

# 纪念普朗克发现量子论 100 周年\*

何 祚 麻

(中国科学院理论物理研究所 北京 100080)

**摘 要** 简要地回顾了普朗克发现量子论和由量子论发展为量子力学的简明历程,以及量子力学对科学和人类社会的贡献.讨论了科学创新的评价标准问题,指出量子力学应得到最高的评价,亦即是美学评价标准、学术评价标准和实践评价标准的统一.还讨论了江泽民主席所提出的“三个代表”的理论,指出这一理论应成为评价一切科学工作的根本标准,也是评价我国各方面工作的根本标准.指出我国科学工作除了要集中力量于解决足以影响国民经济或国防建设的全局的 8—10 个重大科学技术问题外,还要集中一定的力量于看起来是“无用”的基础研究.当前正在发展中的物理学的第四次大突破,就是值得关注的问题之一.

**关键词** 量子论,量子力学

## LECTURE DEDICATED TO THE 100th ANNIVERSARY OF MAX PLANCK'S FOUNDING OF QUANTUM THEORY

HE Zuo-Xiu

(*Institute of Theoretical Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China*)

**Abstract** The history of the development of quantum theory since its discovery by Planck in 1900 is outlined. The great achievements of quantum mechanics and its contribution to science and mankind are summarized briefly. Judged by all possible criteria, namely, esthetics and scientific criteria and contribution to society in general, quantum mechanics can be ranked in as the highest one. It is stressed that our scientific efforts should be focused on eight to ten most important problems, which could benefit our economy or national defense. At the same time, we should also pay attention to some purely basic research topics that seems “useless” and devoid of any applications. The ongoing fourth breakthrough in physics is the one that deserves attention.

**Key words** quantum theory, quantum mechanics

在 100 年前的今天,也就是 1900 年的 12 月 14 日,普朗克宣布发现了量子论.今天我们大家聚集在北京的中国科技馆,共同纪念这一划时代的伟大发现.下面将扼要地介绍一下量子论的缘起以及由量子论到量子力学的发生发展过程.

### 1 历史的回顾

#### 1.1 光量子说出现以前的有关光的本质的理论——从微粒到波动

19 世纪的物理学,以场的概念的确立获得巨大胜利而告终.由于电磁论代替了机械论,人们就开始转而塑造一幅由带电粒子如质子、电子等及其电磁相互作用来解释自然界的新图像.然而在这一电磁图像中,粒子是粒子,场是场,连续形态的物质和不连续形态物质间却还存在一道鸿沟.自 20 世纪开始,在人们对物质形态的认识上,又掀起了一场革

命,这就是光量子说的出现.

在物理学发展的历史上,曾经有一场历时数百年之久的、关于光的本质的争论:光是微粒,还是波动?为了解决这一著名的争论,法国科学院甚至悬赏公开征求解答.统治着 17—18 世纪的观念是原子论.很自然地,这一观念也用来解释光的现象.光是沿直线进行的,光在遇到障碍物后,就出现了阴影.这极易引导人们设想到光是一连串的微粒.光的微粒说的创始人,可以上推到古希腊的德谟克利特.他认为光是一束从发光体运动到眼睛的微粒.为微粒说奠定基础的,却是牛顿.正是牛顿用他的力学定律解释了一系列有关光的现象(反射、折射等等),如反射就被归结为微粒的弹性碰撞.对微粒说持不同意见的人,是和牛顿同时代并且还略早一些的惠更斯.1690 年,惠更斯把光解释为类似于声波进行的一种

\* 2001-01-18 收到

纵波。惠更斯还证明了，这种光波会在一定条件下作直线运动，而且也会遵守反射定律和折射定律。当然，这种光波也会“绕过”障碍物。如果这种障碍物的尺度和波长相当的话。但是，大多数人都支持微粒说，因为只有粒子才能给出清晰的阴影，更重要的是由于牛顿的崇高威望。在托马斯·杨的有关光的干涉实验出现以前，波动学说被忽视了整整达1个世纪之久！

惠更斯的光波是纵波，杨却建议改为横波。横波学说的最大胜利是能解释光通过冰州石时出现的双折射现象，这无论是微粒说还是纵波说都不能解释。然而为波动说奠定基础的却是实验：光通过障碍物的绕射的实验、光波的干涉实验等等。

但是，波动学说对微粒学说取得的胜利，却并非是一帆风顺的。相传在19世纪初叶，在巴黎科学院的某一次年会上，物理学家兼数学家泊松和物理学家菲涅耳之间，就微粒说和波动说的争议展开了一场争鸣。菲涅耳是横波学说的拥护者和奠基者，而泊松却是微粒学说的热烈的支持者。在年会上，两人各自就所赞成的学说提出他们的论据。泊松用来反驳波动学说的一个重要论据是：如果从菲涅耳所主张的波动学说出发，应该可以作出以下推论，就是利用波动学说的数学公式，可以计算出一个点状光源所放出的光可以绕过一个圆盘而聚焦在圆盘阴影后面的中央。但是，在泊松看来，这一推论和光线沿直线进行的现象是相冲突的。因而，泊松就据此指出波动学说的错误。然而不久，菲涅耳却按照泊松所指出的这一推论，做了一个实验，实验结果表明，在圆盘阴影后面的中央，果然存在着一个亮点！乍一看来，这是波动学说的胜利。然而泊松并不因此而折服，他指出这一现象也可以用微粒学说来解释。按照微粒学说，光的微粒在走过圆盘的边缘时，将受到圆盘对微粒的吸引力的牵引（如万有引力）而改变了前进的方向，最后就聚焦在圆盘中央。圆盘衍射的实验固然说明波动学说是正确的，但并不能排斥微粒学说的正确性，而一个学说的最终胜利，必须找出足以完全判别是非的判决性实验。所以，在法国科学院的年会上，虽然在泊松和菲涅耳的辩论上，仿佛是波动学说取得了胜利，但却没有取得最终的胜利。后来，菲涅耳又进行了一个由两面镜子同时反射一个光源而发生干涉现象的实验，这已无法再用微粒学说来解释。由于实验上出现了这种确证，波动学说取得了最后的胜利。

然而波动学说的胜利也带来了一个理论的难

题，那就是横波的光是怎样振动的。在早期的波动学说中，无疑只是假设光是“以太”的振荡。如果“以太”是某种气体，或是液体，那么解释可能产生的纵波将没有困难。可是光波却是横波，横波的产生必须有剪切力，这就要求“以太”是透明的固体。而由于光速的巨大，那么“以太”还必须是非常坚硬的固体。但如果“以太”是坚硬固体的话，行星又如何能绕太阳而运动？！所以，波动学说虽然在解释有关光的种种实验现象上取得了巨大成功，但并没有能解决理论上的矛盾。

## 1.2 从波动学说光量子说

爱因斯坦的狭义相对论完全解除了“以太”观念的束缚，由麦克斯韦方程中的介电常数和介磁常数所导出的电磁波的传播速度，进一步又由高精度的实验，证明和高精确度测定的光速  $c$  完全一致，这就确凿无疑地证明了光是电磁波。但是随着光的电磁理论的胜利，却又出现了新的观念，这就是1900年，德国物理学家普朗克所提出的光量子的假说。

19世纪末期，实验已经能对热辐射所产生的光谱及其强度的分布进行精密的测定。19世纪末叶，瑞利和金斯曾经试图用经典统计力学从理论上说明这一热辐射光谱（又名黑体光谱），却只能在光谱的长波方面和实验结果符合一致，在短波方面却完全不符合。维恩虽导出一个符合于短波波长分布的公式，而在长波方面又完全不符合。普朗克注意到，如果认为原子不是连续地而是断续地放出和吸收能量，或者说，把“粒子”的性质赋予光的吸收和放射的话，那么他将能推导出首先利用“内插法”所猜测到的那个普朗克辐射公式，并和瑞利或维恩公式中的正确部分相一致。但是这种思想和当时已知的经典电磁理论相差太大，以至于普朗克自己也不相信这一观念。但是在1900年的夏天，普朗克对这一问题作了精心的研究后，确信“能量子”的观念成立，亦即能量子  $= h\nu$ ，其中  $h$  是普朗克常数， $\nu$  是光的振动频率，这一观念的出现已是不可避免的了。

1905年，爱因斯坦继承了普朗克所提出的这一革命性的观念，用以解释当时的电磁理论所不能完全解释的光电效应，亦即在光的照射下，由金属逸出的电子的能量和光的强度无关，但和波长有关。爱因斯坦指出，如果接受了普朗克的光量子的假说，那么将能很自然地解释光电效应。爱因斯坦因此而获得了诺贝尔奖。

首先把光看作是某种以光速  $c$  在真空中运动的粒子亦即光子的是爱因斯坦。正式赋予光子这一

名称的是康普顿. 1923年, 康普顿在测量 X 射线和某些物质的散射时, 发现某些散射后的 X 射线的波长变长了. 康普顿为了解释这一现象, 就除了假定光子的能量  $E = h\nu$  以外, 还吸收了 1917 年由爱因斯坦对光子还具有动量  $p$  的假定, 亦即  $p = h\nu/c$ . 这样, 光子就被看成为既具有确定能量, 又有确定动量的完整的粒子. 如果令这一粒子和静止中的电子发生完全的弹性碰撞, 就可以发现碰撞后的光子的能量和动量都有了改变, 亦即相应的波长有了改变, 其数值恰好就是康普顿在实验上测量到的数值! 后来, 康普顿在吴有训的帮助下改进了他的实验, 进一步确证了这一命名为康普顿效应的实验现象.

康普顿实验的重要意义, 就在于他为光的辐射确立了粒子观. 过去, 至多认为在能量的吸收和发射上, 其能量的改变具有“粒子性”. 但是康普顿散射的实验却将光辐射看成是既有能量又有动量的粒子, 而且通过牛顿力学中早已研究过的能量守恒定律和动量守恒定律, 就能预言出, 这一弹性碰撞将能导致光量子波长或频率的改变. 但是, 光子虽然能被认为是粒子, 但又是波, 因为它们具有确定的振荡频率, 又有实验上所完全确定的波动现象, 如绕射、干涉等效应.

总之, 由微粒而波动, 由波动而微粒二象性的认识的历史发展表明: 人的认识的确有一个“正、反、合”的过程, 或者说符合唯物辩证法所揭示的“否定之否定”的规律.

### 1.3 光子的波粒二象性和粒子的波粒二象性

由光子所具有波粒二象性的矛盾或对立, 使人们推想到这一“波粒二象性”的性质也许具有普遍性. 1924年, 德布罗意提出了一个大胆的假说: 如果被人们看作是典型的波动现象的光具有波动性, 那么被人们看作是粒子的电子和质子, 是不是也可以具有波动性? 德布罗意在康普顿观念的启示下, 认为电子或质子等粒子有如下的波粒二象性, 即和粒子动量相应的有如下的波长  $\lambda = h/p$ , 其中  $p$  是粒子的动量. 实际上, 德布罗意这一物质波的假定, 只不过是爱因斯坦对光子具有动量的假定倒过来应用.

1925年, 戴维孙和盖默在一次偶然的故事中, 观察到电子在镍的晶体上的衍射现象, 但这一现象没有引起人们包括他们本人的注意. 后来, 在了解到德布罗意的物质波的概念后, 人们较精确地观察到电子在镍单晶上的衍射, 由衍射花样所推断出的电子的波长, 恰好与德布罗意所预言的物质波的波长相同!

后来, 人们在实验中发现, 不仅电子, 还有质子、中子等“基本”粒子都具有波动性, 甚至这些粒子的集合, 如原子、分子等复杂粒子, 也具有波动性. 这样, 波粒二象性就是一切物质所具有的普遍的性质. 还可以举出一些说明粒子具有波动性的很有特色的实验. 例如, 光子在介质中具有全反射的特性, 利用玻璃纤维可以把可见光传递几千米的距离而损耗极小. 所谓光通信就利用这一原理. 实验表明, 中子也有类似的性质. 中子本来是高穿透性的不带电的物质, 能在介质中自由地飞来飞去. 可是, 当中子能量降低到超冷中子的范围时, 中子在铜或铍做成的导管里也能产生这种全反射现象. 用铜或铍做成的导管可将超冷中子传递达几百米的距离而不致漏失!

物质的“波粒二象性”的发现表明, 物质既不是不连续的, 也不是连续的, 而是连续和不连续性质的对立和统一. “波粒二象性”就第一次揭示了这种对立面的统一.

### 1.4 从波粒二象性到波动力学

描述粒子运动规律的是牛顿力学, 或者是具有相对论修正的牛顿力学. 但是, 现在的粒子却同时又是波, 而有了波, 就应该有一个波动方程, 或称为波动力学, 这就是由薛定谔曾经利用“光线沿直线进行并且也有一个波动方程”的事实, 作为类比而导出他著名的薛定谔方程. 下面介绍一种较为直观的、由德布罗意物质波概念的推广而求出薛定谔方程的方法.

德布罗意的物质波, 实质上是平面波, 亦即为正弦或余弦函数形式的振动. 很容易将这一平面波写成如下的标准形式

$$\Psi(x, t) = \Psi_0 e^{i(kx - \omega t)},$$

其中  $\Psi_0$  是振幅,  $k$  是波矢,  $\omega$  是振荡角频率. 由德布罗意关系, 可知

$$E = h\nu = \hbar\omega,$$

$$p = \frac{h}{\lambda} = \hbar k,$$

这里  $\nu$  和  $\lambda$  是相应的频率和波长. 由牛顿力学可知, 对于自由粒子, 能量

$$E = \frac{p^2}{2m},$$

或可写为

$$\hbar\omega = \frac{(\hbar k)^2}{2m},$$

在有了这些式子以后, 很容易求出上述平面波所满足的方程式

$$(i\hbar \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2})\Psi = 0,$$

因为只要将以上平面波的算式代入偏微分方程中, 就可以得到

$$(E - \frac{p^2}{2m})\Psi = 0.$$

薛定谔注意到, 对于自由粒子, 其能量  $E$  当然就只有动能  $\frac{p^2}{2m}$ , 而如果所讨论的对象是粒子在某一势  $V(x)$  中的运动, 那么立刻可以猜想到, 这一可能的波动力学将满足如下的方程式:

$$[E - \frac{p^2}{2m} - V(x)]\Psi = 0,$$

也就是

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + V(x)\Psi.$$

有了薛定谔方程以后, 就给出了有关物质的“波粒二象性”的完整的图像. 电子、质子等“基本”粒子, 一方面是粒子, 亦即具有确定的动量、能量, 满足能量和动量的守恒定律; 另一方面又是“波”, 可以发生绕射、干涉等典型的波动现象, 并且可以由薛定谔方程所描述. 尤其是当  $\hbar \rightarrow 0$  时, 薛定谔方程就能还原为牛顿方程.

以上介绍的是人们由波粒二象性而导出量子力学的波动力学形式的一条认识的路线. 在历史上还有由量子论到玻尔的原子模型, 玻尔和索莫菲尔德的旧量子力学, 后来由海森伯给出了量子力学的矩阵力学的形式的另一条认识路线. 最终却由薛定谔证明了波动力学和矩阵力学是完全等价的量子力学.

## 2 量子力学开拓了人类认识自然和改造自然的新时代

### 2.1 量子力学开拓了物理学研究的一系列新领域

量子力学建立以后的十几年, 是量子力学取得一系列辉煌成就的时代. 在原子物理中, 人们用量子力学解释了原子结构, 解释了磁场和电场引起的谱线劈裂, 解释了强电场中的金属何以能拉出电子, 而这在古典牛顿力学中是不可理解的现象(因为这涉及势垒穿透效应), 解释了门捷列夫的化学元素周期律为什么会出现这种周期性.

量子力学的一个重要成就, 是解释了化学亲和力. 原子是怎样粘接成多种多样形态的化合物的, 这一直是化学家梦寐以求的难题. 在有了量子力学以后, 就弄清楚什么是离子键、共价键、氢键、金属键等等不同的形式. 由于量子力学的出现, 就把化学还原为物理学的一个部门.

量子力学也推动了原子核物理学的研究, 整个原子核物理理论就是由质子和中子(另一个“基本”粒子)组成的量子力学体系.

量子力学所蕴涵的波粒二象性的原则还被进一步推广到各式各样的体系, 这就开拓了量子场论的领域, 人们在微观世界的认识的进程中, 也就由原子核物理延伸到粒子物理, 或又称为基本粒子物理.

总之, 量子力学反映了人们对自然的认识达到了一个新的阶段, 即由宏观世界进入到微观世界.

### 2.2 量子力学开拓了人类应用新技术又称为高新技术的新时代

量子力学不仅解释了微观世界里的许多现象、经验事实, 而且还开拓了一系列新的技术领域. 首先, 量子力学和狭义相对论再加上原子核物理的深入研究, 共同开拓了一个新时代, 人类进入原子能时代, 从而为人类找到了一种可以说是“取之不尽, 用之不竭”的能源, 并有可能将人类活动的踪迹由地球移到别的星球, 如月球、火星等等.

然而更为重要的是, 量子力学还开辟了一种全新的信息技术, 致使人类进入信息化的新时代, 或又称为电脑时代. 量子力学除了应用到原子、分子、原子核、粒子等微观体系外, 它还被应用到固体领域等复杂体系, 用它解释了铁磁体、铁电体等物质的电磁性质, 也解释了为什么有些材料是绝缘体, 有些是导体. 尤其重要的是, 解释了为什么某些材料是半导体. 而且根据量子力学, 在这些半导体中, 可以有电子导电、空穴导电等区别, 从而又提出半导体的二极管、三极管等观念. 后来又发展为集成电路. 大规模集成电路的组合, 成为现代电子计算机的技术基础. 可以说, 没有量子力学, 就没有以电脑控制占主导地位的现代工业.

量子力学的研究所提出的光的受激辐射的原理, 还被用来研制种种形态的激光器, 广泛地应用于科学实验, 制成激光雷达、激光制导以及激光武器(又称为“死光”)等等. 尤为重要的是激光通信, 它可以通过光纤网络高速而大容量地实现通信, 所谓“信息高速公路”就是利用光纤来实现信息量大于每秒 10Gb 以上的通信网络. 这已成为当代新经济的重要内涵. 顺便说说, 描述光纤通信的光的传播的方程式, 正是二维的量子力学方程.

### 2.3 量子力学和认识论问题

量子力学所给予人们的还不仅仅是科学和技术上的成就, 量子力学还丰富和发展了唯物主义哲学, 发展了马克思主义的认识论. 首先是量子力学深化

了人们对物质的运动的基本规律的认识。古典物理学所追求的一个崇高理想,就是自然界将能由一系列的微分方程或偏微分方程所描述,在给定的始值条件和边值条件下,人们将能描述和预测世界发展的一切细节。天体物理学家拉普拉斯曾认为:如果有一个智能生物能确定从最大天体到最轻原子运动的现时状态,就能按照力学规律推算出整个宇宙的去状态和未来状态,这又称为拉普拉斯式的决定论。

19世纪的机械论自然观的破灭,并没有改变这一决定论的自然观,只不过由电磁图像代替了力学图像。19世纪下半叶发展出来的统计力学首先把统计规律引入物理学,但是统计力学所探讨的对象,往往是数量达 $10^{23}$ 的粒子,以致于统计涨落所引起的偏差完全可以忽略。统计力学所给出的预测,仍然是确定的或“决定论”式的预言。

量子力学打破了这一思维模式。量子力学虽然是微观世界的基本特征——“波粒二象性”的深刻反映和概括,但这一“波粒二象性”的物理实质,并没有立刻弄清楚。一个显然的事实是,量子力学中,粒子并不是通常牛顿力学里所定义的粒子,因为它们不能同时具有确定的位置和动量。量子力学中的波,又不等同于通常的牛顿力学里的机械振荡的波,如声波,因为这种“波包”又能扁缩为粒子。量子力学的另一位奠基人玻恩,提出几率波的概念。量子力学中的波,所描述的是粒子在空间分布或动量分布的概率。所以,量子力学的方程式,一方面在形式上是决定论的,亦即一旦给定了始值条件和边值条件,“波包”就会严格地按照薛定谔方程式所决定的演化方向而前进,但是,量子力学中的“波包”在物理解释上,却又是概率论的,亦即量子规律是决定论的和随机式的规律的统一。

量子规律的出现,丰富了人们对自然界发展规律的认识。例如,在生物体发展中虽然既有遗传又有变异,但物种的演化,却又按照达尔文所指出的物种要不断进化的方向发展,其本质上的原因,就是自然规律不仅是决定论的,而且也是概率论的或随机论的。从自然观的角度说,量子力学还第一次打破了不连续形态物质和连续形态物质间的“硬而分明”的界线,使自然界走向连续物质形态和不连续物质形态的统一。

自然规律是决定论和随机论的深刻的统一,同样,对于社会发展的规律来说,历史社会发展的规律是一元的,亦即总是按照广大人民群众所期待的人类进步的趋向而发展;但另一方面这一规律的表现

又是随机的,亦即通过各种偶发事件,甚至是戏剧性的事件来实现。但是,由于人类是有认识能力的生物,所以,有组织的人群将能依据他们对社会发展规律的某些认识,促进或促退历史向前进方向的发展。但总的来说,人类社会发展的规律是“一元化”和“多样性”的统一。

量子力学的发现还诱发了激烈的哲学上的争论。量子力学的规律本质上是统计性质的规律。量子力学规律的检验,必定伴随着大量事例的统计,每一次的测量就必定破坏粒子所处的原来的状态,每次测量必然出现有“波包”的“扁缩”。这正如投掷一个骰子,其结果必定或者是“红四”,或者是“黑六”...;也就是在概率的测量中,必定是破坏了原来的概率的未定状态,在测量后就“扁缩”到某一确定的“本征态”,如“红四”或是“黑六”...相当一些初学者,或者对量子规律的特点理解不深者,或者惊讶于为什么测量后波函数必然归结为和测量相应的本征波函数,或者就进一步怀疑量子状态的本来面貌不可知。所以,在中国的某些研究量子力学哲学问题的人,就会去认为“微观世界的‘本来面目’或‘自在状态’不可捉摸”;认识不是“实际事物”的反映,知识也不是“真理”或“真实”的简单近似”,因为“在原子测量过程中,必定伴随着仪器的干扰”。有人<sup>1)</sup>认为“人类总是带着‘有色眼镜’去看待微观世界,这一‘有色眼镜’是永远也无法摘除的。”所以,所谓量子力学的“规律”就只能是主客观相互作用的结果。更有人<sup>2)</sup>大谈所谓的“客观性危机”,甚至鲜明地提出“月亮在无人看它时确实不存在”;“唯物主义今天已被证伪了”!这就是1988年到1990年间,在中国的土地上出现的,有关量子力学哲学问题的一场争论。其争论的焦点就在于(1)在微观领域中是否存在不依存人们意识的客观实在(2)如果在微观领域内存在着这样一种客观实在,它能否被人们所认识。2000年7月,本文作者在北京师范大学出版社出版了一本新书《现代物理学研究中的哲学问题的三大论战》,就纪录了在中国大地上出现的这场争论,并做了“一个评述”。

在国际范围内,就更有许多国际重量级的科学大师,介入于量子力学哲学问题的争论。这里有被称为“世纪之争”的爱因斯坦和玻尔发起的对“EPR佯谬”问题的争论,有许多著名科学家,如贝尔、玻姆,

1) 见柳树滋. 微观测量与量子力学的人类学特征. 自然辩证法通讯, 1990(1):1

2) 见金观涛. 人的哲学. 成都:四川人民出版社,1998.12,17

还有吴健雄教授都介入这一争论中。对于“量子力学测量问题”，先后就更有玻尔、海森伯、冯·诺伊曼、魏格纳、惠勒、罗森菲尔德等介入这一场争论。有趣的是，对于这场哲学观念之争，人们不仅发表了不同哲学主张，而且还建构了许多“理论”，如有关测量问题的理论，甚至实验物理学家也加入到争论之中，用实验来评定争论的是非。

波普曾攻击马克思主义哲学是“伪科学”，据说“马克思主义不具有‘可证伪性’”。可是，在唯心和唯物之争的问题上，现在已不仅仅是哲学或物理的理论的分析，而是由科学实验来判定哲学之争的是非。作为一位曾经长期在物理学哲学问题这一领域的工作者，我们能贡献的意见是列宁曾说过的两段话：一段是“在哲学方面；现代物理学的危机”实质就在于：旧物理学认为自己的理论是‘对物质世界的实在的认识’，就是说，是对客观实在的反映，而物理学中的新思潮则认为理论只是实践的符号、记号、标记，就是说，它否定不依赖于我们的意识并且为我们的意识所反映的客观实在的存在”。另一段话是：“遵循着马克思的理论的道路前进，我们将愈来愈接近客观真理（但决不会穷尽它）；而遵循着任何其他道路前进，除了混乱和谬误之外，我们什么也得不到。”

## 2.4 量子力学和科学创新评价标准问题

现在我国正在建立国家科学创新体系，要贯彻“有所为有所不为”的方针，这就牵涉到科学创新的评价标准问题。我国也建立了许多国家级的奖金，奖励对国家作出杰出贡献的科学工作，这又涉及科学创新的评价标准的问题。我以为在科学评价标准的问题上，有三类评价标准，这就是美学评价标准、学术评价标准、实践评价标准，或又称为社会历史评价标准。

(1) 美学评价标准。何谓美学评价标准？我曾向王元同志请教，“现今的数学研究中可以说99.99%以上的数学问题的研究都是没有用途的，那么你们凭什么说这项科学成果可以得一等奖，那一项可以得二等奖？”我意想中的回答是，那是由于某项工作对学术的推动，如提供新的解决数学问题的方法，提出深刻的数学思想，带动了一个或几个领域的研究等学术评价标准，来评定某项科学成果水平的高低的。没有想到的是，王元同志鲜明地回答说：“美学标准，也就是它的结果是否‘漂亮’、‘干净’、或‘beautiful’...”而且，王元同志还强调说：“这是数学工作中唯一的并为大多数数学家所共同接受的评价标准。”

可以举一个例子来解释何谓数学研究中的美学

标准。例如，哥德巴赫猜想说，任何一个偶数都可以归结为两个素数的相加，这又简称为 $1 + 1 = 2$ 。这一猜测如果能得到严格的证明的话，那么这一结果无疑将是十分“漂亮”、“干净”或“美丽”的，因为任何一个偶数竟然能如此简洁地归结为两个素数的相加！可惜的是，虽然电子计算机的长期实践，从未发现有例外的情形，但是电子计算机的运算，在数域中总是有限的，因而无法由电脑的运算得出任何一个偶数均能分拆成 $1 + 1 = 2$ 的结论。陈景润曾证明：“任何一个偶数可以归结为某一素数加上两个素数的相乘，或又称 $1 + 2 = 3$ ”。这也是十分“漂亮”或十分“beautiful”的结果，但如果和哥德巴赫猜想相比较，就要略逊一筹。

所以，美学标准的确是评价科学创新水平的某种标准，既然大多数数学家已共同接受这一评价标准，而且在一些别的科学门类中，如物理、化学领域，也会认同这是诸多评价标准的一种。所以，我们在这里将“美学评价标准”列为诸多评价标准的一种。

(2) 学术评价标准或又称为科学评价标准，所着重的是有无新的贡献及其学术贡献的大小。在学术评价标准中，所优先看重的是一个新字，要求有新思想、新方法、新发现、新成就，有些科学家如丁肇中就讲，在基础研究中只有第一，没有第二，因为“第二”就很难认为是新贡献。但是，学术标准里所要求的新，是科学地证明了的“新”。哥德巴赫猜想至今未能被证明，所以哥德巴赫并不公认为大数学家，陈景润的“ $1 + 2 = 3$ ”，在结果上虽不如哥德巴赫漂亮，但这是陈景润所首先给予了科学的严格的证明的结果，所以又称为陈氏定理。在数学研究中，人们承认的是有严格的数学证明，而在物理学或化学等实验科学的领域中，人们所关注的除了有无严格的逻辑证明外（请注意，这里既包括经过严密检验的前提或出发点，也包括严密的计算和推理），更为关注的是一些观念、猜想、理论有无科学实验的证明。物理学、化学等科学，在本质上是实验的科学，一切“美丽”的或“漂亮”的猜想、想像和假说，如果得不到实验的证明，将不会被人们承认为科学。波普甚至宣称某种理论如果不能找出判断其真伪的由实验来检验的方法（波普称之为可证伪性），那末就称为伪科学。

(3) 以上所探讨的评价标准，还仅是在学术圈内的评价标准，如果超出“学人”的范围，社会公众更看重的是实践评价标准，或者说历史社会的评价标准，亦即对人类未来发展贡献大小的评价标准。大物理学家费米就认为，他的最重要的贡献并不是引

入中子作为轰击原子核的炮弹(这一工作使费米获得诺贝尔奖金),而是提出非均匀结构的天然铀和石墨组成的核反应堆.正是这一成就导致原子弹所用到的军用铀的生产,导致原子能发电站的建立.

以上三种科学创新评价标准,当然是由于评价者站在不同的评价角度提出的.有些科学工作可能在美学上或学术上是高水平的,但是却没有实用价值,有些科学工作在应用上有很大的经济效益,但是在学术上缺少创新之处,或有所创新却并不高明,所以在不同人群中,会有不同议论和看法.但是,只要是有所创新的,并且从以上三种角度中任何一种角度来看,是属于有贡献的工作,都应该得到社会公众合理的鼓励和评价.当然,作为一位既关注人类未来,又关注科学发展的科学工作者来说,最为值得重视的,或者应该得到最高评价的,是三种评价标准相统一的那种科学工作.量子力学的发现,就是那种应得到综合的最高评价的科学的发现.

毫无疑问,德布罗意波以如此简明的公式所刻画出的波粒二象性,在美学上是异常漂亮的结果,量子力学开拓了原子物理、分子物理、固体或凝聚态物理、原子核物理的新领域,甚而在未来还将影响到生物学的领域,其对科学发展的贡献,无疑是划时代的;至于由量子力学所开拓的原子能,所开拓的电脑和光纤网络,将长期地、永远地、深刻地影响到未来人类社会历史的发展.

量子力学的发生、发展及其应用的历史经验证明:只要人们所研究的是物质运动规律的基本问题,那末这种探索迟早会实现三种标准的统一.所以,在我们即将建立的国家科学创新体系中,除了要集中力量于解决足以影响国民经济建设的全局的8—10个重大科学技术问题以外,还需要集中一定的力量于以探索物质和运动的基本规律为目的并且看起来是“无用”的基础研究.因为“技术的发展是生根于基础研究之中”,而“如果一个社会仅仅局限于技术的转化,那末经过一段时间,由于得不到基础研究所积累的新发现、新知识的支持,那末也就没有什么可转化的了”(丁肇中《基础研究与工程技术》).

### 2.5 量子力学和物理学的四次大突破

早在35年以前,中国的科学家曾经在总结物理学发展的历史的基础上指出,自17—18世纪以来,人们在探索物质的运动的基本规律方面有三次大突破.第一次是对物质的宏观而低速运动方面的突破,它集中表现为牛顿力学以及热力学等定律的建立,所带来的是蒸汽机的改进和稍后一些的内燃机的发

明,人类也就由青铜时代、铁器时代,进入蒸汽机时代.第二次是在宏观而高速运动方面的突破,这就是法拉第和麦克斯韦电磁方程式和狭义相对论的建立,所带来的是发电机、电动机、电灯、电话、电影、电视的发明,人类也就相应地进入了电气时代.第三次是在微观而低速运动方面的突破,这就是薛定谔和海森伯所建立的量子力学和稍后一些的量子统计力学,所带来的是原子弹、氢弹、核反应堆、电脑、光纤网络的发明,人类也就相应地进入了原子能时代和电脑时代.

物理学的发展在经历了三次大突破以后,一个逻辑的必然的发展,就是向微观而高速的运动规律进军,或者说,寻求物质运动基本规律的第四次大突破.正是在上述思想的指引下,自1965年以来,中国的科学工作者曾经介入了夸克模型或又称为层子模型的研究,又在夸克或层子的基础上,介入了量子色动力学和弱电统一理论的研究,还有复合粒子量子场论的研究.可以说,物理学的第四次大突破,已经初见端倪.它还将进一步向什么方向发展,它将带来什么样的新技术和高技术的发明,这就是中国国家科学创新体系所不能不关注的重大科学技术问题.

乍一看来,这样的探索是花钱很多而且是“无用”的研究,可是,现在人们所广泛关注的“伊妹儿”,亦即“电子邮件”以及“信息高速公路”的技术和“国际互联网的网络”正是在国际的高能物理的实验室里首先诞生,由高能物理学家为解决数据传输问题而研制,也由高能物理学家更进一步发展为国际互连网络.而且,差不多是同时在中国首先引进这一技术并和国际通道联网,从而引起社会公众广泛关注的,是中国科学院高能物理研究所.

### 3 “三个代表”的理论是评价一切科学工作,也是评价国家科学创新体系的最根本标准

前一时期,江泽民总书记提出“三个代表”的理论:“共产党人要做为先进社会生产力发展要求的代表,要做为先进文化前进方向的代表,要做为最广大人民群众根本利益的代表.”这一“三个代表”的理论,不仅是评价科学工作的根本标准,而且也是指导和评价我国一切工作的根本标准.

江总书记提出的“三个代表”的理论的内涵是十分丰富的,需要我们认真钻研和领会其精神实质.纪念普朗克量子论100周年,还需学好用好这一“三个代表”的理论,用以衡量和指导我国的各种工作.