而也是万物的实体，而能量就是运动之物。能量是一种实体，因为它的总量是不变的，并且在许多产生基本粒子的实验中可以看到，基本粒子能够实际上用这种实体制成。能量能够转变为运动、热、光和张力。能量可以称为世界上一切变化的基本原因。但是希腊哲学和现代科学观念的这种对比将在后面讨论。

在生活于南意大利的爱利亚的巴门尼德(Parmenides)的教义中，希腊哲学又暂时回到了**一**的概念。他对希腊思想的最重要的贡献或许是他将纯逻辑推理引入了形而上学。“你不能知道什么是非存在——那是不可能的，——你也不能说出它来；因为能够思维的和能够存在的乃是同一回事。”由此可见，只有**一**存在，没有生成，没有消亡。巴门尼德根据逻辑推理否认虚空的存在。又因为如他所假定，一切变化都需要虚空，所以他否定了变化，把变化