

新物理的探索

——非加速器粒子物理实验的进展

张 长 春

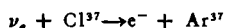
近十年来,非加速器粒子物理实验的进展引人注目. 实验设备规模宏大,建造费用猛增,实验运行周期变长. 去年八月二日至八日在新加坡举行的第二十五届国际高能物理会议上,非加速器粒子物理实验及其有关理论的报告占相当大的比重,引起与会者的广泛兴趣.

加速器产生的粒子束能量与亮度是可控的,粒子束种类、飞行方向和到达时间可由实验人员调节与控制. 几十年来,这种粒子源实验手段在高能物理的飞速发展中起了巨大作用. 但是,无论是粒子的能量还是粒子的种类,自然界存在的粒子源远比人工粒子源丰富多样. 人们往往是在自然界找到了新粒子源,然后在加速器中产生它,并进行精密的测量. 这样的例子是层出不穷的. 例如, α 、 β 与 γ 射线就是在天然放射源中找到的. 正电子、 μ 介子和奇异粒子也是在宇宙线中首次发现的. 正因为如此,当前为了寻找任何超出弱电统一理论范围的新粒子、新现象,人们自然把目光又一次对准了大自然这个深不可测的茫茫粒子世界. 目前,正在进行的非加速器粒子物理实验可以划分为以下几类:

1. 中微子质量. 如太阳中微子和地球大气中微子测量,原子核的 β 和双 β 衰变实验.
2. 大统一理论的检验. 主要有质子衰变,中子振荡和磁单极子等实验.
3. 超对称性理论的检验. 如第五种作用力的寻找.
4. 天文粒子物理实验. 包括超高能 γ 光子和中微子源的寻找,暗物质 (dark matter) 探测器的研究.

太阳中微子谜仍未解开

天文粒子物理学家根据热核反应机制提出了太阳标准模型 (SSM), 并相信它较好地描述了太阳内部的物质作用过程. 自 1970 年起, Davis 等人使用液态氯化碳吸收来自太阳的中微子,



探测产生的 Ar^{37} 原子数目. 他们发现,太阳中微子流量明显低于 SSM 模型预言的值. 是探测器没收集到电子中微子,还是中微子种类在飞行途中改变了? 这就是有名的太阳中微子谜.

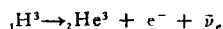
1987 年起,一批实验 (Homestake, KAM-II 和

SAGE) 分别作了更为精确的观察,一致确认太阳中微子丢失现象的存在. 但是,这种现象是否同太阳活动期有关,是否具有昼夜效应,各实验的结果尚不一致. 今后五年内还将有一大批新的大体积探测器投入运行, ν_e 的日俘获率预期可提高一个量级以上. 他们将为解开太阳中微子谜作出重要贡献.

电子中微子质量似零非零

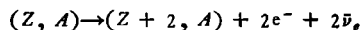
自 Pauli 提出中微子假设以来,有关中微子的实验测量几乎从未间断过. 中微子只参加弱相互作用,具有极强的穿透本领. 因此,很难观察到它的作用事例. 在原子核 β 衰变中,我们只能从次级电子的测量推算出中微子的踪迹. 因此,测量中微子性质是件十分困难的工作. 现在,实验家迫切想弄清的问题是:中微子质量倒底是否为零? 在穿过物质层时,中微子种类能否发生改变?

1980 年,苏联 ITEP 组采用精密的 β 谱仪测量氦核 β 衰变释放的电子,

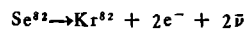


从 β 能谱分析,他们得到电子中微子质量 $M\nu_e$ 介于 14 与 $46\text{ev}/c^2$ 之间. 1987 年,他们再次得到 $M\nu_e$ 在 17 与 $40\text{ev}/c^2$ 之间. 鉴于这一实验的重要性,近二年来,美国、日本与瑞士的三个实验组各自独立地测量了氦核 β 衰变的电子能谱. 他们所用 β 谱仪的能量分辨能力在 17 至 34ev 之间,采用不同的放射源制作技术,但给出的电子中微子质量上限彼此一致. 最低的质量上限值是 $M\nu_e < 9.4\text{ev}/c^2$. 这一结果同苏联组的观察值显然是矛盾的.

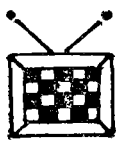
借助原子核无中微子双 β 衰变,我们也可以估算电子中微子的质量. 在核的正常双 β 衰变中,将释放两个电子和两个中微子:



这是一种比普通 β 衰变更高阶的弱作用过程,跃迁几率小得多,理论预计半衰期达 10^{18} 至 10^{20} 年. 但是几十年来,人们一直没有观察到双 β 衰变事例. 七十年代中期, Möe 等人用时间投影室在 Se^{82} 中首次观察到双 β 衰变事例:



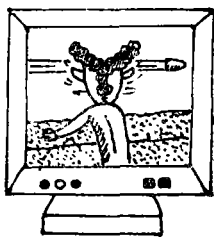
测出半衰期为 $\tau_{1/2} = 1.1 \times 10^{20}$ 年. 最近,别的实验组又先后测出 Ge^{76} 与 Mo^{100} 的双 β 衰变的半衰期分



电视模拟光速效应

您想在电视游戏机上学习爱因斯坦的狭义相对论吗?卡内基梅隆大学的两位毕业生熊平康和 H. P. 敦能以图像模拟物体近光速飞行时的形状变化.他们研制出能把第 4 维(时间)和光速同用来模拟照相的称为光线追踪图像技术结合在一起的软件.取得的结果是:当以 99% 光速飞行时,能模拟出物体的几何形状发生弯曲.

研究人员认为对电视游戏、电影特技效果和电视动画来说,这种四维空间扭曲效应是很自然的.已有不少娱乐公司对此感兴趣.它的科学应用可能包括模拟飞行、透镜制造和核实



(郑锡荣 译)

从太空飞鸽发回地球的数据.卡内基梅隆大学已申请保护软件版权,并对该项技术的两个数学方程申请专利.

· 刊林 · (第一期) 《大学科技》

编者按:

去年九月,北京举办建国以来首次“全国期刊展览”,4000 多家公开发行的期刊展露风采,显示了我国期刊出版事业的巨大成就.为了扩大本刊读者的视野,从这一期起,陆续介绍与物理有关的期刊,以便大家选择.

《大学科技》:国内第一本综合性理工科大学生的读物.以大学生、研究生和具有相应水平的“五大”学生及自学者等为主要读者对象,竭诚辅佐广大读者求知、探索、成才.

《大学科技》:设有科学前沿、学科介绍、应用技术、学术沙龙、大学生论坛、科坛拾趣、理工科实验、科技史与科学家专栏,传播自然科学,应用科学的基础知识,发表学生自己的新观点、新见解,介绍科学技术方面的最新动态和成果及老一辈科技工作者的经验谈,专辟勤工助学园地,以引导读者投入科技开发实践,开展勤工助学,沟通大学生与各工厂、企业的联系,把努力培养具有动手能力创造型的人才作为自己刊物的特色.

《大学科技》:暂定为季刊,每期 48 页,定价 1.10 元.请读者向全国各地新华书店预订,一年四期共计 4.40 元.《大学科技》编辑部地址:上海冠生园路 393 号,邮政编码:200233

是由质子与中子组成的,第五种作用力可能同质子与中子组份有关.现有的实验划分为组份无关与组份有关两大类.但是,不管哪一类实验,都是半数以上给出否定结果.只有澳大利亚矿井实验(Stacey 等人)报告找到了第五种力的实验证据,但别的实验家认为他们的实验存在漏洞.还有几个实验虽然观察到“反常”效应,但是他们同时提出疑问,或者后来自己加以否定.如格林兰岛 2033 m 深冰洞实验,由于冰与岩石密度估算的不确定性,会造成 4% 的偏差.他们打算更换实验地点,重复测试.应当说,存在第五种作用力的实验证据仍远远不足.

检验大统一理论的实验前景艰难

大统一理论的正确性可以借助以下实验加以检验:

1. 质子衰变,理论预言质子寿命约为 10^{31} 年.
2. 中子振荡,理论给出振荡周期约 10^8 秒.
3. 存在磁单极子,其质量为 10^{16} GeV/c² 量级.

KAMIO 第三个实验组测量了 40 多个质子衰变道,测得的质子寿命下限值介于 10^{31} 至 10^{32} 年之间,有的衰变道(如 $p^+ \rightarrow e^+ \pi^0$)已达到 5×10^{32} 年.中子振荡现象在 Frejus 等五个实验中都没有观察到,实验测定的振荡周期下限已达到理论预期的 10^8 秒.一大

批寻找磁单极子的实验都得到了否定的结果.实验给出的流强上限介于 10^{-16} 至 10^{-13} cm⁻²sec⁻¹Sr⁻¹ 之间.

尽管检验大统一理论的实验前景十分严峻,物理学家们仍然试图不折不扣地攀登下一个台阶.如果新的 SUPERKAM 实验计划获得批准,质子寿命的测量限值还将提高一个量级.

结 束 语

八十年代初,天文物理学家从我们所在星系中星球与宇宙尘埃旋转速度的观察,计算了物质的平均密度分布.他们发现,除了集中分布于星系中心区域的可见物质之外,还存在占星系总质量 90% 的不可见物质,即暗物质(dark matter),它们自中心区域延伸向外,形成巨大的晕圈.结合宇宙大爆炸理论,天文粒子物理学家对于暗物质是强子、中微子、轴子(Axion)还是其他粒子,作了猜测与计算.1982 年起,暗物质探测技术的研究迅速发展.暗物质可能是自然界存在的新粒子源.

弱电统一理论的成功启发人们去寻找粒子世界内部存在的更大的对称性.我们相信,随着实验技术的发展与社会提供的经济支持的增长,新物理的探索一定会取得更大成功.