

# 中微子通信

范 钦 敏

“第十一届世界杯足球赛”争夺冠军(阿根廷队-荷兰队)的比赛,于1978年6月26日北京时间凌晨2:00点(当地时间25日15:00点)在阿根廷首都布宜诺斯艾利斯举行。中央电视台利用国际通信卫星对这场比赛作了实况录像,并于当天进行了转播。由于比赛是在西半球拉丁美洲举行的,所以,电视信号的传送经历了曲折的路径:布宜诺斯艾利斯附近的巴尔卡斯地面站——大西洋上空的通信卫星——英国贡希来地面站——印度洋上空的通信卫星——北京地面站。像这种

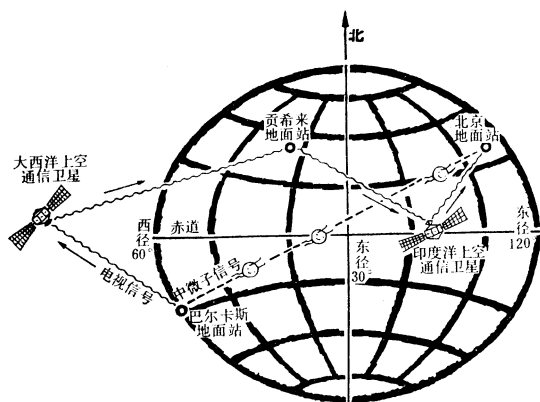


图1 电视信号的传送与中微子信号的传送

东、西半球之间长距离的信息传递,有没有更为直接的办法呢?随着高能加速器及高能中微子实验的发展,近年来,开始探讨一种直接穿越地球的远程通信方法,这就是中微子通信(见图1)。

中微子是一种不带电的轻子。现在知道的中微子有三类,一类叫电子中微子( $\nu_e$ ),一类叫 $\mu$ 子中微子( $\nu_\mu$ ),还有一类是新发现的 $\tau$ 中微子( $\nu_\tau$ )。用作中微子通信的主要是 $\nu_\mu$ 。中微子有一种独特的性质,就是它只参与弱相互作用,所以中微子能穿透很厚的物质。例如,能量为10亿电子伏的中微子束,在穿过地球的物质层时,与地球物质发生相互作用的几率只有 $\sim 10^{-3}$ ,即一千个中微子中,只有一个和别的物质发生相互作用,其它的都毫无阻挡地直接穿透出去了。因此,人们设想,在甲地的一个高能加速器上产生出一束强

的受调制的高能中微子流,调整这些中微子的出射方向,使它们向下穿过地球,径直到达预定的乙地,同时,在乙地的中微子探测器接收这些中微子流,并从中鉴别出中微子所携带的信息。那末,这不就实现了中微子通信!?

## 中微子探测

实现中微子通信,首先需要解决的问题是中微子的探测。由于中微子很孤僻,不容易抓住它,给中微子探测带来了很大的困难。在目前的一些中微子实验中,都要装备质量很大(例如上千吨)的探测器,经过仔细的安排,才能记录到少量的中微子事例。这样的探测装置应用在中微子通信中是比较困难的。

近年来,正在发展一种通过测量深水中契伦柯夫光的办法来探测中微子的技术(见图2):让一束高能中微子从深水中穿行过去,水中将产生如下的反应

$$\nu_\mu + n \rightarrow \mu^- + \text{强子}$$

出射的 $\mu$ 子可具有很高的能量。假如入射 $\nu_\mu$ 能谱峰值所对应的能量为150亿电子伏,则出射的 $\mu$ 子能量约在100亿电子伏左右。这么高能量的 $\mu$ 子在深水中可穿越六、七十米长的距离,同时在大部分路径上发射出契伦柯夫光。如果设法把这种长距离上的契伦柯夫光收集起来,这就等于记录到了 $\mu$ 子,从而也就探测到了中微子。由此可见,在这里,水既作为产生上述中微子反应的靶子(水被 $\nu_\mu$ 所轰击),又作为反应生成的荷电粒子的探测器。不过,上述反应的截面是非常小的,也就是说,在少量的水中是根本观测不到 $\mu$ 子的。为了记录比较多的中微子事例,就需要用大体积的水作靶。所以,这类观测都直接在海洋或深湖中进行。另外,由于反应的截面直到2000亿电子伏范围内都与中微子能量成正比,因此要求中微子束具有较高的能量。

高能 $\mu$ 子在水中所产生的契伦柯夫光,可以通过波长转换器、光导管以及光电倍增管等所组成的光收集器来记录。光收集器要求具有较高的探测光子的能力。目前可探测阈已做到10光子/米<sup>2</sup>,也就是说光收集器上每平方米只要捕获10个以上在一定波长范围内的光子,就可以作为一个 $\mu$ 子事例记录下来。由于

水对契伦柯夫光有较强的吸收,因此每个光收集器所监视的水的体积是很有限的。同时,若考虑到高能中微子产生的高能 $\mu$ 子在水中有较长的可测长度( $>20$ 米),可以估计一个光收集器能监测约一万吨水中的 $\mu$ 子。此外,为了减少水中由日光及宇宙线 $\mu$ 子的契伦柯夫光所产生的本底,需要把光收集器浸没在水下400—500米深处。因此,光收集器上应安装一个带有薄窗的耐压容器。从光收集器输出的脉冲信号可通过电缆传送到水面上的电子学装置内进行分析记录。据认为这是探测高能中微子比较有效的一种方法。

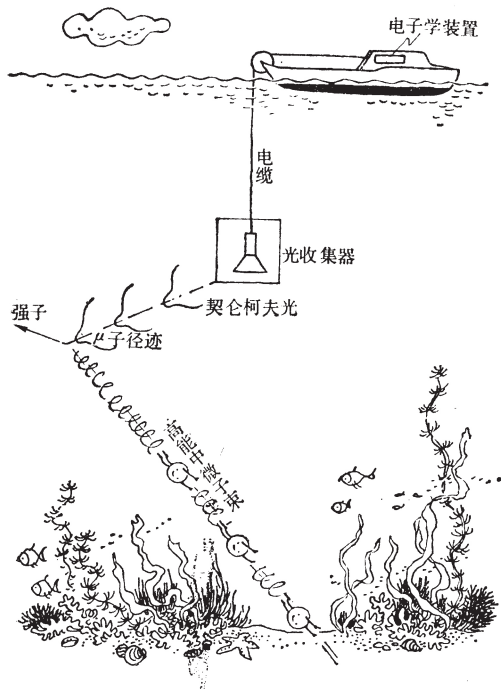
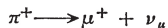


图2 通过测量深水中 $\mu$ 子的契伦柯夫光来探测中微子

### 高能中微子束用于远程通信

实现中微子通信遇到的另一个主要问题是中微子束的发射。在中微子通信中,除了要求中微子束具有较高的能量外,还要求它有较好的准直性及较大的束流强度。要获得这样的中微子束,现在已经有了可能。例如在美国费米实验室的4000亿电子伏质子加速器上,可以获得每脉冲 $10^{13}$ 个质子的高能质子流,其脉冲宽度约为20微秒,脉冲重复频率为 $1/(8\text{秒})$ 。将这些质子流轰击铝靶,便产生大量的 $\pi$ 介子和 $K$ 介子,然后用一个喇叭形磁铁使这些介子聚焦,并进入一个长400米的衰变通道。在这里, $K$ 介子将衰变成 $\pi$ 介子, $\pi$ 介子按如下的反应产生中微子



这样,从这个加速器上便可以获得~每脉冲 $10^{10}$ 个中微子的中微子束,其中绝大部分是 $\nu_\mu$ 。 $\nu_\mu$ 能谱的峰值约为150亿电子伏。总张角 $\theta_0$ 约为3毫弧度。

假若在一千万吨深水中安置一千个光收集器,对上述中微子进行远程探测,在距离一千公里远的地方,约一小时能得到250个中微子,再远到距离一万公里的地方,一小时约能得到2.5个。这样的计数水平可用作最简单的中微子通信。如果高能加速器产生的中微子束的准直性进一步改善,例如, $\theta_0$ 从3毫弧度提高到1毫弧度,中微子计数率可提高10倍。要想使中微子通信能够实用并进一步完善,还需要更高能量、更大流强的中微子束。

中微子巨大的穿透能力,使它特别适合于作穿透地球的长距离的定向直线通信。由于中微子束具有很高的准直性,又不会被拦截,因此保密性很强,同时,就目前所知,中微子束对人体没有危害,中微子通信对环境不产生污染,因此也是一种最“干净”的通信方式。另外,上述中微子通信的噪声的信号比可以很低,外来的干扰很少。但是由于中微子信号的发射与接收需要相当复杂的技术装备。所以,这类通信目前还没有达到实用的阶段。不过,随着今后中微子探测技术的逐步发展,随着高能加速器在能量、束流强度以及束的准直性等不断提高,中微子通信的前景是广阔的,尤其是它可以担负一些其它粒子束通信所无法承担的特殊使命。

(吴文渊插图)