

赵忠尧对正、负电子对研究的开创性贡献

何艾生
(北方工业大学)

何豫生
(清华大学物理系)

本世纪三十年代,我国物理学家赵忠尧曾发现硬 γ 射线的“反常吸收”和“特殊辐射”现象,他的工作对正电子的发现及正电子的研究都产生了重大影响。

一

赵忠尧生于1902年,浙江省诸暨县人。1925年毕业于东南大学。1927年,他得到“中国文化教育促进基金会”(The China Foundation for the Promotion of Education and Culture)资助,到了美国加州理工学院,在密立根指导下从事研究工作。早在二十年代,密立根就猜想宇宙中的质子和电子有可能结合并生成各种原子核,同时放出 γ 射线。为了证实这一猜想,他曾指导许多学生从事与此有关的研究。那时克莱因和仁科已从理论上推导出 γ 射线的康普顿散射强度公式。密立根便要求赵忠尧用实验证实克莱因-仁科方程式的正确性^[1]。

1929年底,赵忠尧发现重元素对 γ 射线的吸收与理论值不符。对此,密立根起初持怀疑态度,赵忠尧的论文遂被压了两、三个月^[1]。赵的辅导教师I. S. Bowen虽然是光谱学家,但却相信这个结果可靠。这样,赵忠尧的研究报告才在1930年5月送至《美国国家科学院院报》,论文的题目是《硬 γ 射线的吸收系数》^[2]。接着,赵忠尧又独立地研究了 γ 射线的散射规律,他发现除去正常的康普顿效应外,还有一种特殊的辐射伴随着反常吸收。1930年10月,他的论文《硬 γ 射线的散射》在美国《物理评论》上发表^[3]。两年后人们才知道,所谓的《反常吸收》就是正、负电子对的产生,而“特殊辐射”正是湮没现象。

二

1929年,赵忠尧利用 ThC'' 发出的 γ 射物理

线测量不同物质的吸收系数。其实,自本世纪初以来已有一批著名的学者在他之前就做过此类测量,他们是罗素、索迪、卢瑟福、理查孙和Bastings^[2],然而他们都没有观察到反常吸收现象。赵忠尧敏锐地意识到,“他们使用的射线束相当发散,验电器放得离吸收体也太近,以致相当数量的被散射的射线也进入了验电器,这使得测量到的吸收系数的值偏低”。^[2]他有针对性地采取了三项改进措施:第一,利用一束很窄的、平行的 γ 射线束进行实验。为此,他将放射源置于一个长32cm,直径为32cm的铅筒中心,从中引出半角为 25° 的锥形射线束,然后用铅板吸收掉软 γ 射线。这一装置见图1^[4]。第二,改进测量手段,他分别用石英丝验电器和高气压电离室(充约25atm空气),作为探测仪器分别进行测量。为了防止散射射线进入仪器,石英丝验电器放在离源2m处;用电离室时则放在距源1m处。第三,对探测数据作校正,以减去由于四周环境中的天然放射性和宇宙线所产生的电离电流以及散射射线引起的误差。这样,赵忠尧成功地发现,“由吸收系数 μ 除以每立方厘米体积内的核外电子数得到的 μ_e 值,随原子序数上升而增加,而根据理论公式的计算,它应该是常数。”^[2]

那时,赵忠尧猜测产生反常吸收可能有两种原因:一种可能是核外现象,例如可能是由比较紧密束缚的电子的散射所造成的;另一种可能是核现象,例如是被核内的电子散射造成的。为了深入探索反常吸收的物理机制,他决定独自开展“对散射射线的研究”工作。这次实验的结果写入《硬 γ 射线的散射》一文中,所发现的“特殊辐射”现象却是作者开始时没有料到的。

实验装置是这样的:放射源 ThC'' 放在前述实验用的同一铅筒内,所发出的 γ 射线经

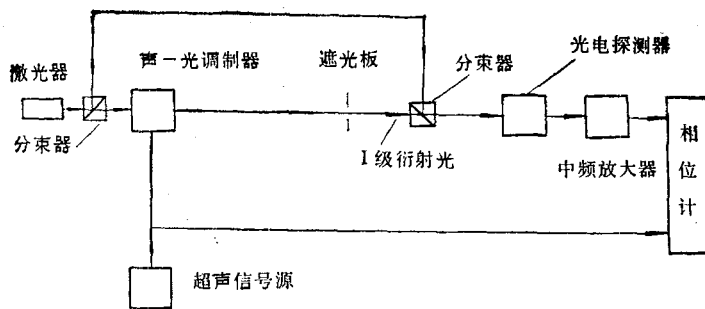


图 1 赵忠尧测量 γ 射线反常吸收的装置示意图

放射源放在铅筒C内，C可绕垂直轴转动，其转角可用S调节；F为铅过滤板；P为一个铅制锥形插件，可插入C中心，以便引出半角为 2.5° 的锥形射线束；右上角是用来接收射线束的验电器

过 2.7cm 的铅板滤波后作为入射束。用铝和铅代表轻、重二类元素作为散射体，被置于距源 50cm 的地方。探测器是一个 20atm 的电离室，它距散射体约 20cm。图 2^[4] 的 A 与 B 表明了源、散射体和电离室的位置。

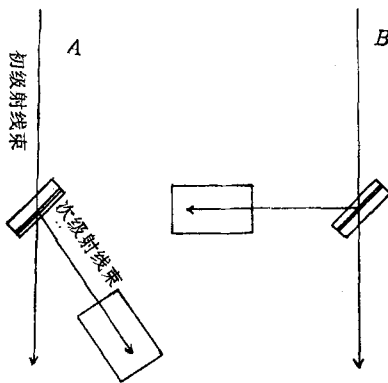


图 2 赵忠尧测量 γ 射线特殊辐射的装置示意图
从 ThC'' 发出的射线与散射体(铝或铅板)成 45° ，电离室分别放在与人射方向成 $22.5^\circ, 35^\circ, 55^\circ, 90^\circ$ 和 135° 的位置进行测量。

实验工作分为三个部分：

1. 测量铝和铅的散射强度，并与克莱因-仁科公式的理论值相比较。结果发现了“特殊散射”，正如他当年在文章中写的“我们可以推测在铅的情况下，除了正常的康普顿散射外还存在一类特殊散射……此类反常散射在 $\theta=135^\circ$ 时给出比正常散射高三倍以上的电离电流”^[2]。

2. 发现“由铝散射的射线硬度与通常康普顿散射射线预言的值相符合，而由铅散射的射线比理论所预言的更硬”。

3. 研究了特殊散射的波长和强度分布。

关于特殊散射的本质，赵忠尧当时倾向核内成因假说，他在论文中写道“以反常散射的强度在不同方向上的分布几乎都一样这一点考虑，来源于再发射的可能性更大。”至于这种再发射的机制，限于历史条件他未作更深入的讨论。事实上，在 1930 年没有人能够正确解释赵忠尧的新发现。然而，他创造了一个很好的开端，具有不可低估的影响。

三

1930 年，正当赵忠尧埋头于散射实验的时候，年轻的理论家狄喇克在论文中预言了反物质的存在。他写道“在电子的分布中，具有负能量的空穴就是质子。当具有正能量的电子落入空穴并填满它时，我们应当观察到电子和质子将同时消失，并伴随着辐射释放。”^[5] 这一假说的缺陷是认为带正电荷的粒子是质子，然而质子的质量是电子质量的一千多倍，这必然会带来理论上无法解释的矛盾。奥本海默意识到了这一点，并指出了这一点^[6]。赵忠尧当时却不知道这场争论^[1]。

虽然正电子在 1930 年敲击着物理学的大门，但拍摄到它的踪迹却是两年之后的事。安德森在给《物理评论》的报告中写道：“1932 年 8 月 2 日，在按垂直方向安装的威尔逊云室(磁场强度为 1500 G，云室是由密立根教授和作者于 1930 年夏天建成的)中的宇宙射线径迹照

相中,发现了一些径迹……这些粒子具有正电荷,它的质量相当于自由电子通常具有的质量^[7]。1981年,安德森在回忆这一段历史时曾讲过一些颇有趣味的话,“赵忠尧当时正在与我邻近的房间里,用静电计研究ThC'' γ 射线对铅的吸收和散射。他发现这两个方面都大大超出了克莱因-仁科公式的预言。他的研究结果引起了我的极大兴趣,我曾打算建造一个能在磁场中工作的云室,以便研究放入云室中的铅板在吸收 γ 光子后产生二次电子发射的细节。”^[8]显然,安德森的初衷是打算用新建成的云室研究赵忠尧的发现,他甚至想借用赵忠尧使用过的ThC''放射源。然而,这一计划并未实现。1930年,安德森和赵忠尧同时在密立根门下取得博士学位,密立根便要求安德森放弃自己的打算,而去做宇宙线云室的工作,结果正电子的发现便推迟了。安德森回忆道“我坚信,当初如果能够按原计划利用ThC''做云室实验的话,正电子的发现必将更早一些。因为,从铅板中逸出的电子中至少有10%带有正电荷,这样多的正电子不可能不被探测到”。然而,拖到1931年10月,宇宙射线云室才开始正常工作,致使正电子推迟到1932年才被发现。^[8]

此后,P. M. S. Blackett和G. P. S. Occhialini在研究宇宙射线的径迹时发现,正、负电子的径迹是从同一点发射的,从而证明了正、负电子对的产生。但是照片上看不到正电子湮没的过程,于是他们联想到赵忠尧的实验,终于悟出所谓的“反常吸收”实质是 γ 射线在原子核周围产生正、负电子对;所谓“特殊辐射”是正、负电子对转化为两个光子的湮没辐射^[9]。可惜,这一切并不为已经回国的赵忠尧所知。

特别要指出的是,赵忠尧回国后仍能克服重重困难继续开展反常吸收的工作。1933年,他在清华大学和龚祖同一道以ThC''作源,用盖革-弥勒计数器探测。他们发现,随着 γ 射线波长的改变,铅吸收硬 γ 射线而发射的电子要比铝吸收硬 γ 射线而发射的多。无疑,这一新成果是有着重要意义的,也显示出关于反常吸收研究的当时的国际水准。他们的研究报告在英

国《自然杂志》上发表,题为《硬 γ 射线与原子核相互作用》。卢瑟福对这一新的实验结果极为重视,把它列为当时国际上关于正电子的重要结果之一,并在论文后面加了按语,以期引起国际学术界的重视:“无疑地,上述实验为正、负电子对的产生提供了极有价值的进一步的证据。显然,从信中可以看出赵教授和龚先生还没有听到关于正电子的工作(在核的很强的电场中,高能 γ 射线转变为正、负电子对)。尽管不能按照他们的方式去解释实验结果,但是这一效应的重要性与其它实验应是同样的。”^[10]

四

在1929年至1930年,赵忠尧教授最早观察到正、负电子对的产生和湮没现象。

1933年,赵忠尧和龚祖同又为正、负电子对的产生提供了可靠的实验证据。

赵忠尧的发现使安德森受到启发,使他最终发现正电子。这里必须指出,赵忠尧和安德森关于正电子的工作与狄喇克的理论无关。

赵忠尧关于正电子的贡献无疑是杰出的,也已为国际物理学界公认。1980年,G. P. S. Occhialini指出,赵的研究不仅在美国而且在英国也给出了这方面研究工作的出发点^[11]。正是沿着这个起点,正、负电子对的湮没实验在物理学领域里取得了广泛而重要的一系列成果。正、负电子对在物质中的湮没效应现在已发展成为正电子湮没技术,已在固体物理、材料科学、生命科学等领域中得到广泛的应用^[12,13]。

[1] 董光壁,中国科技史料, No. 3(1982), 6.

[2] C. Y. Chao, *Proc. Nat. Acad. Am.* **16**(1930), 431.

[3] C. Y. Chao, *Phys. Rev.* **36**(1930), 1519.

[4] C. Y. Chao, *Sci. Rep. Nat. Tsing Hua University*, 1st Ser. **1**(1934), 159.

[5] P. A. M. Dirac, *Proc. Roy. Soc. (London) A*, **126**(1930), 128.

(下转第528页)

1) 赵忠尧教授在1986年回忆这段历史时,曾向笔者明确指出过这一点。