

题,在减阻和减噪声问题中有重要应用前景),提出了新的计算方法,克服了过去的计算方法中在流体与柔性壁交界面处或多层柔性壁分层处位移及应力连续条件不能全部满足的缺点。(7)近几年来,分析并指出了已流行30余年的弱非线性理论存在着收敛性很差、实际不能用于流体演化问题等严重缺陷,并提出了根本性的改进,在数值计算中表现了其优越性。这一成果将对连续介质力学动力学中的摄动法产生重要影响,获得国外同行专家高度评价。

在陀螺仪技术方面取得了创造性成果。70年代中期,从理论上分析了二自由度气体动压轴承液浮陀螺仪转子马达转动时陀螺仪整体自激振荡的难题,指出此系气体轴承的动力特性所引起,并通过计算提出了正确的轴承结构及

参数而从理论和实践上解决了这一实际难题,并与刘延柱合著了《气体动压轴承的原理及计算》一书。

以上科学成果,曾获1985年度国家教委科技进步奖一等奖、1987年度国家自然科学基金二等奖等成果奖励。同时发表《二自由度气体动压轴承转子陀螺仪和稳定问题》、《K-B方法在流动稳定性问题中的应用》(与赵耕夫合作)、《流动稳定性弱非线性理论中幅值方程的一个必要的修正》、《论流动稳定性中的弱非线性理论》(与尤学一合作)、《湍流边界层外区大尺度相干结构的理论模型及与实验的比较》(与罗纪生合作)等研究论文数十篇,并有专著。

(中国科学院数学物理学部办公室 唐廷友)

诺贝尔物理奖获得者瓦尔特·博特在原子核领域中的开拓性贡献

宋世榕

(武汉工学院,武汉 430070)

一、博特生平简介

著名核物理学家瓦尔特·博特(Walther Wilhelm Georg Franz Bothe)于1891年1月8日生于德国柏林附近奥拉宁堡一个商人的家里。

博特自幼便爱好自然科学。他于1908年中学毕业后考入柏林大学,修理论物理,1912年毕业。由于学习成绩突出,博特被普朗克收为研究生。1914年,他取得博士学位。

接着,博特来到柏林德国帝国物理技术研究所,在实验物理学家盖革(H. W. Geiger, 1918—1924年在该所)手下从事科研工作。

博特于第一次世界大战期间服役。他被俄军俘获后入狱。后来,他被送往西伯利亚,呆了

一年。博特抓紧时间钻研数学和理论科目,同时学习俄语。1920年,他携俄国妻子归国^[1]。

回国以后,博特应盖革的邀请,在德国帝国物理技术研究所的放射实验室工作,同时在柏林大学讲授物理。1931年,博特任吉森大学教授。1932年任海德堡大学物理研究所所长。1934年起任海德堡医学研究院物理研究所所长(至1945)兼海德堡大学教授。1946年起,博特任海德堡大学物理系系主任,直至1957年2月8日逝世^[2]。

二、符合计数法及其相关的工作

还在1908年,盖革便和老师卢瑟福一起,利用气体放电原理,制成记录单个 α 粒子的计数管。1913年,盖革作出改进,使计数管能对

β 粒子进行检测和计数。如欲探测 γ 光子, 只须记录 γ 光子打在计数管阴极上所产生的次级电子即可。1925 年, 经盖革指点, 博特制成只对 γ 射线灵敏的尖端式盖革计数管。盖革计数管配上适当的电路, 构成盖革计数器, 它能以电脉冲的形式记录入射粒子。1928 年, 盖革和缪勒 (W. Müller) 再次改进盖革计数器并加一放大器, 成为盖革-缪勒计数器。

1924 年, 博特在盖革计数器的基础上发明了“符合计数法”。他将两根盖革计数管相隔一段距离平行安放。当外来粒子仅仅通过其中一管时, 该管内尽管发生电离碰撞, 但所发生的电脉冲不被记录, 只有当两管近乎同时发出脉冲信号时, 所连电路才进行一次记录。这就标志着有两个粒子近乎同时分别穿过两根计数管, 或者, 更多的是, 有一个粒子几乎“同时”穿过两根计数管。这类的两个紧密关联的事例被看作是“同时”发生的, 或者说是“符合”的。为了判别两个事件是否符合, 需要有一种电子线路——符合电路来分辨两个计数器发出脉冲的相隔时间, 看是否超出某个阈值(“符合分辨时间”)。该阈值大约等于每一计数器在符合电路输入端产生的脉冲宽度, 比方说, 约为 10^{-6} s。博特实际地设计了这种高分辨率的符合电路, 使符合法切实可行。比如, 他常将计数管相隔一定距离上下叠放, 进行符合放电, 以查明外来粒子的来踪去向, 被称为“计数管望远镜”。

不久, 符合法在研究康普顿效应、宇宙射线和核物理方面获得广泛应用。

1. 康普顿效应中的能量和动量守恒问题

1924 年, 玻尔、克拉末斯(H. A. Kramers) 和斯莱特 (J. C. Slater) 三人在《哲学杂志》上联合发表《辐射的量子论》一文, 即著名的“BKS 论文”。文中采用玻尔于 1922 年所提“虚辐射场”观点, 对辐射跃迁、康普顿效应等作了尝试性说明。他们提出: 在单次的“基元过程”(如单个光量子的发射, 光子和电子的碰撞等) 中能量和动量不一定守恒, 而宏观上观察到的守恒定律只是统计平均的结果。依此, 在康普顿效应中, 反冲电子的运动并不是只有一个可能的

方向, 而是可以有方向上的某种统计分布。

1925 年, 博特同盖革合作, 用符合计数法考察了单次康普顿散射中散射光子和反冲电子的同时出现以及它们通过各个盖革计数器的情况。实验数据表明, 在每次碰撞中, 光子被弹向一个方向, 而电子则被弹向另一方向; 并且, 守恒定律对每一单次碰撞都是成立的。

同年, 康普顿和西蒙 (A. W. Simon) 利用威尔孙云室显示的立体图景来研究 X 射线散射, 再次证实单次康普顿散射中能量、动量确实守恒。

应当指出, BKS 论文关于守恒律的论断虽然遭到否定, 然而, 玻尔等所提微观粒子以“虚辐射场”、“虚振子发射”而相互作用诸观念, 却极有价值。它们后来经过修改和完善, 已形成量子场论中关于粒子相互作用的一种普遍图像, 成为粒子物理中广泛使用的基本概念^[3]。

2. 宇宙射线研究

1929 年, 博特与科尔荷斯特 (W. H. J. Kohlhörster) 合作, 用符合法在海平面上研究宇宙射线的性质。他们将两个盖革计数器上下放置, 中间安放不同厚度吸收物; 计数器接入符合电路后连一弦线静电计, 其偏转由活动照相底片记录。实验中多次观测到高速粒子产生符合放电所引起的静电计偏转。由于 γ 光子在两计数管阴极上产生高速粒子的概率很小, 所以这种偏转表明海平面附近次级宇宙射线主要由带电粒子组成。实验还表明, 带电粒子可以贯穿很厚的吸收物, 有的粒子具有 10^9 eV 的能量。他们推断, 初级宇宙射线的主要成分是带电粒子, 而不是人们过去所认为的光子^[4]。1933 年托马斯·约翰逊 (Thomas H. Johnson) 用符合法发现的“东西效应”^[5] 则表明初级宇宙射线中绝大部分是带正电粒子。

1933 年, 布莱开特 (P. M. S. Blackett) 和奥恰利尼 (G. P. S. Occhialini) 利用二重符合计数器控制的磁云室, 发现了次级宇宙射线中的电子 (正电子)-光子簇射以及由 γ 射线形成的电子-正电子对现象^[6], 证实了 1932 年安德逊 (C. D. Anderson) 关于正电子的发现。同年,

罗西 (B. B. Rossi) 用竖直放置的四重符合计数器, 在海平面和海拔 3 200m 处测出次级宇宙射线强度随铅吸收层厚度的变化曲线, 显示大气中有宇宙射线软、硬成分^[7]; 他又将计数器排成三角形而测量符合放电数随上部铅板厚度的变化情况, 得出铅板中也发生次级粒子簇射的结论^[7,8]。安德逊和内德迈尔 (Seth. H. Neddermeyer) 于 1934 年根据次级宇宙射线通过磁云室中铅板前后的径迹, 证明了软、硬成分的存在^[9], 1936—1937 年又在带铅(或铂)板的磁云室中发现了 μ 子^[10]。 μ 子主要构成次级宇宙射线的硬成分, 软成分则被证明是电子-光子级联簇射。

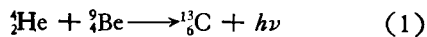
电子-光子级联簇射的发现促使一些物理学家用符合法寻找到达一个水平面的粒子。1938 年, 什美瑟 (K. Schmeiser) 和博特^[11]、俄歇 (P. V. Auger) 小组^[12,13]、科尔荷斯特小组^[14]各自用远距离放置的盖革-缪勒计数器的符合计数法发现了广延大气簇射-初级宇宙射线所形成的电子-核簇射。

而博特, 正是由于“提出符合法以及由此取得的发现”获得 1954 年诺贝尔物理奖的。

三、中子发现的第一步 核反应研究

1926 年, 博特选择了人工核反应的研究课题。开始, 他用 α 粒子轰击硼、碳, 以实现核嬗变; 1927 年研究反应率; 继而与弟子贝克尔 (H. Becker) 一起, 探讨伴随核嬗变的辐射问题。

1928 年, 博特和贝克尔用钋所发 α 粒子(最大能量为 2.3MeV) 轰击铍靶, 发现了贯穿本领很强的辐射。此贯穿辐射通过 5cm 的铅吸收层后强度减半, 当时他们认为这是核反应中同时出现的 γ 射线, 而核反应式应当为:



他们根据吸收估计 γ 光子的能量为 7MeV。此外, 他们还用符合法这样测量该辐射的能量: 让铍射线穿过途中的实物以逐出电子, 这些电子顺次通过其间插有吸收体的二重符合计数器以

产生符合脉冲; 逐渐增加吸收层厚度, 直至没有符合脉冲输出。此时被逐出电子具有的能量不足以穿过该层, 根据层厚估计射线能量为 5MeV。

博特和贝克尔的测量费时二年, 多次实验均获同样结果。尽管他们认为射线高能量来源于核嬗变, 但他们所得能量, 比当时已知的最硬 γ 射线, 还大一倍。1930 年他们发表了结果^[15]。

1931 年底, 约里奥-居里夫妇改进了博特-贝克尔实验。他们让铍射线穿过吸收体, 再用由薄铝箔密封的电离室进行测量。如果吸收体是石蜡等富氢物, 那么通过电离室的电流大大增强, 而云室所拍照片则表明这是由于射线从富氢物中击出了质子, 这些质子对气体产生了强电离。当时他们仍旧认为这种贯穿辐射是高能 γ 射线, 这样从(1)式根据质量亏损法算得其能量约为 15MeV。此外, 根据被击出质子在空气中射程为 40cm, 算得质子最大动能 $E_{km} = 5.7\text{MeV}$, 约里奥夫妇把它看作是 γ 射线对质子产生康普顿散射而使其获得的反冲能。由康普顿散射能量关系

$$E_\gamma = \frac{1}{2} (E_{km} + \sqrt{E_{km}^2 + 2E_{km}mc^2})^2, \quad (2)$$

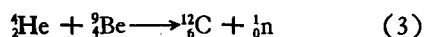
得出 $E_\gamma = 55\text{MeV}$ 。此值与前述各数据大不相同。1930 年 1 月, 约里奥夫妇发表了实验结果^[16]。

1932 年 2 月, 恰德威克 (J. Chadwick) 改进了约里奥-居里的实验装置, 于电离室后加一放大器, 再连接记录器。他让铍射线轰击氢、氮等气体以实现核反冲。若仍认为这是 γ 射线产生的康普顿效应, 则利用(2)式, 由反冲氢核的最大动能 5MeV 算得 γ 射线能量为 50MeV; 由反冲氮核的最大动能 1.2 MeV 算得 γ 射线能量

$$1) \text{ 由 } \frac{E_k}{h\nu} = \frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{1}{\nu} (\nu' - \nu) = \frac{1}{\nu} \left(\frac{\nu}{1 + 2\frac{h\nu}{mc^2} \sin^2 \frac{\varphi}{2}} - \nu \right) = \frac{2\frac{h\nu}{mc^2} \sin^2 \frac{\varphi}{2}}{1 + 2\frac{h\nu}{mc^2} \sin^2 \frac{\varphi}{2}}, \text{ 再令 } h\nu = E_\gamma, \text{ 以 } \varphi =$$

180° 代入上式, 可得 E_{km} , 然后可以解得 E_γ , 如(2)式所示。

为 90MeV。这明显与能量守恒相违背。恰德威克经过认真研究后指出, 如果认为贯穿辐射不是光子, 而是质量为 1 单位、电荷为零的核粒子——中子 ${}^1_0\text{n}$, 则所有困难可以消除^[17]。据此便有核反应式



中子的发现是原子核物理学中的重大事件, 它对于揭示原子核结构、研究核衰变和核反应、实现核能的利用, 具有极为重要的意义。而博特和贝克尔, 则迈出发现中子的第一步。

中子发现后, 博特致力于中子发射实验。1935 年, 博特提出核反应式的记法。1937 年, 博特与根特纳 (W. Gentner) 合作, 观察到能量为 12—17MeV 的硬 γ 光子对于从锂到铋诸原子核所发生的核光电效应, 即光核反应。他们以核反应 ${}^7_3\text{Li}(p, \gamma){}^7_4\text{Be}$ 作 γ 光子源, 测量了 γ 射线能量为 17MeV 时 (γ, n) 反应截面的大小; 还指出, 对于中等核和重核, 当 γ 射线能量在 10—20MeV 范围内增大时, (γ, n) 反应截面迅速增长^[18]。

1939—1945 年, 博特提出中子漫射理论和有关测定方法。他还对元素铀和中子迁移的理论作了大量探讨。

四、其他

博特在普朗克指导下于 1914 年写成有关光的反射、折射和散射的分子理论的博士论文, 曾引起学术界的重视。

1921—1924 年, 博特开展有关 α 射线和 β 射线散射的理论和实验研究工作, 发展了包含小角度多重散射过程的统计理论。

1934 年后, 博特与根特纳及同事们合作, 在海德堡建造静电加速器和回旋加速器。特别

对于回旋加速器, 他亲自设计和领导, 并多方筹集资金, 终于在 1943 年将它建造成功。

50 年代初期, 博特又回到电子散射、宇宙射线以及 β 、 γ 射线能谱的研究领域。1954 年博特还得到高精度测量时间的方法。

博特和盖革一样, 晚年长久卧病。他一直工作到体力完全不支为止。

博特的工作态度是极其专注、勤奋、严格、认真, 他的科学研究风格是讲求实际、讲究高效。他学识渊博, 多才多艺。他在原子核物理领域所取得的巨大成就, 绝不是偶然的。

- [1] R. L. 韦伯著, 李应刚等译, 江仁寿等校, 诺贝尔物理学奖获得者, 上海翻译出版公司, (1985), 169.
- [2] Bernard S. Cayne Editorial Director, *The Encyclopedia Americana*, International Edition, Vol. 2, Grolier Incorporated, International Headquarters-Danbury (1988), 324.
- [3] 戈革著, 尼耳斯·玻尔——他的生平、学术和思想, 上海人民出版社, (1985), 253.
- [4] W. Bothe and W. Kohlhörster *Z. Phys.*, **56**(1929), 751.
- [5] T. H. Johnson, *Phys. Rev.*, **43**(1933), 834.
- [6] P. M. S. Blackett and G. P. S. Occhialini, *Proc. Roy. Soc. A*, **139**(1933), 699—726.
- [7] B. Rossi, *Z. Phys.*, **82**(1933), 151.
- [8] B. Rossi, *Nature*, **132**(1933), 173.
- [9] C. D. Anderson and S. H. Neddermeyer, *Int. Conf. Phys., (London)* **1**(1934), 171.
- [10] C. D. Anderson and S. H. Neddermeyer, *Phys. Rev.*, **50**(1936), 263; *Phys. Rev.*, **51**(1937), 884.
- [11] K. Schmeiser and W. Bothe, *Ann. Phys.*, **32**(1938), 161.
- [12] P. Auger, R. Maze and T. Grivet Meyer, *C. R. Acad. Sci.*, **206**(1938), 1721.
- [13] P. Auger, *Le Journal de Physique et Le Radium*, **10**(1939), 39.
- [14] W. Kohlhörster, J. Mathes and E. Weber, *Naturwiss.*, **26**(1938), 576.
- [15] W. Bothe and H. Becker, *Z. Phys.* **66**(1930), 289.
- [16] I. Curie-Joliot and F. Joliot, *Comt. Rend.*, **194**(18, Jan., 1932), 273; (22, Feb., 1932), 708.
- [17] J. Chadwick, *Proc. Roy. Soc. A*, **136**(1932), 692.
- [18] W. Bothe and W. Gentner, *Z. Phys.*, **112**(1939), 45.