德布罗意与物质波理论

杜小鹏

西安市长安区第二中学

[摘要]：文章从个人角度出发，记述了L.德布罗意的学术成长道路。着重考察和探索L.德布罗意怎样走上科学的道路，以及他创立的物质波理论的光辉历程。并在此基础上进一步对德布罗意独具特色的治学方法作了尝试性的总结。

[关键词]：物质波，量子，L.德布罗意

**De Broglie and The Theory of Matter Wave**

**Du Xiaopeng**

( Physics Department of Baoji College of Arts and Science. Baoji 721007)

Abstract:This paper,from personal angle,tells about the developing process of De Broglie's academic research.The writer focusrs on investigating and studying how the research is taken scientific paths and the shining course in which he founded his theory of Matter Wave. What's more,the writer makes an attempt on summarizing De Broglie's characteristic methods of academic pursuiting.

Keywords:matter wave, quantum, De broglie.

**1 引言**

L.德布罗意（Louis-vectordeBrogile,1892-1987）是波动力学伟大的先驱之一，1927年，他因为发现电子的波动性而获得诺贝尔物理学奖。他的成长历程充满传奇：从文才到战士，从历史系的文科生到波动力学之巨擎，其人其事令人称奇。在20年代初，他在当时尚无实验支持的情况下，大胆的断言所有物质皆具有波粒二相性，并创立了物质波理论，完成了波和粒子观念的伟大综合。为波动学的建立奠定了基础。L.德布罗意还在量子力学、相对论、非线性理论以及他的治学方法都给我们留下了丰富的科学遗产。

**2成就的背后**

L.德布罗意1892年8月15日出生于法国塞纳河畔一座名叫迪埃善的小城镇里，他的祖先居住在意大利同法国接壤的皮蒙性高原上，是那里的名门望族。自17世纪起，家族一直在军事,政治上替法国效力，其中有许多人在政界和军事界功绩卓著而受封赏，因此，整个家族的名声显赫于整个法国。L.德布罗意的父亲维克多德布罗意(victordebroglie)公爵是家族第一位公爵的第七代子孙，是一位卓越的政治家，曾担任过法国首相等要职。维克多共有五个子女，长子M.德布罗意(MauricedeBroglie,法国著名的x射线专家)，次子L.德布罗意。1906年，维克多因病去世，从此，比L.德布罗意年长17岁的M.德布罗意就担负起父亲的责任，并照料着他的生活及教育，同时也在改变L.德布罗意的生活。M.德布罗意早年毕业于马塞大学，1908年从海军退役下来，此后他一边在法国著名的物理学家郎之万(paullangerin)的指导下攻读博士学位，一边在自己的私人实验室里从事他酷爱的物理实验研究。父亲的去世意味着哥哥直接影响，引导着弟弟，也意味着弟弟对科学有最近距离的接触。

在中学时期，L.德布罗意就已显露出他的文学才华，那时最感兴趣的学科是历史。1909年，L.德布意罗去巴黎大学文学院，学习历史。1910年，仅仅用了一年的时间，年仅18岁的他就获得了历史学位，并因成绩优秀，而留在巴黎大学文学院任教。

在法国，自拿破仑时期就已经掀起了崇尚科学的热潮。虽然近代科学的中心已不在法国，但是法国科学界依然人才辈出，譬如:布里渊，朗之万和庞加菜等著名物理学家。这些社会因素给L.德布罗意走上科学道路提供了先决条件。当L.德布罗意还在学习历史的时候，他就拜读了庞加莱的名著《科学的价值》和《科学与假设》，著作中的物理问题以及哲学问题吸引了他，并且产生了浓厚的兴趣。后来L.德布罗意回忆说:“是哲学归纳法和庞加菜的著作把他引到科学的征途的。”

哥哥M.德布罗意的影响是L.德布罗意走上科学之路的重要因素。并对L.德布罗意坚定学习物理起着致关重要的作用，不仅是他的工作使L.德布罗意耳闻目染，还直接，最快地让L.德布罗意获得物理学方面的重要的资料。值得一提的是，在1911年秋，首届索尔维(solvary)会议在布鲁塞尔召开，M.德布罗意以秘书的身份参加了会议。会议的议题是“辐射理论"和“量子”。爱因斯坦，普朗克等一批世界级的物理学家在会议上做了精彩的发言。并且科学家们还进行了热烈的讨论。后来M.德布罗意整理了会议的报告和会议记录，其中就有普郎克关于黑体辐射的报告，爱因斯坦的固体比热的研究的报告。L.德布罗意从他哥哥那里得到了会议的全部资料，并且对“量子之迷”产生了极大的兴趣。几十年后L.德布罗意回忆到:“在我血气方刚的岁月里，非常热衷于那些曾被讨论的问题，决心尽我毕生精力去解开迷人的“量子之迷"，这"量子之迷”早在10年之前就被普朗克引入到理论物理中。在这些外界因素的作用之下，L.德布罗意彻底放丢了“历史”，走进了物理的殿堂。

1911年底，L.德布罗意转入到巴黎大学科学院学习物理，他自学了所有的物理基础知识以及庞加菜，洛伦兹，朗之万，玻尔兹曼和吉布斯等科学家的经典著作。并且研究了普郎克和爱因斯坦关于量子论和相对论的论文。这使他大大提高了专业水平，并掌握了近代物理的精髓，了解到当时物理学的前沿。这使他后来研究的方向成为必然。经过刻苦努力短短的两年时间,L.德布罗意于1913年就取得了科学学位，这也显露出他的科学才能。

也就在L.德布罗意取得科学学位的当年，他遵照法国法律应召入伍。不久，第一次世界大战爆发，他不得不滞留在部队里，直到1919年为止。他在法国服役期间主要是在埃菲尔铁塔及其附近从事无线电技术方面的维护和修理工作。这也使得有机会亲身感受到从事科学实践的乐趣和价值。但对物理的研究中断了6年，对他来说，对物理界来说都是巨大的损失。M.德布罗意回忆说:“懊悔于他的思考关于量子理论和相对论的基本问题的打断，他抱怨他的原动力曾被摧毁，而且花了他好几年的时间才恢复过来。第一次世界大战结束后，L.德布罗意全身心的投入物理学的研究之中。1920年-1924年，他在郎之万指导下攻读物理学博士学位，此外抽出部分时间到哥哥的实验室从事x射线实验研究。就是在这段时间里他为物理学做出了重大贡献。

**3物质波理论的诞生；**

十九世纪末期，物理学理论在当时看起来以发展到相当完善的阶段。那时，一般的物理现象都可以以相应理论加以解释说明：运动现象有牛顿力学的规律；电磁现象总结为麦克斯韦方程；光现象有光的波动理论，后来也总结为麦克斯韦方程；热现象有玻尔兹曼，吉布斯等人建立的统计物理学。在这种情况下，当时许多人认 为物理现象的基本规律已完全被揭露，剩下的工作只是将这些规律应用的问题。这种把当时物理学的理论认为“最终理论“的观点显然是错误的。就在物理理论取得 上述重大成就之时，人们发现新的物理现象，如:黑体辐射能量的分布，光电效应， 原子的光谱线系以及固体在低温下的比热等现象。这些现象用经典理论无法做出完全的解释。如:维恩(wien), 瑞利(ray leigh) 和金斯(jeans) 分别运用热力学和 经典电动力学和统计物理来研究黑体辐射能量分布，但研究的结果与实验不完全符合。

一部分科学家开始进行新的探索，并很快就有大的发现。1900年普朗克（planc）引进了量子的概念。他假定黑体为以hγ为能量单位不连续地发射和吸取频率为γ的辐射，能量单位*h*γ称为能量子，*h*是普郎克常数(*h*=6062559 (16)×10-34) j×s,基于这样的假定，普郎克得到了与实验结果符合得很好的黑体辐射公式：$ p\_{r}dr=\frac{8πhυ^{3}}{c^{3}}·\frac{1}{e^{\frac{hυ}{kT}}-1}dr。$这样很好的解决了黑体辐射问题。后来，第一个肯定光除了波动性外，还具有微粒性的爱因斯坦(einstain) 用光电子(或光子)成功解 释了光电效应，(同样运用*e=h*γ)。 接着康普顿(compton)效应的发现，进步证实了光具有粒子性。也就在那个时期，玻尔也建立原子结构的玻尔理论，玻尔的理 论虽然取得一些成就， 但他也存在着很大的困难。这个理论只能应用到简单的氢原 子，并且这个理论只能求出谱线的频率，而不能求出谱线的强度。这些伟大成就的 不足，也就预示着，促进着一种新理论的诞生。

L.德布罗意在吸收这些新理论的同时，并且做出进一步的推断。1922年11月， L.德布罗意发表一篇题为 《黑体辐射与光量子》的论文，这是他物质波理论诞生的 先声。德布罗意在文中采用了爱因斯坦的光量子假设，但也有不同之处。他把光视 作为由静止质量为m0,速度v=cβ(β=v/c)的光原子构成的气体，其中β非常接近1, m0极小，他估计m0他估计m0<=10-50g,但不为零。基于这个观点，他把一个有静止质量的光原子同一个能量子$hυ$联系起来，即$w=hυ\frac{m\_{0}c^{2}}{\sqrt{1-\left(\frac{ν}{c}\right)^{2}}}$,进一步推导出$p=\frac{m\_{0}v}{\sqrt{1-\left(\frac{ν}{c}\right)^{2}}}=\frac{h}{λ}$,L.德布罗意这两个方程式含义是深刻而伟大的，它暗示着L.德布罗意的光原子具有波粒二象性，于是，这就为他辅设了通向光和物质都具有波粒 二相性理论的道路。

从1922年到1923年夏，L.德布罗意一直在思考能否将他的光原子的波粒二象性推广到一般物质，特别是电子上呢?这是一个重大而独创的问题，1923年夏，L. 德布罗意跨越了革命性的一步。仅在两个月内他连续在法国科学院会议通报上发表 了3篇重要的论文，公布了他的理论。物质波理论终于诞生了。

第一篇《波与量子》，在文中，德布罗意考虑了一个静止质量为m0，速度为v=$ cβ$的粒子的运动，他认为粒子应存在着一个内在周期性现象，在以速度为v运动的参照系中，粒子的内频率为$r\_{0}=\frac{m\_{0}c^{2}}{h\_{0}},$但从静止的观察者来看，粒子应为两种不同的周期频率$hγ=\frac{m\_{0}c^{2}}{\sqrt{1-β^{2}}},γ=\frac{m\_{0}c^{2}}{\sqrt[h]{1-β^{2}}}=\frac{γ\_{0}}{\sqrt{1-β^{2}}}$根据相对论效应，观察者测得频率却是$γ\_{0}=γ\sqrt{1-β^{2}}(γ<γ)$虽然$γ\_{1}$与γ之间存在差异，为解决这个问题。L.德布罗意引入了“虚设波”，这个与运动粒子相缔合的虚设波，相速度$c/β$和频率$γ$传播，并证明了:只要粒子的内在周期性与虚设波在某一时刻相位相同的话， 那么由于$γ\_{1}=γ\sqrt{1-β^{2}}$，则他们将总是同相位的，并且给出位相相同的必要条件:虚设波必定要以相速度c/β传播，这样通过引入虚设波将粒子在运动时的内在周期性现象与粒子运动之间联系起来。接着，L.德布罗意将他的虚设波引用到原子中的电子上。只有假设电子的虚设波与电子的内在周期性现象有相同的相位，那么就可以得出电子的运动是稳定的，而这一稳定条件与玻尔--索末非的量子条件不谋而合。同时，这也给玻尔--索莫非的量子条件提供了一种合理的物理解释。

第二篇论文是《光量子衍射与干涉》，在文中，他提出，因为虚设波的相速度c/β高于C，会阻碍它携带任何能量，并且他证明了粒子的运动速度严格的等于相波的群速度。在文中他还将“虚设波”改称为“相波”。这是他将相波同运动的粒子联系在一起，他指出光的衍射与干涉现象是由于光原子在通过狭缝时它各自的相波相互干涉所致，并且他大胆的预言:“通过足够小的小孔的一束电子应该也存在行射现象”。这也是他明确地提出了电子具有波动性。

之后，L.德布罗意将它的理论进一步的推广到所有的粒子.也就是第二篇论文发表的第三十天，L.德布罗意发表了《量子，气体分子与运动论和费马原理》。在文中他以更加准确的方式重新阐述了他的相波理论:……相波与任何粒子相联系，并且粒子的内部周期性总是相同；相波的频率和速度由粒子的能量和速度所决定。他还在文章的结尾探讨了费马原理与建立波动力学的关系。这篇文章L.德布罗意完善了它的物质波理论。

这些文章发表之后并没有引起科学界足够的重视，甚至还有讽刺的言论。但L.德布顶着社会的压力，坚持自己的观点。1924年11月，L.德布罗意向巴黎大学科学院提交了博士论文《量子理论的研究》。在这篇文章里L.德布罗意系统整理并完善了它的物质波理论。后来，爱因斯坦看到这篇论文后赞叹道:“序幕的一角被L.德布罗 意揭开了”。

4年之后(1927年)戴维孙和革末以及汤姆孙分别进行了电子束在晶体上的衍 射试验，证实了德布罗意关系的正确，明确了电子的波动性，L.德布罗意当年就登上了物理学的最高奖台，之后科学家们很快用实验证明了中子、质子、原子等微粒 都具有波动性，这就进一步证明 了物质波理论的正确性。

物质波理论的提出并被确认，是一种开拓性的工作，具有深远的意义：一 ) 物质波的发现给科学界思想上一次深刻的革命。使人们认识到物质波的诞生和发展过 程是充满了矛盾和斗争的过程。一方面，新现象的发现暴露了微观过程内部的矛盾， 推动人们突破经典论文的限制，提出新的理论；另一方面，不少的人，包括对物理 学有过贡献的人，他们的思想不能随变化了的客观情况而变化，不愿承认经典理论 的局限性，总是企图把新发现的现象或提出的新思想纳入经典物理论的框架之内。 在经典物理中，我们说的粒子是指它具有质量、电荷、自旋等“个体性”，而且具有 确定的位置和动量，即粒子的运动具有确定的轨道。而物质波理论的诞生完全打破 了这种粒子的“定义”。使人们对微观客体的认识更深入，更本质。二)物质波理论将长期以来被认为性质完全不同的两个物理概念一动量与波长用普朗克常 数h有机的联系起来了，从而将粒子性与波动性融于同客体中。这一点可与狭义相对论中质能关系式$E=mc^{2}$相内似。在这个关系式中，利用光速c这个常数将两个性质不同的物理量--质量和能量有机地联系在一起。三)物质波理论的诞生标志着波和粒子概念一次全面大综合。牛顿提出的微粒说曾盛行一时，且到19世纪初光的干涉、衍射等现象被发现后，光的微粒说才被波动说所动摇，19世纪中后期揭示出光的电磁本质，一直到爱因斯坦的光量子的提出。在这漫长的时间里，科学家进行了大量的争论。并且“波粒二象性”纯粹是想都不敢想的想法。随着物质波理论的确认，波和粒子概念结束了“分歧”，完成了伟大的综合。

不仅如此，还启发了玻色，去完成波色--爱因斯坦的量子统计；照亮了薛定鄂创立的波动力学道路；还激励了许多科学家在量子方面的研究；使量子力学、原子物理学迅速的发展。

**4德布罗意的治学方法。**

总结德布罗意的整个研究过程，他的治学方法主要有三条:一、敏锐的科学观察力和吸收前人的长处。二、巧妙地利用“假说“。三、大胆地类比。

一、L.德布罗意对爱因斯、玻尔等科学家成果有着敏锐的洞察力，并能快速吸收他们的长处。L.德布罗意找到物质波理论的思路有三条：(1)是源于爱因斯坦1905年关于光量子的论文,以及爱因斯坦后来的一些工作，即光不仅具有能量，而且还具有动量，这已使光具有波粒二象性。L.德布罗意在科学研究方面一直追随爱因斯坦，他曾经撰文到:“自从19岁，我开始转向理论物理的研究以后，我一直是爱因斯坦及其学术工作的狂热崇拜者，……总之在我学习的每一领域，我对这位伟大思想家学术造诣的崇拜与日俱增。”爱因斯坦在创造相对论时，巧妙运用了“统一性"思想方法把根本“毫无相干”的空间和时间密切缔合起来了。L.德布罗意吸取了爱因斯坦思维方法把实物粒子的粒子性与波动性结合起来。(2)波尔的量子条件直接提示L.德布罗意电子具有波动性。波尔的理论是；原子中电子沿一定轨道运行，服从古典力学的运动方程，就像行星绕日运动样；定态和能量的不连续性则由量子化条件来定。条件是：角动量的大小L只许为$h$的整数倍。即$L=nh\left(n=1.2.3…\right)。$L德布罗意在研究时，意识到这种“不连续性”或“$h$的整数倍”，就是电子内在的周期性。并进一部提出了“虚设波”，从而得到电子的虚设波同其内在周期性现象同相位，那么就可以证明电子的运动是稳定的。(3)康普敦效应的发现，进一步证实了光具有粒子性。这也正与他认为X射线具有波粒二相性不谋而合，康普敦效应的发现是利用X射线被轻元素中的电子散射后，波长随散射角的增大而增大，按照经典电动力学，电磁波被散射后波长不应改变。如果把这个过程看作是光子与电子的碰撞过程，则康普敦效应就可以得到完满的解释。因为实验是利用X射线(X射线是光的一种)。实际上；直接说明了X射线具有粒子性。L.德布罗意很长一段时间在哥哥的x射线试验室工作，他很早就认为X射线具有“波粒二相性”。康普敦效应的发现，大大促进了，坚定了他的想法。

当然L.德布罗意在吸收前人的成果时，是科学的，批判式的吸收，定态的问题 上他没有“吸收”M.布里渊的“以态”说法。但是M.布里渊在论文中首次将粒子所产生的波放在一起研究，这又给他有益的启迪。

二、L.德布罗意还巧妙地利用了“假说”。早年他曾读过庞加菜的《科学与假设》，对假设法已有所了解。但是在运用假设法时，L.德布罗意一直坚持唯物主义的思想倾向，他一直追随了爱因斯坦的实在论思想路线。L.德布罗意的假说不是凭空而说，他是在一些研究成立的前提下做出进步的推测，预言。在他物质波“假说”之前，他已经获得大量的信息；光的波粒二相性，玻尔的量子条件自身直接提示电子具有波动性，康普顿效应从侧面也肯定了他认为的X射线的双重性。这都为他的假设铺平了道路。

三、L.德布罗意在他的研究过程中还运用类比的方法。他有这样的观点：几何光学是波动光学的近似，几何光学的规律可以归结为费马的最小光程原理。经典力学的基本规律可以归结为最小作用原理。二者在数学形式上完全类似。是否经典力学也是一种“波动力学”的近似呢?L德布罗意在论文《量子气体分子运动论和费马原理》的结尾探讨了费马原理与建立波动力学的关系。他认为粒子的运动轨道可以由相波的射线来决定，而相波的射线必能被费马原理所能描述，即$δʃnds$=0，由于$n=\frac{λ\_{0}}{λ},λ\_{0}.$为光在真空中的波长，$λ$为光在介质的波长，所以有$δʃ\left（\frac{ds}{λ}\right）=δʃ\frac{γds}{^{c^{2}}/\_{v}}=δʃ\frac{m\_{0}βλ}{\sqrt[h]{1-β^{2}}}$,另一方面，对力场中的变速运动,粒子的轨道由莫泊丢变分原理$δʃmvds$=0决定，即$δʃ\frac{m\_{0}βc}{\sqrt[h]{1-β^{2}}}=0$这即是说费马原理与莫泊丢原理在形式上是一致的。因此，他总结说：“何光学与波动力学的两大原理与莫泊丢原理的联系因此而得以明朗化。”L.德布罗意通过费马原理与莫泊丢原理的类比暗示了：波动力学与经典力学的关系，类似于波动光学与几何光学的关系，这为后来薛定谔创立波动力学提供思想方法。

**5思索与启示**

 面对这位迅速闯入物理学并进速为物理学的进展作出杰出贡献的科学家，我们 心中充满的是惊讶与从崇敬之情。L.德布罗就给我们留下了不少科学遗产，除了他的物质波理论之外，还有物理学的思想方法，最重要的应该是他大胆突破旧的理论 来缚，基于实验事实形成新科学概念，再巧妙地利用假说，构建新的理论框架的科学创新精神。

在爱因斯坦提出光量子假说以后，许多物理学家仍然只是把它当作修补经典理 论的假说而己，并没有意识到光量子的价值，而L.德布罗意则不然，以他特有的敏锐，意识到波动性与粒子性后面的深刻本质。并结合自己对x射线地研究以及对前人成果地研究，顶着权威物理学家说他是“异想天开”的压力，大胆地揭开物质粒子的二相性。他运用的对比法为后来的波动力学提供了重要的思想方法。

参者文献：

（1）何祚麻，量子力学的丰碑，江西教育出版社，1994。

（2）魏凤文，申先甲，20世纪物理学史，湖南教育出版社，1993.

（3）郭奕玲，诺贝尔物理学奖，高等教育出版社，1999。

（4）周广刚，波动力学的引路人——德布罗意，高等教育出版社，2001。