



# 1995 年诺贝尔物理学奖简介

沈慧君 陈庆东 译

瑞典皇家科学院决定对轻子物理学先驱性实验贡献颁发 1995 年诺贝尔物理学奖, 其中一半授予美国加州斯坦福大学的马丁·佩尔 (Martin L. Perl), 奖励他发现了  $\tau$  轻子, 另一半授予美国加州大学欧文分校的弗雷

德里克·赖因斯 (Frederick Reines), 奖励他检测到了中微子。

## 奖励自然界两种亚原子粒子的发现

人类一直在寻求其在自然界中的位置, 并以同样的方式致力于寻找哲学问题和物理学问题的答案。宇宙这个人类之家是在大爆炸中创生的, “宇宙是由什么组成的?”, “组成宇宙的最小成分是什么? 有什么特性?”, “关于宇宙的历史和未来, 它们能够告诉我们什么?” 等等。今年的获奖者在这一研究中作出了恒久的贡献: 发现了自然界中最引人注目的两种亚原子粒子。

马丁·佩尔和他的合作者于 1974 年至 1977 年在美国斯坦福直线加速器中心 (SLAC) 通过一系列实验发现了电子有一个重 3500 倍, 名叫  $\tau$  子的亲戚。

弗雷德里克·赖因斯在 50 年代与已经去世的小克莱德·考恩 (Clyde L. Cowan, Jr.) 一起作了先驱性的贡献, 他们用实验演示了反电子中微子的存在。

佩尔发现  $\tau$  子, 是表明基本砖石中存在第三“族”的第一个信号。几年之后, 又发现这一族中的两个夸克之一, 底夸克。直到 18 年之后这

一族的另一夸克——顶夸克才被发现。第三族的存在对物理学家树立对标准模型的信心非常重要, 标准模型是现在认识自然界最小成分的一种理论模型。如果没有第三族, 这一模型就会是不完善的, 不能容纳所谓的电荷宇称 (CP) 破坏, CP 破坏指的是对一种对称性基本原理的破坏, 这一对称性和其它原理一道控制着粒子的衰变 (1980 年 Cronin 和 Fitch 获诺贝尔奖)。如果再发现夸克和轻子有第四族, 就意味着标准模型必须修改, 基本粒子物理学更进一步的改造也就开始了。

赖因斯和考恩首次观测到中微子, 是一项先驱性的贡献, 打开了通向“不可能”的中微子实验这一领域的大门。现在我们正在试探捕捉宇宙辐射里的中微子, 这种宇宙辐射可能是起源于太阳, 或者起源于超新星 (一种正在爆炸的星体)。由于中微子不愿意与原子核起作用, 很难捕捉到它们, 因此这类实验往往需要体积极大的探测器。赖因斯和考恩 50 年代在探测器中加了近半立方米的水, 90 年代的大型实验竟用了好几千立方米的水。有些实验甚至以周围的海水或冰作为探测器体积。

## 自然界的砖石及其家族结构

迄今为止已研究过的自然界中最小的结构有十二种物质粒子——六种夸克和六种轻子, 它们都有各自的反粒子, 就像是粒子的“镜像” (在一个粒子的名下就包括了各自的反粒子)。除了上述夸克和轻子外, 还有其他类型的亚原子粒子, 叫作用力粒子, 因为它们相应于已知的三种力: 强相互作用力、电磁相互作用力和弱相互作用力。不包括引力。夸克和轻子最主要的区别在于轻子不受强力作用。

物质粒子有一显著特点, 就是具有“家族亲和性”, 它们组成三族, 各由两个夸克和两个轻

子组成(如图 1).这三族在很多方面表现雷同.“有没有什么基本原理可以证明就只有这三个族存在?”这是物理学尚未回答的问题之一.

第一族的夸克是“上夸克”和“下夸克”.其轻子成员即电子和电子中微子.这两种夸克组成质子和中子,质子和中子又组成原子核,并由此组成地球上 99% 以上的全部物质.剩余的一小部分就是电子.电子中微子可以粗略地想象成是被剥夺了电荷和质量电子.它是否仍保留有微不足道的质量,则是另一个没有回答的问题.赖因斯和他的合作者考恩正是要捕捉这种电子中微子,当时他们正在 Los Alamos 科学实验室工作.



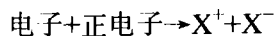
|     | 轻子     |            | 夸克 |   |
|-----|--------|------------|----|---|
| 第一族 | e      | $\nu_e$    | u  | d |
| 第二族 | $\mu$  | $\nu_\mu$  | c  | s |
| 第三族 | $\tau$ | $\nu_\tau$ | t  | b |

图 1 标准模型里的基本粒子——一个新周期表

图形代表半人半鱼神(Triton)

### $\tau$ 子的发现

60 年代有许多研究小组在进行实验,目标之一就是发现新的带电粒子,其中包括新的轻子.一种方法是在可能获得的粒子(例如 K 介子)的衰变产物中寻找新粒子.另一种方法则是试图在加速器中产生,例如在电子和靶子的碰撞中产生出新的粒子.1966 年在 SLAC 进行了这一实验,佩尔是实验小组的成员,但没有发现新的带电轻子.1973 年 SLAC 有一台新机器投入使用,这就是取名为 SPEAR 的正负电子对撞机.这样的对撞机是轻子猎手的梦想,因为产生新带电轻子( $X^+$ ,  $X^-$ )的机制很简单,而且容易解释:



SPEAR 对撞机给佩尔提供了一个极好的

机会,继续早先捕捉新轻子的猎手.这次是在以前难以达到的新能区进行.能量大约为 5GeV (50 亿电子伏).仅仅一年时间就出现了最早的信号,暗示激动人心的结果已经在望.这一信号有可能标示某种新型轻子的产生.第二年佩尔和他的同事们发表了第一批结果.又过了好几年,他们才确定事实上发现了一个轻子.新的轻子以希腊字母  $\tau$  命名,代表 triton (氚核), third (第三)的第一个字母.

### 佩尔和合作者的实验

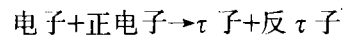
实验记录了电子和其反粒子(正电子)的对面碰撞.圆筒形的大型探测器置于碰撞区周围的磁场中.探测器由许多部件组成,包括一系列丝火花室以及用铅闪烁体和几个正比室组成的簇射计数器.最初表明有可能出现新现象的指示是研究小组观测到 24 个下列类型的事件:



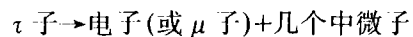
或  $\text{电子} + \text{正电子} \rightarrow \text{正电子} + \mu \text{子} + i.p.$

i.p.代表不可见的粒子,它们在探测器中不留痕迹.所以只能探测到一个电子(或正电子)及一个带电符号相反的反  $\mu$  子(或  $\mu$  子).考虑到能量守恒定律,佩尔和他的合作者发现,他们至少产生了两种不可见的粒子.

这些事件可以作如下的解释:先产生的是——一对重轻子(后来取名为  $\tau$  子)



不过人们期望这些重轻子衰变得极快,从而观测到的电子和  $\mu$  子就可解释为这些反应的衰变产物:



看不见的粒子就是中微子.大家知道中微子对环境缺乏敏感性,不留下可见的径迹而消失(如图 2).但是如果考虑能量平衡,就会察觉到,它们带走了相当一部分能量.

佩尔和合作者的假设经过多年在一系列新的观测中得到了检验.逐渐明朗的是, $\tau$  子通过了检验,其特性符合作为电子和  $\mu$  子的重亲戚的所有可能要求.与之相似, $\tau$  子也有其中微子—— $\tau$  子中微子.

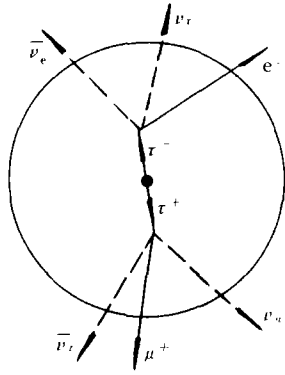


图2 对从 SPEAR 探测器得到的典型电子- $\mu$  子  
轨迹所作的解释

(两个重轻子,离开碰撞点几毫米就衰变掉,无法直接看到,中微子也是看不见的,只有带电粒子 e 和  $\mu$  才能检测到.)

### 能量守恒定律为中微子的引入提供线索

中微子假说要早大约 40 年,中微子“出生”于 1930 年,是在泡利(1945 年获诺贝尔奖)写的一封信中作为一个假想粒子提出的,当时已经知道,许多原子核发射一个电子后就结束了自己的生命,这个称作  $\beta$  衰变的过程使研究者大为头疼,其中有一个问题就是物理学中神圣定律之一的能量守恒定律看来是不适用了,为了恢复其在物理法典中的秩序泡利提出他所谓的“孤注一掷的解答”——核不只发射电子,还伴有另一不带电荷并与其环境极少反应的亚原子粒子,这个后来称作中微子的小粒子,带走了能量,消失得无影无踪,然而只要计及中微子取走的那一部分能量,能量的平衡正如所期望的那样。

泡利认为他做了一件“可怕的事”(这是他自己说的),竟提出了一个永远也发现不了的粒子,经过 30 多年之后,靠赖因斯和考恩的机智才使中微子大白于世。

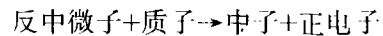
### 中微子的发现

泡利的中微子假说也许曾经是“可怕的”,但也非常有吸引力,它拯救了能量守恒定律,同时也解开了其他许多疑团,费米(1938 年获诺贝尔奖)用中微子假说以巧妙的方式构筑了有关自然力之一的弱相互作用力的理论,这一光辉理论给中微子假说以巨大的可靠性,这一假

说是说每次原子核发生  $\beta$  衰变时都有中微子与电子同时产生,但是如何得到中微子存在的判决性证明呢?

研究家玻特(1967 年获诺贝尔奖)和佩尔斯曾计算出截获放射性核在  $\beta$  衰变中产生的中微子的概率,发现这一概率太小,竟需要数光年厚的靶子才能有效地捕捉到中微子,当第一台核反应堆在 40 年代建成时,费米就是认识到反应堆可充当强中微子源的人们中的一位,据估算,反应堆有可能提供大约  $10^{12}$ — $10^{13}$  每秒每平方厘米的中微子流,比放射性源得到的要好好几个量级。

1953 年赖因斯和考恩提出从反应堆实验捕获中微子的建议,待研究的反应为



尽管反应堆发出的中微子有巨大的强度,但这一反应的计数率是如此之低,以至于这一尝试近乎不可能实现,赖因斯和考恩认识到同时探测中子和正电子的重要性,这样才能减少错误解释的危险,他们先是在 Hanford 反应堆作了初次尝试,然后转到 Savannah 河工厂工作。

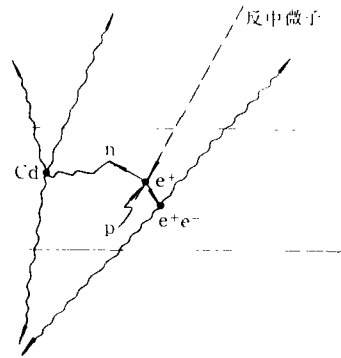


图3 赖因斯与考恩的中微子探测器示意图

赖因斯-考恩实验的靶子是由近 400 升内含氯化镉的水组成,水置于大液体闪烁器之间,要寻找的反应事件的过程如下(参看上式):中微子在水中与质子碰撞,产生一个正电子和一个中子,正电子被水减速,与电子一起湮没(物质遇到了反物质),于是两个光子(光粒子)产生了,这两个光子同时被两个探测器记录下来(如图 3),中子在水中也失去了速度,最终被镉核



## 热寂说的兴衰与社会影响

韩春柏

(蚌埠教育学院)

热寂说是哲学上的一个原则问题,也是物理学上无法直接验证的问题.它的

意义关系到包括生命物质在内的万物生长、发展和消亡的普遍规律以及人类和宇宙的未来.本文力求对热寂说的历史进行较系统的考察,并对其社会影响作些探讨和阐述.

### 一、热寂说的提出

在一般的物理书上,热寂说都是和克劳修斯的名字联系在一起的.根据是1865年4月24日,在苏黎士举行的自然科学家协会的会议上,克劳修斯在讲演中得出了“宇宙基本原理:宇宙的能量是一个常数;宇宙的熵趋于一个极大值.”1867年9月23日,在法兰克福举行的第41届德国自然科学家和医生代表大会上,克劳修斯在讲演中进一步提出:“宇宙越是接近熵为极大值的极限状态,它继续发生变化的可能性就越小;当它最后完全达到这个状态时,就不会再出现进一步的变化了,宇宙将是一种永恒的死寂状态.”这就是著名的克劳修斯热寂说的来历.

实际上,在克劳修斯之前,就有人提出热寂说.最早提出热寂说的是威廉·汤姆逊.他在1852年关于自然界中机械能耗散的一篇论文中,从他所提出的公理导出结论,即在自然界中占统治地位的趋向是能量转变为热而使温度拉平,最终导致所有物体的工作能力减小到零,达

俘获,并马上发出光子.这个光子到达探测器的时间比正电子消灭所发出的光子到达检测器的时间大约要晚一微秒,从而证明了中微子被俘获.

与低计数率和高本底进行过多次斗争.实

到热寂状态.他在1862年发表了论文《关于太阳热的可能寿命的物理考察》,明确提出热寂说.他写道:“热力学第二定律孕育着自然的某种不可逆作用原理,这个原理表明虽然机械能不可灭,却会有一种普遍的耗散现象,这种耗散在物质的宇宙中会造成热量逐渐增加和扩散以及热的枯竭,如果宇宙有限并服从现有的规律,那么将不可避免地出现宇宙静止和死亡状态.”

在克劳修斯之前提出热寂说的还有赫尔姆霍兹,这一点很久以来似乎被人忽视了.他在1854年的一次讲演中就谈到:热力学第二定律意味着整个宇宙最终将处于温度均匀的状态,并且“自此以后,宇宙将陷入永恒的静止状态”,即热寂状态.

1929年,金斯把这种状态描述为:“能量还是保持着,但已失去一切活动的能力,它无力再使宇宙运动起来,正如一潭死水不能使水车转动起来一样,我们将处在一个死寂的,虽然也可能是热的宇宙之中.”“宇宙也像凡人一样,它唯一可能的归宿就是走向坟墓.”

### 二、热寂说的社会影响

热寂说的提出,在社会上造成了极大的影响,因为它是基于严谨的科学定律而预言的“世界末日”.这种世界末日的悲观思想造成了19世纪欧美所特有的悲观情绪,使很多人对社会进步感到悲观失望,以致不仅自然科学家关心,人文学者也同样关心.斯诺在著名演说《两种文化与科学革命》中曾认为:一位对热力学第二定

验中往往每小时只记录几例事件.然而,赖因斯和考恩以其卓越的技巧,在几乎不可能的情况下取得了成功:他们把中微子从假想的角色提高为实际存在的自由粒子.

(译自瑞典皇家学院通报 1995.10.11)