

# 中微子层出不穷的神秘故事

魏 民

在基本粒子的大家庭里,没有任何一个粒子,象中微子那样,那么令人不可捉摸,那么令人困惑,而又那么地充满生机.它伴随着整个近代物理的发展,引出一系列层出不穷的神秘故事.

## 一、中微子的生日

要考证中微子的生日,不是一件容易的事.最早的可信证据,是一九三〇年十二月四日,当时年仅三十岁的泡里,在给图宾根的“从事放射性工作的女士们和先生们”的一封信中提及.在这封信中,为了解释 $\beta$ 衰变丢失的能量以及所谓的“氮的危机”,泡里提出了关于存在一种探测不到的粒子的假设.但实际上,当时泡里关于这种粒子的描述,十分象今天我们所认识的中子,事实上,泡里最初确实也称它为中子.而真正的中子,是二年后,由英国物理学家詹姆斯·查德威克的实验发现的.费米根据泡里的假设,于一九三一年到一九三三年期间,对中微子的概念进行了澄清,确立了

核结构的理论,指出了中子与中微子的根本差别,并且提出了弱作用的假说.一九三四年初,费米以意大利文,发表于“新试验”的论文,定量地用他的弱作用理论与中微子假说,精确地解释了 $\beta$ 衰变,从而间接地证实了中微子的存在.但是,由于中微子与物质发生相互作用的几率是如此之小,实验上很难抓住它.直到一九五六年,美国洛斯阿拉莫斯实验室的两位物理学家,小克赖德·柯恩和弗雷德里克·雷因斯,利用美国原子能委员会的一个大型裂变反应堆,成功地探测到了反中微子,至此,正如雷因斯所说:“这项直接的观测结果,消除了对于存在中微子的全部怀疑,与任何别的基本粒子一样,中微子业已成为现实的粒子.”曾被誉为“天才的神童”的泡里,在他的晚年,用诙谐的语气,称自己“神童消失了”,“天才还留着”,终于在他去世前二年,目睹自己的预言变成了现实.中微子从假设到证实,迈过了四分之一世纪的历程,它的分娩是如此之困难,“中微子之父”是如此之多,难怪生日的确定,存

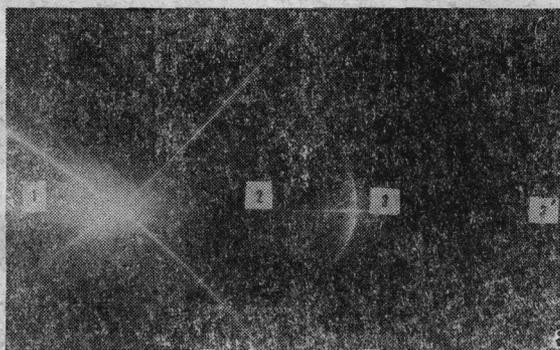


图 5

阶混频效应,非相干光两波耦合效应、自脉动现象、光学双称现象及弛豫过程等方面的研究正在进行.

虽然,人们在光折变效应及光折变材料研究上已经取得了不少进展,但离真正了解和掌握它的规律还有相当距离.从光折变材料的生长规律到它的一些基

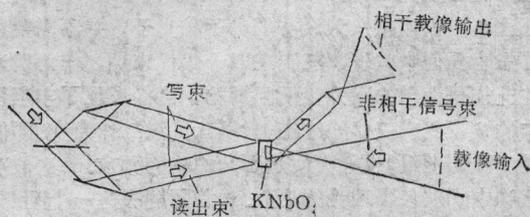


图 6

本物理机制,都尚未完全搞清楚.物理学家正力图建立比较完善的理论模型,以期能对一些非线性光学现象进行系统的解释.同时也在尽可能地设法提高现有光折变晶体的各项性能指标,特别是在响应速度方面,以满足基础研究和应用研究的需求.另一方面,寻求新的质量更好的光折变晶体和进一步深入揭示新的非线性光学现象也已提到日程上来.可以预期有关光折变效应和光折变材料的研究,将会取得更大的进展.

在那么多的争议了。

## 二、中微子的名字

泡里最初的假设,是把中微子称之为中子的,他设想,原子核中还存在着一种自旋为 1/2 的中性粒子,有了它,氮核中的粒子总数成为偶数,因而可以具有整数自旋,这与实验相符,而且在  $\beta$  衰变中,原子核同时释放出电子与这种假设的“中子”,丢失能量正是由它带走的。

但泡里的想法,在不断地深化.很快,他认为,这种探测不到的穿透力极强的中性粒子,不应该是原子核的组成部分.一九三一年六月,在美国物理学学会的一次会议上,泡里报告了自己的新想法,但没有给这种想象中的粒子起名.费米激动地打断了他的话,高声嚷道:“就叫它中微子吧!”从此,NEUTRINO 成了粒子物理大家庭中具有正式正确名字的新成员.事实上,NEUTRINO 意思是“中性的微子”.“INO”(微子)在今天,已形成了一个庞大的家族.近年来兴起的“超对称,超引力”等新理论,假设存在所谓的“引力微子”,“光微子”,“胶微子”,“W 微子”,“Z 微子”,等等,它们都不是重子,大都不参与电磁作用,或只有很弱的相互作用,很难在今天的实验室里发现它们.这种状况,也许连给中微子起名的费米,也是未曾料到的。

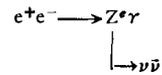
## 三、中微子的家族

五十年代进行的一系列低能(几个 MeV)的实验,不仅证实了中微子的确切存在,而且测定了它的自旋,与质子的相互作用截面,确认了它有正反中微子之别.但事实上,当时物理学家对于中微子的性质,不知道的比知道的多得多。

一九五八年,Gerald Fein Berg(G. 凡伯格)与另一位哥伦比亚的理论家指出,如果中间矢量玻色子存在,那么  $\mu$  应该能很快地衰变成电子和光子,并不需要在终态有任何中微子.其实在四十年代末期,作为费米在芝加哥大学的研究生斯坦博格,已经发现了宇宙线中的  $\mu$  衰变成三体的终态,但从未见过二体衰变.即使是实验的上限,也大大超过了凡伯格的预言.这似乎意味中间玻色子理论的失败.为了解决这一个问题,凡伯格假设, $\mu$  的没有中微子的辐射衰变,是由于存在二种不同的中微子而所禁戒的.他特意指出,也许存在着电子型中微子与  $\mu$  子型中微子.很快,杨振宁与李政道指出,凡伯格的预言,并不依赖于中间玻色子的存在.同时,李政道还指出,费米的中微子理论,在高能量时是否正确,还有待检验.于是,李政道建议,“如果我们能把弱作用实验的能量提高,这将会很大的收获——也许是中间玻色子,二种中微子的发现等”.斯瓦茨·莱德曼与斯坦博格,随即进行了旨在发现中微子种类实验,并荣获了 1988 年诺贝尔物理学奖,

这个实验,证明了两种中微子的存在。

按照标准模型,存在着与带电轻子  $e, \mu, \tau$ , 所对应的中微子  $\nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$  (及其反粒子).随着  $\tau$  轻子的发现,虽尚无直接证据证明  $\nu_\tau$  的存在,但人们对它的存在已不再怀疑了.事实上,人们正在追问,有没有第四代,以至第五代的带电轻子、夸克与中微子(中性轻子)?今年,在西欧中心即将投入运行的 LEP, 一个重要的任务,就是确定中微子的“代”数.其中一个方法就是测量下列反应:



这样,在终态可见的仅仅是几个 GeV 的单光子.如果有第四代中微子存在,那么这个反应的截面,将比目前的理论增加 30% 左右.如果真是这样,那么中微子家族,又将增添新的成员。

## 四、中微子质量

从中微子被人们认识的第一天起,就被认为静质量是零的.在李政道、杨振宁宇称不守恒的弱作用模型中,严格规定中微子的静质量等于零,因而它必然永远以光速运动。

1980 年,一些粒子物理学家宣称,中微子的静质量可能不为零.苏联的一个实验组更为具体地指出,电子中微子的静质量约为  $6 \times 10^{-32}$  克。

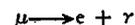
事实上,在 W-S 模型中,左手中微子没有质量,是因为右手中微子不存在的结果.但在一般的弱电统一规范理论中,是可以容纳有质量的中微子的.适当地修改模型,引入右手中微子  $\nu_R$ , 以及适当的汤川作用,可以使中微子得到质量.目前,实验上给出的中微子质量上限为:

$$m_{\nu_e} < 60eV$$
$$m_{\nu_\mu} < 500keV$$
$$m_{\nu_\tau} < 35MeV$$

具体数字,不同的实验结果还有些差别.由大爆炸宇宙论给出的中微子质量上限为:

$$\sum_i m_{\nu_i} < 100eV$$

如果中微子有质量,那么:



的二体衰变,可能产生.但如果中微子质量足够小,可以与实验不发生矛盾。

其实,中微子静质量不为零的假设,在天体学引起的震动更大.按照目前的宇宙论,宇宙质量主要是由暗物质所贡献的,即宇宙间十分之九的物质是不可见的.所谓不可见,不仅指的是不发光,不可视,而且指的是,不参与电磁相互作用,只有很弱的相互作用,几乎不可能在现今的实验室里发现它们。

暗物质到底是什么呢？从气体、尘埃到“死量”，即由化学元素所可能构成的各种形态的物质，一个个都被否定了。这样，就排除了暗物质是某种形态的重子物质的任何可能。

许多人从中微子质量不等于零的假设，立即想到，短缺质量也许就是中微子。中微子不是重子，它在宇宙间很多，只要每个中微子有很小的静质量，其总合，会远大于重子成份的质量，而成为宇宙质量中的主导部分。

研究表明，目前宇宙中的光子数与中微子数大体是一样的，即每立方厘米的体积，约为 400 个，(包括已知的三代中微子及其它们的反粒子)，若中微子的静质量不为零，例如为  $m_\nu \approx 6 \times 10^{-33}$  克，它并不随着宇宙的膨胀而减少，所以中微子对宇宙物质平均密度  $\rho_c$  的贡献为：

$$m_\nu \times 400 = 2.4 \times 10^{-30} \text{ 克/cm}^3 > \rho_c$$

$\rho_c$  为临界密度，约为  $5 \times 10^{-30}$  克/cm<sup>3</sup>。即中微子的静质量，有可能使宇宙有限而且封闭。

尽管中微子到底有无静质量，至今尚无定论，但由于中微子质量问题的引入，使有关暗物质的研究气氛，耳目一新。过去被看作为一个悬而未决的问题，而今天，成为一块有待开发的一个崭新的研究领域。近年来兴起的“超对称”，“超引力”等理论，预言了许多新粒子，它们大都符合“暗物质”的性质，它们被称作为“引力微子”，“光微子”，“胶微子”等等，它们与今天人们认识的“中微子”有什么联系，至今还是一个谜。世界就是如此之奇妙，那包罗万象的宇宙，到底是有限还是无限，似乎完全取决于这些“微子”的质量与数量。

## 五、中微子振荡

如果中微子有质量，将会发生一种十分有趣的中微子振荡过程，即当中微子在真空中运动时， $\nu_e$  和  $\nu_\mu$  会自发地互相转变。

目前，尚无实验证据确切证实中微子振荡的存在，但是，物理学家们仍在孜孜不倦地探索着。因为，如果中微子真的“振荡”的话，所谓“太阳中微子失踪案”就可能被“侦破”，按照目前关于太阳发光机制的理论，在太阳的核心部分，进行着热核聚变，即四个质子聚变为一个氦核 ( $\text{He}^4$ )，并释放出巨大的能量。按照估算，太阳每秒钟会产生  $1.8 \times 10^{38}$  个中微子。但从五十年代到八十年代，人们一直在捕捉来自太阳的中微子，尽管实验和精度在不断地提高，但真正捕捉到的中微子要比理论估计至少少一半以上。也许，人们关于太阳发光机制的理解不对，难道不是由于氢核聚变而引起？但

是，如果中微子会发生振荡，那么，我们可以这样认为：太阳所发出的中微子，都是  $\nu_e$ ，但在抵达地球的路程中，大约有三分之二的  $\nu_e$  变成了  $\nu_\mu$  或  $\nu_\tau$ ，因而在地球上探测到的  $\nu_e$  流量，就只有从太阳出发时的三分之一。这样，就解释了太阳中微子的“失踪案”。

1986 年以后，一些物理学家，又提出了一些吸引人的解释，这儿就不一一列举了。

## 六、中微子的展望

半个世纪以前，泡里引入了中微子的概念，“挽救”了能量守恒、动量守恒与角动量守恒。在这概念引入后四分之一的世纪，正是这个中微子，却破坏了长期以来被人们视为理所当然的宇称守恒。

施瓦茨、莱德曼与斯坦博格，在六十年代初进行的旨在证明存在二种中微子的实验，揭开了中微子家族的面纱，这项发现，经受了时间的考验，日益显示出其深远的意义，四分之一世纪后，他们荣获了诺贝尔物理学奖。但事实上，如果中微子有振荡的话， $\nu_e$  与  $\nu_\mu$  会相互转换，他们的实验，只是一种实验距离与振荡长度相比关系的一种近似。

中微子引入后半个世纪的今天，人们对中微子的认识，陷入了“否定之否定”的漩涡：中微子可能是有静质量的，于是中微子之间，可能会相互转换(振荡)的……这一切，导致了人们对轻子数是否绝对守恒，连同重子数是否守恒(质子衰变)，中微子质量的由来等等，引起了兴趣，成了当代高能物理学研究的热门话题。

由中微子引入的故事，在宇宙学的研究中，更为令人惊叹不已！

一九一七年三月十二日，爱因斯坦在给德西特的一封信中说：

“宇宙究竟是无限伸展的呢？还是有限封闭的？海涅在一首诗中曾给出过一个答案：一个白痴才会期望有一个回答”。

但这个令想象力丰富的诗人也感到荒诞不经的问题，在现代的“热大爆炸模型”中，竟然与中微子息息相关。正如前面已经提及过的那样，如果中微子有静质量，那么它将直接影响宇宙平均密度，从而决定宇宙是否封闭。测量表明，宇宙中不仅存在着 3K 微波背景辐射，而且存在温度为 1.9K 的中微子背景辐射，所以，渺小得不值一提的中微子，确实掌握着宇宙的命脉，这是半个世纪前，“天才的神童”泡里绝对无法预测的。这一切，当然也反映了半个世纪来，物理学的飞速的进展。

中微子的故事还在继续，让我们拭目以待。