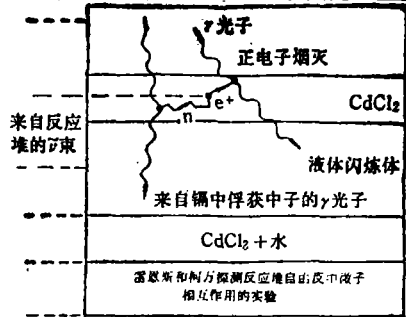


· 物理学史

· 学部委员唐孝威教授主持

中微子六十年

· 董国梁



中微子和 μ 子反中微子。负 μ 子与 μ 子中微子各有+1的 μ 子族数，正 μ 子与 μ 子反中微子赋以-1，不属于电子族和 μ 子族的粒子相应的电子族数和 μ 子族数为0。这样，所有的粒子反应不仅轻子数守恒，而且 μ 子族数和电子族数也守恒，例如

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$$

轻子数 1 1 -1 1

μ 子族数 1 0 0 1

电子族数 0 1 -1 0

现在要问电子族中微子

和 μ 子族中微子均无质量(或几乎为0)，也不带电荷，两者的自旋都为+1/2或-1/2，而且两者都有反粒子，那么不同点在什么地方？

1962年在美国长岛的布鲁克海文研究所进行的双中微子实验证实了 μ 子族中微子与电子族中微子确实是不同的，实验用质子轰击铍靶(Be)以产生强劲的 π 介子束， π 束中含有正 π 介子及负 π 介子两种。见图3。而 π^\pm 绝大部分变成

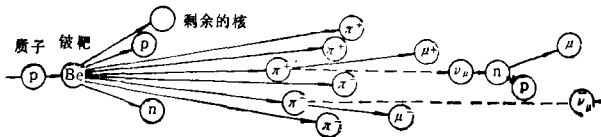


图3 “双中微子实验”所产生的中微子

μ^\pm 和 μ 子族中微子。 π^\pm 也有可能衰变为 e^\pm 以及电子族中微子，但只是极小部分，可以忽略。 π 介子束飞向13.4米厚的装甲板(取自旧军舰)。在到达装甲板前，已约有10%的 π^\pm 衰变为 μ^\pm 以及 $\bar{\nu}_\mu$ 和 ν_μ ，当装甲板被密集的粒子轰击时，两种 π 介子(π^\pm)和 μ 子(μ^\pm)均被阻挡，但 $\bar{\nu}_\mu$ 和 ν_μ 很容易穿过装甲板。在装甲板的另一边装备有十吨重的探测介质和火花室。源源不断的 ν_μ 和 $\bar{\nu}_\mu$ 通过火花室。实验发现其中有极少数发生了反应

$$\nu_\mu + n \rightarrow p + \mu^-$$

到1962年6月，1亿个左右的 ν_μ 通过火花室，而引发了51个事例，在这51个“事例”中，每一次皆能产生负 μ 子而没有一次产生过电子。如果 μ 子族中微子和电子族中微子系同一粒子，则不存在 μ 子族数和电子族数守恒，而只有轻子数守恒，这时下列两种反应 $\nu + n \rightarrow p + \mu^- + \nu$ 和 $\nu + n \rightarrow p + e^-$ 均可发生，并有相同的可能性。但在实验中，只见到 μ^- ，这表明存在严格的电子族数和 μ 子族数守恒定律，也证明中微子确实有两种：[除了电子族中微子外，还存在 μ 子族中微子。1963年欧洲核子中心的重液泡室中也探测到了同样的反应过程。

1975年，Perl等在美国斯坦福的SLAC研究所发现了一种重轻子 τ 。他们在 e^+e^- 湮灭中探测到24个 $e\mu$ 事例。在 τ 事例中，实验测得的衰变产物(e, μ)的能谱是连续谱，这一特点与 β 衰变中的电子能谱相象。与 μ 子族中微子引入

(续前)

三、存在几种类型的中微子？

前面我们介绍的中微子都是在电子的放射(β^\pm 衰变)和吸收(K-俘获)过程中产生的，这类中微子称为电子中微子，用 ν_e (电子中微子)和 $\bar{\nu}_e$ (电子反中微子)表示。除电子中微子外，后来还发现了 μ 子中微子和 τ 子中微子。

50年代，人们逐步认识到，安德逊在1936年发现的粒子- μ 子与电子有许多共同点：1)电子和其反粒子正电子的电荷分别为-1和+1，没有中性电子； μ^- 子和其反粒子 μ^+ 的电荷也分别为-1和+1，没有中性的 μ 子；2)电子和正电子具有自旋1/2， μ^- 和 μ^+ 的自旋也是1/2；3)正、负电子不参加强相互作用， μ^\pm 也不参加任何的强相互作用；但它们都涉及弱相互作用；4)正负电子的磁性也与 μ^\pm 的相似。因此，将 μ 子看成是大质量的电子。我们知道，在粒子相互作用中轻子数守恒。如果赋予 μ^- 和 e^- 一样的轻子数+1， μ^+ 和 e^+ 的轻子数-1，在包含 e^\pm, μ^\pm 在内的一切粒子过程中，就可保持轻子数守恒。

既然 μ 子只是一种大质量的电子，它在粒子相互作用方面具有与电子相同的行为。例如 $n \rightarrow p + e + \bar{\nu}_e$ ，而 π^\pm 会衰变为 μ^\pm ，是否有中微子(或反中微子)伴随 μ^\pm 产生，即有下列反应发生呢？

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu, \pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

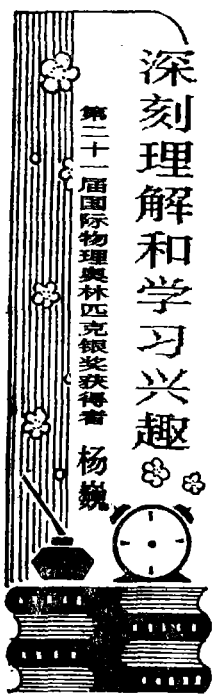
轻子数 0 +1 -1 0 -1 +1

在这两个反应中，满足轻子数守恒，理论上是合理的。

再来看看 μ 子。 μ^\pm 可以衰变为 e^\pm ，那么也应伴随 ν 或 $\bar{\nu}$ 的产生

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e, \mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$$

但如果这些反应式是对的，轻子数就不守恒了。因为反应式的左边轻子数为+1或-1，但右边为0，如何解决这个问题呢？比较合理的一种办法是在 μ 子衰变中假设产生了第三个粒子。1957年就有人建议伴随 e^\pm 产生的中微子为“电子”中微子，而 μ 子产生的中微子为“ μ 子”中微子，电子中微子与反中微子可表示为 ν_e 和 $\bar{\nu}_e$ ， μ 子中微子与反中微子可分别表示为 ν_μ 和 $\bar{\nu}_\mu$ 。我们将轻粒子再细分为“电子族”和“ μ 子族”，“电子族”包括有电子、正电子、电子中微子以及电子反中微子。电子与电子中微子赋以+1的电子族数，而正电子与电子反中微子赋以-1。“ μ 子族”包括 μ 子、正 μ 子、 μ 子



在学习的过程中,只有不断追求对知识的深刻理解和,扩展所学知识的深度与广度,才能激发并维持学习的持久热情和不竭的兴趣,也才能真正学好、掌握好。我与物理的相交,就是一个因为兴趣促进了学习,而不断深入的认识又增加了兴趣的过程。

我与物理的不解之缘要从初二说起。我要感谢自己的物理启蒙老师,正是他那独具风格的教学使我一开始就爱上了物理。在生动活泼的现象中追求定量的结果;力、压强、密度这几个直观的概念却能够描述复杂的世界,这就是在课堂上物理给我的第一印象。几本薄薄的科普读物,使我更加崇敬很早就已知道的牛顿、伯努利、

伽利略……

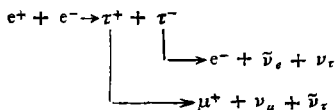
从此我迷上了物理,也做了不少习题,但所学终究较浅。在高中经过老师的指导,我开始学习普通物理。

同时我很喜欢阅读近代物理学家的传记和物理学史,还看了一点哲学和自然辩证法。这期间,爱因斯坦和他的相对论占据了 my 的头脑,我觉得物理学就是像相对论那样——一个个有深刻哲学背景的完美理论,一串串蕴含着传奇般创造的公式……

后来,我考入了国家教委的物理实验班,得以大量时间进行深入的学习。那些妙不可言的近似处理,物理与数学天衣无缝的结合,研究者大胆假设和严谨求证,在我面前展现了一个丰富多彩的世界。同一时期,我们在北大物理系做实验,亲身接触了物理系的老师。不论是普物实验中的经典方法,还是实验大师的独特设计,乃至实验教师的言传身教,都使我深深感到物理是一门活生生的学科,“大胆灵活”和“物理思想”这两个问题经常萦绕着我。我十分敬佩费米这样的理论实验两面手,以他为代表的——大批近代物理学家所具有的深刻物理思想和自成特色的研究风格深深吸引了我。

物理伴我五年多,我对物理的认识经历了变化,我对物理的兴趣也愈加浓厚。虽然在学习中我有过挫折,但物理的魅力推动了我去面对困难。今天喜爱物理的同学越来越多,我想如果在畅游题海的时候,同学们能够发现物理学深处那些激动人心的部分,那么就会真正体味到学习的快乐,就会明白物理的学习并不只是为了竞赛,更重要的这是一项事业,它值得我们去献身。

一样,新轻子 τ 也需要引入 τ 子族中微子以及 τ 子族数。 τ^- 与 τ 子中微子赋以 τ 子族数为 $+1$, τ^+ 和 τ 子反中微子 $\bar{\nu}_\tau$ 赋以 -1 , 这时所有涉及到 τ 子族粒子的反应都遵从 τ 子族数守恒。实验探测研究的 $e\mu$ 事例可以表示为



τ 子族中微子迄今尚未有直接证据,也即用 τ 子中微子产生 τ 轻子的实验尚未实现。

四、中微子有质量吗?

费米的 β 衰变理论很好地解释了 β 衰变中 β 粒子的能谱问题,取得了很大成功。从此以后,所有的实验表明,中微子的静止质量是非常小的,可能就是零。中微子质量为零这一点受到宇称不守恒的弱相互作用理论的支持,这个理论是 50 年代由李政道和杨振宁得出的。为了解释在 β 衰变等弱作用过程中存在宇称不守恒现象,这个理论要求中微子是左旋的,反中微子是右旋的即有固定的螺旋性这一要求是以中微子质量为零为前提的。所谓螺旋性,就是粒子的纵向极化度,

$$H = \frac{\sigma \cdot P}{|P|}$$

也即粒子的自旋矢量 σ 在其运动方向(即动量 P 方向)上的投影。 σ 与 P 方向一致的粒子 ($H = +1$) 称为右旋的,

反之, σ 与 P 反向的粒子 ($H = -1$) 称为左旋的。只有静止质量为零的粒子,在任何坐标系中均以光速运动,这样的粒子才有固定的螺旋性。1958 年,戈德哈勃等测量了 β 衰变中产生的中微子 ν_e 和反中微子 $\bar{\nu}_e$ 的螺旋性分别为 -1 (左旋)和 $+1$ (右旋),支持了中微子质量为零的假设。

中微子在宇宙学和天体物理学中也是一个重要角色,中微子质量是否为零对于理解宇宙学和天体物理学是十分重要的,天体物理上有些现象似乎要求中微子质量不为零。i) 太阳中微子短缺。第二节中介绍了太阳是一个很强的电子中微子源,物理学家正是利用这个中微子源在实验上确认了电子中微子的存在,但是实际上测得的太阳中微子流强只是标准太阳模型的理论预期值(4.7SNU*)的 1/3。这几年有的实验报导测得结果稍大一些,但也不超过理论预期值的 50%,这就是有名的太阳中微子短缺问题。如果中微子有质量(哪怕是极其微小),那么由中微子振荡理论可以解释这种短缺。ii) 质量短缺。在目前天文观察所及的范围,象银河系这样的星系数以 10 亿计,天文学家早已发现,星系有聚集成团的普遍倾向,例如“双星系”,“多重星系”和“星系团”等等,星系团内的星系各以不同的速度朝不同的方向运动。如果它们间没有强大引力的话,这些星系应该越来越远,从而使整个星系瓦解。天文学家通过计算得知:星系团中全部星系的质量加在

* 每个靶原子每秒俘获 10^{-36} 个太阳中微子规定为一个 SNU, 称太阳中微子单位。

1 B. Kadkhodayan 等 发现 ^{213}Md

据本刊记者叶云秀报道,LBL的B. Kadkhodayan等人于1991年2月,在88英寸的回旋加速器上,通过 $^{243}\text{Am}(^{13}\text{C}, 3n)$ 反应,发现了 ^{213}Md ,并测得其半衰期为 ~ 6 分钟,产生截面为50 nb量级。核物理学家认为:自1955年由Lawrence Berkely实验室的A. Ghiorso等人发现101元素以来,它所有的同位素,从 ^{217}Md 到 ^{260}Md 都被发现,只有 ^{213}Md 例外。因此,发现 ^{213}Md 成为学者感兴趣的话题。人们从这一核素的衰变模式,获得 $N = 152$ 的变形壳层的有用信息,对弄明白预言在 $N = 162-164$ 周围、原子序数为109的、类似的但更强烈的变形壳层是很重要的。

2 日本学者提出宇宙新星成因新学说

日本名古屋大学福井康雄领导的研究小组,对猎户座与金牛座周围进行两年连续观测,发现前者黑星云内原始星的中密度气体呈带状伸展,而高密度氢分子气体呈粒状散布在上面。他们提出:宇宙中新星是由其空间呈带状伸展的星间气体形成的。

3 美国学者开辟半导体材料制作新途径

据《科技日报》报载,美国北罗莱纳州立大学杰伊·纳莱安教授领导的研制小组,用高功率激光将碳原子嵌入薄片内原子薄层上方,再用100兆瓦激光脉冲照射十万分之一秒;当温度提高到 2000°C 则迅速冷却,致使嵌入的碳原子形成单晶态金刚石膜。这种室温下制作半导体材料新方法,将大大促进微电子工业的发展。

4 苏联15国将发射世界最大射电望远镜

苏、美、日、意、英、德等15国合作制造的新型射电天文望远镜,将于1994年由苏联发射。据介绍,这架望远镜优于一年前送入太空的哈勃望远镜,拥有10米碟形天线,每秒钟可向地面站发出3200万个数据,可从地球上清晰看见月球上一英寸大小的邮票,观测到距地球1500万光年的河外星系核心星体。但所花费用只有4亿美元,比哈勃望远镜少用11亿美元。

5 美国科学家出色力可能促成冷核聚变新观点

一起,仍满足不了团聚的要求,这就是所谓“质量短缺”问题。现代理论认为在宇宙大爆炸时刻,轻质量中微子($m_e \ll 1\text{MeV}$)的密度可以与光子密度比较,也即为核子密度的 10^9 倍。所以,即使中微子的质量只有几个电子伏特(eV),也能产生极其巨大的引力能,从而满足宇宙中动能与引力能的匹配要求。iii)众所周知,人类观测到的宇宙一直处于宏伟的膨胀之中,那些最遥远的星系和类星体远离我们而去的速度竟达光速的90%以上!但宇宙膨胀是永恒的吗?这是宇宙学中长期没有解决的宇宙开闭问题。所谓“开放宇宙”,是指宇宙将无限膨

今日国外物理

(八)

据《现代物理通讯》91年A6卷3期报道,加州大学物理系学者邱等人提出:色力可能克服聚变库仑势垒。如果精确的色中性稍有偏差,会导致色的大分离,为了局部重建色中性,强力就

极化核并使其足够靠近以产生聚变。若用氘和钡元素,所有现在的冷核聚变结果都是可能的,但过程有不同的显现。

6 美学者发现新的球状碳分子具有超导特性

据科技日报报载,美国贝尔实验室学者宣布,在冷却到零下 255°C 后,被称为“福勒宁”的足球状碳分子膜(掺钾)具有超导特性。它由60个碳原子排列成32面球体,存在大量缝隙,至使存在其内的钾原子能穿过“福勒宁”结构而导电。科学家认为:像第一个环形碳结构苯的发现一样,“福勒宁”将给有机化学开辟一个新局面,特别在燃料电池等方面具有应用价值。

7 希米等证实17keV质量的中微子

据《物理通讯》1991年B257卷3—4期报道,英国牛津核物理实验室希米等测量了 ^{35}S 的 β 谱,在 β 谱的端点以下找到17keV的单一成分的中微子谱。实验数据强有力地支持早期主张, β 衰变中包含17keV质量的中微子发射,给出的混合概率是

$$\sin^2 \theta = 0.0084 \pm 0.0006 \pm 0.0005.$$

8 查伊齐等测量哈雷彗星彗发内部的新成分

据英国《自然》1991年349卷6308期报道,法国查伊齐等研究人员,测量了哈雷彗星的彗发内部的成分,找到新的负的带电彗星离子。观测到的负离子: O^- , OH^- , C^- , CH^- , CN^- 和重的复合的 CHO 分子离子。表明远离太阳的地方有类似中性气体和尘粒环境。如果负离子密度足够大,在物理过程中将起着重要作用,如辐射转换或电荷交换。

9 日本学者研制出X射线曝光用的同步辐射环

据《中国科学报》报载,日本住友电气工业公司研制出一种同步辐射环,成功地产生了同步辐射X射线。该环用随时间振荡的横向磁场来影响电子束轨道,进行较宽面积的曝光。采用四个空心超导弯曲磁铁,可用于较高能量级别的同步辐射系统。

胀下去;“封闭宇称”则指宇宙交替地经历膨胀-收缩-膨胀...的无限过程,即所谓“振荡宇宙”。不难理解,宇宙的开闭与其平均物质密度 ρ_0 有关,若 ρ_0 大于临界密度 $\rho_c(10^{-29}\text{g}/\text{cm}^3)$,则宇宙是封闭的,否则就是开放的。现在推出的 ρ_0 为 $10^{-31}-10^{-30}\text{g}/\text{cm}^3$,比 ρ_c 小得多,但是如果中微子的质量不为零,那么 ρ_0 就会比现在估算的大得多,也许宇宙的变化将是振荡的。从这里,我们看到,中微子有没有静止质量对于宇宙学、天体物理学以及粒子物理学都是极其重要的。几十年来,物理学家对这个问题一直进行着辛勤的测量研究。(待续)