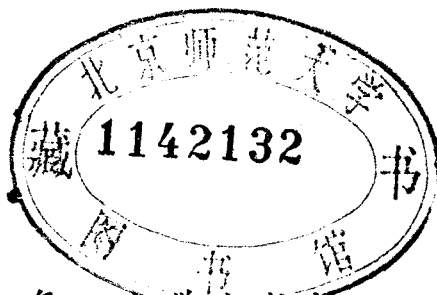


王福山主编

近代物理学史研究

2011/165/10



复旦大学出版社

近代物理学史研究

复旦大学出版社出版

新华书店上海发行所发行

复旦大学印刷厂印刷

字数 161 千字 开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ 印张 7.25

1983 年 8 月第一版 1983 年 8 月第一次印刷

印数: 1—9,000

书号: 13253 · 003 定价: 1.04 元

2011/105/10

目 录

祝贺德布罗意、狄拉克诞辰	王福山(1)
固体物理学的发展	谢希德(15)
几何学在物理学发展中的作用	谷超豪(25)
尼尔斯·玻尔与原子科学	杨福家(37)
二十年代的海森伯	王福山(48)
我在德国(1929—1940)的点滴回忆	王福山(84)
宇宙的结构	方励之(103)
爱因斯坦的科学贡献和他的思想	许良英(111)
库恩的学术思想和现代科学技术	
革命	李宝恒(134)
与狄拉克的一次会见	孙 鑫(156)
从复旦大学物理系开设《科学史和	
科学哲学》讲座所见和所想	金尚年(159)
谈鼓器	吴 椿(169)
牛顿运动观的历史探讨	郑永令(174)
爱因斯坦在量子力学理论发展中的	
地位和作用	金尚年(204)

祝贺德布罗意、狄拉克诞辰*

复旦大学 王福山

我们这次会议,一方面是大家汇聚一起,交流在自己工作中的经验和收获,备叙自己的见解,一同来谋求推进物理学史研究工作在我们国家的发展,另方面,我们今天的会特别是要祝贺当代两位著名物理学家德布罗意和狄拉克的90和80寿辰。他们从二十年代起以超人的智慧从事物理学研究,获得重大成果,对物理学的发展作出了巨大贡献,这些成果和贡献,影响深远,在物理学史上留下光辉的一页。当人们开始学习近代物理以后不久,就会经常接触到以他们命名的一些概念和术语,如德布罗意波,爱因斯坦-德布罗意关系式,狄拉克方程,费米-狄拉克统计,等等。他们许多深刻的观念,又是后人进行开发的宝贵启示。在这两位伟大理论物理学家90岁和80岁诞辰之际,

• 本文为作者于1982年11月下旬在北京举行的“中国科学技术史学会1982年物理学史讨论会”上代表会议祝贺德布罗意、狄拉克诞辰的致词。

我谨代表“中国科学技术史学会1982年物理学史讨论会”筹备小组阐述他们工作的主要成果，揄扬他们对物理学的巨大贡献，以示我们对他们的推崇和祝贺。

路易士·德布罗意，1892年8月15日生于法国塞纳河畔的蒂厄浦（Dieppe, Seine Inférieure），出身世家。德布罗意家族在十七世纪四十年代就以功勋显赫于法国历史。1742年，F.M.德布罗意（1671—1745）受封，拜为公爵，子孙世袭；其后，这个家族为法国提供了至少一位总理，一位国会领袖，三员上将，一位外交部长，一位教育部长和两任驻英大使。1759年，V.F.德布罗意（1718—1840）又为圣罗马帝国封为亲王——因此，路易士·德布罗意至今还是一位亲王。然而，一反这个光荣家族献身于法兰西军队和政治的传统，本世纪的两位德布罗意公爵莫里斯（Maurice）·德布罗意（1875—1960）和路易士·德布罗意，都以科学上的成就为世人所瞩目。

路易士·德布罗意1909年毕业于沙叶（Sailly）的杨松（Janson）公学，1910年获历史学硕士学位。然后在他兄长莫里斯的影响下转向物理学。莫里斯对于物理学的兴趣是深厚的，他是法国著名科学家保罗·朗之万（Paul Langevin）的研究生。1911年，他曾以工作人员身份参加了第一次索耳未（Solvay）国际物理会议。这一会议的参加者，众所周知，是当时世界上少数几位最著名的物理学家。而英国人布拉格（W.H.Bragg）关于X光的研究给了他很大影响。稍后，莫里斯的主要研究方向即转为对X射线本性的探索。

路易士·德布罗意正是在莫里斯的装备极为优良的私人

物理研究室里接触到物理学的。1913年，他获得物理学硕士学位。他的研究作为第一次世界大战所中断。大战中，他服役于法国陆军并参与了在埃菲尔铁塔中架设无线电台的工作。1918年大战结束，德布罗意继续他的物理学研究，期望由此获得博士学位。

这一工作果然使他如愿以偿。六年以后，1924年11月27日他通过了法国著名物理学家柏兰（J. Perrin）主持的博士论文答辩。这篇论文阐述了著名的物质波理论，为14个月后薛定谔建立波动力学作了重要准备。由于这一贡献，他获得了1929年度的诺贝尔物理学奖，名扬天下，成为第一个以学位论文获得诺贝尔奖金的学者。

此后，路易士·德布罗意一方面继续他关于波动力学的研究，一方面从事理论物理学的教学工作。他先后在巴黎的亨利·彭加勒（Henri Poincaré）研究所，巴黎大学自然科学系讲授波动力学。1930年以后，他致力于发展波动力学的基本理论；1951年以后，他又重新开展了他早先提出的关于波动力学的因果解释的研究。1942年起，德布罗意任法国科学院数学科学部终身秘书。到今年——他的九十诞辰为止，他已经至少获得了六个最令人尊敬的奖章和勋章，六所著名大学的名誉博士，并受聘为十八个国家的科学院成员。

路易士·德布罗意的工作中，对现代科学，尤其是量子力学，影响最大的，是他的物质波概念的提出。从思想渊源来说，引起他物质波思想的，可以追溯到很远。

1905年爱因斯坦已经为解释当时的某些实验，如光电效应，提出过光量子的假说，1909年爱因斯坦又从普朗克关于光辐射量子理论工作中的不自洽性出发，反过来根据普朗克辐

射公式来研究黑体辐射的能量（或者熵）的涨落现象。所得结果表明，光应该具有波动一面，同时又有粒子一面的双重结构。但是爱因斯坦的光量子假说没有受到人们的认真对待，或者说，没有被看出其影响所及，以致直到1923年还在讨论与辐射公式有关的一些问题。正如海森伯后来所说，“爱因斯坦的二象性在当时只是被当作不太深刻的矛盾而未被人理睬。”

路易士·德布罗意是在其兄长莫里斯所从事的X射线的实验那里接触到这个光所表现出的时而象波，时而象粒子的奇特性质的。当时大部分物理学家致力于设法消除光的二象性，或者至少相信这种二象性在一个扩充了的和修改了的波动理论中或可予以克服。路易士·德布罗意却不同，他从另一个法国物理学家布里渊（Brillouin）那里吸取了思想。

布里渊在关于波尔量子条件的研究工作中，设想了一种存在于原子核近旁的“以太”层，电子在其中运动，这运动在“以太”层内部掀起的波因相互干涉而形成环形的驻波。这一情况的出现，布里渊认为，可以作为对玻尔的神秘的量子条件的一种物理解释。但是，布里渊的理论要借助于当时物理学已经摒弃了的“以太”介质，并且遇到数学上的一些困难，使得物理学家难于接受。事实上他的这些工作在法国以外的影响亦微乎其微。然而由于一种尚未明瞭的原因，布里渊把自己的上述工作寄给了路易士·德布罗意，从而使后者认真地把光的二象性假说同对玻尔模型的研究结合在一起考虑。

1923年4月23日，康普顿（A.H. Compton）宣布了他的著名效应及其解释。正在对光量子进行艰苦思索，试图把

它同光波概念调和起来的德布罗意，从这个在一般人看来是粒子本性的最终的判决性实验中，看到了解决问题的线索。光量子的理论要求，光子的能量须由 $h\nu$ 来定义。德布罗意认为，在一个粒子理论中能量项由 $h\nu$ 来定义是不能令人满意的。于是他宣称，“仅此一端就提供了一个必要性，即在光的理论中应该同时引进粒子概念和周期性概念。”

路易士·德布罗意从与粒子能量相联系的频率 ν 出发，作了一个大胆的设想，认为“一般的”物质也具有这种二象性的性质，因而提出了物质波的概念。关于他沿这一方向考察的第一篇文章《波和粒子》发表在1923年9月10日的法国科学院《会议通报》第177卷上，在这篇论文的后半部，德布罗意用驻波观念分析了玻尔的量子化条件，并认为这种波的干涉是玻尔量子条件的物理基础。

二个星期以后，1923年9月24日，论述同一主题的文章《光量子，衍射和干涉》进一步引进了“相波”的概念。在谈到粒子的波动现象的实验验证可能时，德布罗意预言，穿过一个相当小的孔的电子流将显示出衍射现象。“正是在这一方向上，或可寻得我们的观点的实验验证。”在这篇文章中，德布罗意还从理论结构的观点上，讨论了他所要求的“新力学”和以往的，包括牛顿和爱因斯坦在内的“旧理论”之间的关系。他说，波动理论并不否认辐射的微粒结构，这是它不同于先前的波动理论的地方，而新旧理论的关系恰好象是波动光学和几何光学之间的关系。德布罗意最后宣称，“经过对此深思熟虑，可以看出，我们所提出的这种综合就是在与十七世纪光学和动力学的类比中发展完成的。”

稍后，于同年10月8日，他再次详细地叙述了有关上一篇

文章中简要提出的这种类比。在给出了费马（Fermat）原理和莫培督（Maupertuis）变分原理的一致性以后，德布罗意总结说，“几何光学的和动力学的两条伟大原理之间的基本联系由此得以完全明朗。”

德布罗意的理论确实使人耳目一新。从物理学最基本的假定出发所作的推理，其严密性是无懈可击的，而理论的独创性更给人以深刻的印象。爱因斯坦曾称赞说：“瞧瞧吧，看来疯狂，可真是站得住脚呢！”

1924年上半年，德布罗意进一步发展了他的理论。在1924年11月27日提出的博士论文中，除了上面提到的三篇文章所涉及的主要内容外，德布罗意还得到了稍后以他名字命名的波长与动量的关系式 $\lambda = h/p$ 。这个式子和 $E = h\nu$ 一起，后称爱因斯坦-德布罗意关系。

然而关于他所提出的波的物理图景，或者其物理对应物，尚晦隐不明。德布罗意为此进行了艰苦的探索。从博士论文发表到1929年，他发表了一系列关于这方面的文章。这些文章总括起来，形成了一个被作者称之为“双重解理论”的系统性工作。但在数学上他遇到极大困难。而玻尔、玻恩、海森伯当时提出的，以纯几率为其解释的量子力学发展很快，并取得了一系列成就。在1927年10月的第五次索耳未国际物理会议上，泡利激烈地批评了德布罗意的双重解理论以后，德布罗意就放弃了这种努力。直到1951年夏天，达维德·玻姆（David Bohm）对量子力学的正统解释提出了一系列异议，他的论证在一定程度上合乎德布罗意在1927年前的考虑，同时，让-皮埃尔·维吉埃（Jean-Pierre Vigier）又指出了双重解理论和相对论中的某些论证有类似性以后，这又引起了

德布罗意在非线性波动力学的基础上恢复其对双重解理论的兴趣。虽然这一恢复工作在数学上同样遭到极大困难，但德布罗意还是在1960年前后作出了可以和纯几率解释相比较的双重解理论的框架，指出了他的理论所遇到的困难，并提出了这样的希望：“我非常希望富有物理洞察力的青年物理学家们和富有经验的数学家们，对我所提出而不能真正加以辨明的那些假设发生兴趣。”

德布罗意提出物质波思想，已经近六十年了。回顾他提出这一概念的历史，我们可以看出，这是一次伟大的综合。完全对立的波和粒子观念，由此第一次既是互相排斥，又是彼此协调地贯穿在一切物理现象之中。这种波与粒子的对立，从牛顿起一直贯穿在物理学中。物理学家先前的一切努力，总是企图以一者纳入另一者中，而到了德布罗意才别开了一条新路。

如果说德布罗意通过他的物质波概念触发了量子力学的建立，那么为量子力学的深入发展做了许多工作的是狄拉克。

保罗·狄拉克，1902年8月8日生于英国布列斯托尔(Bristol)一个崇尚书香的家庭里。自幼对数学有浓厚兴趣。1921年在布列斯托尔大学电机系毕业，1923年进剑桥大学圣约翰学院当研究生。我们知道，在这一段时间里在普朗克、爱因斯坦、玻尔的开创性工作的推动下，物理学正处于繁荣发展时期，各种创见源源不绝，蜂拥而至。狄拉克正是在这个时代度过他的青少年时期。

狄拉克开始从事物理研究时，适逢科学家正在探索原子的玻尔轨道，在他导师否勒(R. H. Fowler)的影响下，量子

论成了他兴趣的中心。当时已发现玻尔理论与许多实验事实不相符合。为解释实验现象,1924年到1926年间,德布罗意、海森伯、玻恩、薛定谔等先后提出了量子力学的观念。海森伯从必须用可观察量,即用描述状态跃迁的频率和谱线的强度(即振幅)出发,建立了矩阵力学;而薛定谔根据德布罗意物质波同哈密顿动力学与几何光学关系的思想出发,得到了描述德布罗意波(波函数)的基本方程,从而建立了波动力学。狄拉克积极参与了这二个理论的统一完善工作。狄拉克曾经说,“当时我正好是一个研究生,我十分庆幸自己生逢其时,使我有机会加入这个行列。”事情是这样:当海森伯1925年6月完成他的量子力学创建工作之后,7月底曾在剑桥报告过他的新的力学。狄拉克后来从海森伯的工作中得到启发,认为这新理论中包含着打开原子世界秘密的钥匙,其中最关键的一点是量子力学量的不可对易性。对于这个不可对易性他不久就想到了以前在分析力学里学到的、能写出哈密顿方程的泊松括号,这个括号非常类似于 a 乘 b 减去 b 乘 a 的形式。于是他在它们之间建立了一种联系,并在这基础上建立了一种数学理论。这理论着眼于不可对易的量子变量的代数关系,而不在于矩阵的特殊形式。这种所谓“ q 数”力学使量子力学大大前进了一步。它澄清了量子变量和经典变量之间的关系,并把海森伯的理论置于哈密顿的基础之上。这样就能利用经典理论的全部成果来研究量子现象。

接着,狄拉克和约尔丹各自独立地在1926年12月发展了普遍的变换理论,以建立一个与历史无关的量子力学形式。他们两人的出发点不同:狄拉克用的是使他的“ q 数”适合于薛定谔方程,而约尔丹则联系于泡利的几率猜测之上。这

种变换理论以极为简洁、数学上极为完美的方式表示出量子力学。海森伯的矩阵形式和薛定谔的波动形式由此得到了和谐的统一。变换理论的物理概念和数学方法，还为测不准原理的提出准备了条件。海森伯导出共轭变量的测不准关系公式，所借助的正是狄拉克的变换理论。狄拉克的这些研究工作，大大丰富了量子力学理论。

量子理论及其物理解释于1927年得到阐明以后，随之而来的一个问题，就是如何使量子力学的方程和爱因斯坦的相对论相一致起来。狄拉克在1928年建立的理论，就是引导人们进入这种新的研究领域的一个决定性的发现。

普通量子力学方程不是洛伦兹协变的，而1926年得到的相对论性的克莱因-高登（Klein-Gordon）方程，描述的不是电子而是自旋为零的（标量波函数）粒子。狄拉克根据必须对四维时空同样对待，并经过仔细研究泡利的矩阵之后，建立了一个对时间坐标和空间坐标都是线性的微分方程。这个著名的狄拉克方程，能精确地描述高速运动的电子的一切现象，包括电子自旋、磁矩、康普顿效应、塞曼效应等。方程的解 ψ 有四个分量：二个和正的能量值相应，二个和负的相应，即有正能解和负能解二种，第一种显然描述我们熟悉的普通电子，而第二种解预言了一种和电子相同的粒子。但一个重要的区别就是这种粒子是带正电荷的，可是当时尚不知道有这种粒子。

狄拉克起初想象他理论中处于负能状态的“空穴”可能是质子，因为当时只有质子是一种带正电的粒子。但后来在1931年，他提出这种空穴是一种新的未知的、质量与电子相同的“反电子”。最后于1932年，安德逊在加利福尼亚理工学院

的实验室里果真发现了所预言的正电子。这种反物质的发现，是本世纪巨大物理进展中最大的跃进，它改变了我们关于物质的整个图景。

在假设负能空穴是正电子的同时，狄拉克还提出一种新的真空图景，他说：“真空是一切负能态都被占据而正能态没有被占据的最低能态。”这是一个重要的结果。在普通量子力学理论中，真空是一个极简单的基态，是空虚的世界，没有任何东西，所以有高度对称性。而狄拉克理论中的基态就不同，它是一个充满着看不到的负能粒子的容体。此外，如果引入正、反粒子对的产生过程，那末就可预期，基态是含有无穷多正电子-电子对或虚粒子-虚反粒子对的复杂的动力学体系。它是基本自然定律所确定的本征解之一。电子对产生过程表明粒子数可能不守恒。这在后来的实验发现中得到了证实。

在狄拉克电子理论的基础上，人们放弃了旧的真空观念，四十年代费曼、许温格和朝永振一郎等建立了完善的量子电动力学(Q.E.D.)。量子电动力学给予电子以最清晰的图象，以前所未有的精确度预言了电子的性质和行为，并在实验上被证明是完全精确的。

狄拉克与爱因斯坦一样，十分注意物理学的基础工作，他们二人都在青年时期取得了巨大成就，在后期则致力于深远理论课题的研究。在这方面值得提及的是，狄拉克在三十年代的磁单极理论和大数假说，它们引起了物理学家的巨大兴趣。

在半个世纪前，狄拉克用量子力学原理论证了磁单极子的存在，并认为这是电荷量子化的必要条件。按照他的理

论, 电子电荷 e 与单极磁荷 μ 之间有下列关系式,

$$\mu = \frac{e}{2\alpha} n$$

其中 $\alpha = 1/137$ 是索末菲精细结构常数, n 是一个正整数。取 $n = 1$ 时, $\mu = \mu_0$ 为最小值, 这时 μ 为 e 的 68.5 倍。后来的理论认为 n 值应等于 2 或 4, 甚至可以等于 12。由于 μ 比 e 大, 不同极性的磁荷 (磁单极) 之间的吸引力比电子和质子的吸引力大得多, 必须在很强的外力作用下才能把它们分开。因此, 寻找磁单极是十分困难的。从 1931 年起, 科学家企图用实验验证磁单极子的文献是浩瀚的, 象通过核子轰击使紧密结合着的磁单极子分离, 或吸收从宇宙深处飞来的磁单极子, 或对深海海底沉积物、矿物、月球岩石进行探测, 但终以失败告终。第一次曾被认为是观测到了磁单极事例的实验是 1975 年的美国《物理评论》上报导的: 美国加州大学普赖斯 (Price) 等用探空气球载上一台由多层聚碳酸脂组成的探测器升到高空, 以使宇宙射线在通过大气层之前被记录下来; 他们在乳胶片上记下了一些可疑径迹, 经过分析, 认为这些径迹可能由 $\mu = 137 e$, 质量比质子大 200 多倍的磁单极子所产生。但有许多人对此可能性提出异议, 因而至今没有结论。今年 4 月又报导了另一个可能是磁单极子的实验事例。美国斯坦福大学卡勃莱拉 (Cabrera) 博士利用超导环中电流稳定不变, 但如果有一个磁单极子穿过这环, 则电流会发生跳变的原理, 在 1981 年设计了一个能自动记录的实验装置, 平时不需要人看管, 只要偶而去看一下记录仪即可。在记录了 186 天稳定的电流以后, 1982 年 2 月 4 日美国情人节那天, 他发现记录仪上的电流有了跳变。经过计算, 正好等于狄拉克所预言

的 $n=1$ 的磁单极子通过超导环所应该发生的跳变,这一发现引起了各国物理学家的极大兴趣。目前有许多实验室在重复这一实验。为什么人们对寻找磁单极有这么大的兴趣呢?因为根据狄拉克的磁单极理论,即使只有区区一个自由的磁单极,也足以使宇宙间每个电荷都量子化,那时麦克斯韦电磁理论的框架需要重新安排,自由夸克的存在值得怀疑,量子电动力学也须作大幅度修改。另外,如果电和磁不对称这个令人别扭的现象一旦消失,在哲学上也具有重要意义。世界上不可能有不可认识的事物,在作出决定性判断之前,务必期待将来实验的结果!

狄拉克在1937年还提出一个大数假说,并认为这是发展宇宙学和原子理论的有力工具。

在物理学里我们经常碰到一些重要的常数,如光速 c , 普朗克常数 h , 电子电荷 e , 质子质量 m_p , 电子质量 m_e , 牛顿引力常数 G , 哈勃常数 H , 宇宙平均密度 ζ_0 。所有这些常数都有量纲,而物理学中更重要的是一些无量纲的数,特别是具有相同单位的常数的比值,如精细结构常数 $\alpha = e^2/\hbar c = 7.3 \times 10^{-3}$, 电子和质子的质量比 $m_e/m_p = 0.54 \times 10^{-3}$, 氢原子中静电力和万有引力之比 $e^2/Gm_em_p = 2.3 \times 10^8 = a_1$, 以原子单位量度的宇宙年龄 $m_e c^2/e^2 H = 7 \times 10^{30} = a_2$, 以质子质量单位表示的宇宙总质量 $8\pi\rho e^3/3m_p H^3 = 1.2 \times 10^{78} = a_3$ 。这些数在物理学上是宇观世界、宏观世界或微观世界的主要表征,而且是宇观世界和微观世界相互联系的纽带。 a_1, a_2, a_3 , 三个量本质上把表征宇宙总体特征的量如宇宙总质量,宇宙年龄,跟表征微观世界的量如质子质量等联系了起来。为什么自然界出现的所有无量纲的大数之间有这种联系? 10^{80}

这个大数意味着什么？这是一个困惑，长期以来吸引着许多物理学家的注意力。

在大数假说基础上，七十年代狄拉克进一步发展了一整套宇宙学理论，它预言了引力常数 G 要随着时间变大而减小。但爱因斯坦的引力理论要求 G 不变。如何使大数假说与它相符合？狄拉克认为爱因斯坦理论的成就非常大，以致我们在对自然界的基本定律作任何修改时，都必须保留它们。大数假说还导致物质要不断创生。这在我们目前所了解的物理基础上是难以理解的，因为它违反了质量守恒和重子数守恒定律。因此，我们要继续审慎地研究这个宇宙学和微观世界联系的大数 10^{80} 。

狄拉克同爱因斯坦一样，坚信世界在本质上是有序和可认识的，并以此作为他治学的出发点。他说过，“今天我觉得在物理学中，人们最好的出发点是假定物理学务必要建立在优美的方程式上”。这里唯一真正重要的条件是，奠定性的方程式应具有触目的数学“美”。他的量子学的符号法，符合相对论的狄拉克方程和磁单极理论，都说明他对数学美的追求是一贯的和狂热的。但是狄拉克的伟大之处，在于他认为数学美不是理论正确与否的决定性标准，决定性标准是实验。所以即使他相信磁单极理论是优美的，但他还是客观地说，“磁单极子存在与否，只能由实验来肯定。”因而我们认为狄拉克是一位诚实的，具有朴素的唯物主义精神的研究者。

狄拉克对现行量子力学理论的解释基本上是和哥本哈根学派一致的，被认为是哥本哈根学派的一个成员。但是他对量子力学基础的理解，却和爱因斯坦看法相类似。在纪念爱因斯坦诞生 100 周年时，狄拉克谈到，“看来量子力学不是最后

形式，要作些修改，终有一天，我们会有相对论量子力学发明出来。在新理论中，不会有无穷大。新理论将蕴含着爱因斯坦所要求的决定论，引进决定论就要牺牲现在某些科学家的一些见解。”

狄拉克在物理教育方面也有巨大贡献。他的一生主要在英国剑桥大学任教，1932年就成为牛顿曾一度担任过的卢卡西安数学教授，1969年退休后仍在美国佛罗里达州立大学任教。所著《量子力学原理》是理论物理学名著，一直是量子力学方面的一本标准教本。1935年7月曾来我国清华大学讲学。

1933年狄拉克和薛定谔一起获得科学家的最高奖励诺贝尔物理奖。1939年获英国皇家学会最高奖章和James Scott奖金，1952年获英国皇家学会的Copley奖。

同志们，我们在这里借他们诞辰之际，介绍了德布罗意和狄拉克两位大师的功绩。他们都与近代物理学基础的量子力学有关，并为之作了奠基性的工作，赢得了全世界科学界的崇高赞誉。科学家没有纪念碑。人类认识的每一步深化，对自然力的每一次掌握和应用，都包含着对它们奠基者的无限纪念和颂扬。