

质子的衰变——兼谈一道中学物理竞赛题

杨 大 卫

(河北师范大学物理系 石家庄 050016)

生命是短暂的,所有动物和植物都会衰亡.大多数粒子的“寿命”则更为短暂,即使“长寿”的自由中子,其寿命不过十几分钟.中子衰变后产生三个较轻的粒子:质子、电子和反中微子($n^0 \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$);其他许多粒子的“寿命”只是一瞬间($10^{-22} \sim 10^{-10}$ 秒).那些似乎永恒的东西——山川、日月、银河等其实也总有消亡的那一天.

尽管如此,人们还是认为质子和电子总归是永恒的.电子当然不会衰变,因为它是最轻的带电粒子,所能设想的任何一种衰变方式都会违背能量、动量、角动量或电荷守恒.但对质子而言,永恒不衰绝非天经地义,譬如它衰变为一个正电子和一个介子($p^+ \rightarrow e^+ + \pi^0$),并不违反上述守恒律.

本世纪30年代,人们用重子数(B)守恒来解释.凡是重子,如 p^+ 和 n^0 , $B = +1$;凡是反重子,如 p^- 和 \bar{n}^0 , $B = -1$;其他粒子,如介子或轻子, $B = 0$.显然,中子衰变遵循重子数守恒(反应前后, $\Delta B = 0$);而质子(它是最轻的重子)要衰变为其他较轻的粒子,就会违背重子数守恒.可是,这种解释并未消除人们对质子衰变可能性的困惑.大家总觉得引进“重子数”概念,不过是为质子能否衰变多加了一种新名称而已,并非真的说明了是何原因在抑制质子的衰变.

本世纪60年代以后,人们对质子衰变的关注则更加高涨.当时在弱、电统一理论建立成功的鼓舞下,使得许多物理学家去探索建立弱、电、强三者统一的所谓“大统一”理论.在这种新的理论中,既然三种基本作用力统一了,那么轻子和夸克的地位也就平等了,上述质子衰变过程($p^+ \rightarrow e^+ + \pi^0$)中,重子(由三个夸克组成)转换为轻子,使重子数不守恒的过程当然就

可以发生了.由此,大统一理论预言:质子会衰变,尽管其“寿命”长达 10^{32} 年!这要用实验检验,“目不转睛”地盯着 10^{32} 个质子(重167吨,可含在300吨水中)进行监测,用一年时间才只能“看”到其中一个质子发生衰变!

实际上除氢核外,所有的原子核内还含有中子.当中子束缚在核中失去自由的时候,中子的 β^- 衰变($n^0 \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$)会受到抑制.尤其是在稳定的原子核中,则不会发生 β^- 衰变.因为这时若发生 β^- 衰变,其产物中的电子和反中微子将飞离原子核,而质子则留在核内.这就相当于给核增添了一个质子的正电荷,为此所耗费的能量要大于衰变时所释放的能量.但是在统一理论中,如果束缚中子衰变选择了重子数不守恒的其他方式(例如, $n^0 \rightarrow \mu^+ + \pi^-$),那么这种衰变也可以进行.故大统一理论还预言,束缚中子的“寿命”与质子的“寿命”大致相同.这样一来,寻找质子衰变事件的实验就又成了寻找核子衰变的实验.

实验的方法一般有两种.一种是用层叠式径迹探测器,它是用大量薄铁板和许多“对带电粒子的通过十分敏感的计数器”相互重叠而成的.铁就是有待衰变的质子和中子的大本营,而计数器则用来对衰变产物层层穿过铁板时所处的位置进行记录.另一种是充水式契伦柯夫探测器,它是由大量清水和其中许多布成阵列的光电倍增管构成的.水中的质子(或中子)衰变产生的带电粒子,其速度若超过 $3c/4$ (c 为真空中的光速)时,就会在水中引起一次短暂的闪光(称为契伦柯夫辐射),从而被光电倍增管所接收、放大和记录.

这种实验十分难做,它需要大量物质(含足够多的核子)并埋在很深的地下(避免宇宙线的干扰),需要提供众多的探测器(使之监测到每

狮子座流星雨纵横谈

李 良 刘合群

(北京天文馆 100044)

寒冬夜观流星雨

根据天文学家预测, 33 年一遇的狮子座强流星雨将出现在 1998 年 11 月 18 日凌晨 2~4 时; 预计在流星雨最高峰时, 每小时划过夜空的流星数可能会超过 10 万颗, 射向四面八方的流星好似节日的礼花烟火, 放射出璀璨的光芒; 我国东北部的居民处于最佳观测位置, 其他地区的人们均可看到规模不同的流星雨. 令人遗憾的是, 18 日凌晨, 我国天文工作者和广大天文爱好者仅看到了“零星小雨”般的流星现象, 令人们大失所望. 事后, 根据国内外有关天文学家的观测结果知道, 狮子座流星雨提前爆发了, 估计其爆发是在北京时间 17 日午时 12 点钟左右, 即它的高峰赶在了白天, 肉眼无法观测到, 只有使用射电手段才能观测到.

在 11 月 17 日早晨 8 点, 笔者接到了辽宁阜新市业余天文辅导员张国新老师打来的长途电话, 告知他们在当日凌晨 3 点 30 分至 5 点 30 分, 观测到约 350 多颗流星, 有少数流星非常耀眼, 把大地都照亮了; 他们这次观测原本是为次日凌晨的阜新市民观测做选址准备的. 笔者于

个核子), 并耐心等待相当长的时间才会有结果. 尽管如此艰难, 但由于意义重大, 全世界还是有许多小组(至少七组)在做这项实验. 第十五届(1998 年)全国中学生物理竞赛预赛试卷中的第一(4)题, 说的就是其中一个小组的实验.

该题原文如下:

一个由日本和印度物理学家组成的工作小组, 将 $6.0 \times 10^4 \text{kg}$ 铁放在很深的矿井中, 以完全隔断宇宙射线的影响. 在铁旁有很多很多探测器, 只要铁核中有核子(质子或中子)发生衰变, 这个事件总能被记录下来. 实验从 1980 年冬开始到 1982 年夏结束, 历时一年半, 一共记

17 日晚间 20 点乘车前往北京顺义县观测流星雨. 在长达 3 个多小时的观测中, 我们仅看到了 60 颗左右的流星. 虽然划过夜空的流星尾迹指向四面八方, 但辐射点基本是在狮子座头部方向.

位于河南新乡市郊区的中国电波研究所, 使用高频天波雷达, 从北京时间 17 日 20 点至 18 日 5 点 06 分, 共记录到 2290 次流星尾迹的无线电回波信号, 回波基本来自距离地面 100 千米的高空; 从 17 日 20 点起, 回波强度和数量随时间递增, 到 18 日凌晨 3 点至 4 点达到峰值, 而后呈现递减趋势.

谈谈偶发流星和流星雨

在晴朗的夜空, 人们有时会忽然看到一道亮光划过天穹, 转瞬即逝, 这就是流星现象. 一般说来, 流星体质量都很小, 体积大多不到 1 毫米, 少数大一些的也仅几毫米, 由于闯入地球“领空”时的速度高达每秒 70 多千米, 它们在大气中会完全燃烧掉了, 根本不会落到地上, 因而不会对地面生物造成任何威胁.

在太阳系的广阔空间中, 除了九大行星及

录了 3 个核子衰变的事例. 已知 N_0 个平均寿命为 τ 的粒子经过 t 时间后的数目为 $N = N_0 e^{-t/\tau}$ 个, 根据以上事实, 试估算核子(质量 $m = 1.67 \times 10^{-27} \text{kg}$) 的平均寿命. 注意, 当 $0 < x \ll 1$ 时, $e^{-x} \approx 1 - x$.

同学们会很快算出 $\tau \approx 1.8 \times 10^{31}$ 年. 看上去, 大统一理论似乎得到了验证. 可事实上, 目前还没有任何有力证据说明他们观测到的上述事例就一定是质子(或中子)衰变事件(其他几个小组的分析报告亦如此). 因为中微子的作用也可能引起类似事件, 即使在地球的深部, 也难免受到太阳中微子的辐照. 不过实验结果至少可以表明, 质子的寿命大于 10^{31} 年.