

“太阳中微子失踪案和中微子振荡” 一文中的若干问题

邢志忠

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

《现代物理知识》2002年第一期和第二期连载了彭秋和先生的文章：“太阳中微子失踪案和中微子振荡”。这篇文章系统地介绍了太阳中微子问题的来龙去脉，内容丰富，可读性强。然而文中对中微子质量和中微子振荡的叙述有几处严重失实。为避免误导读者，特在此指出彭文中的问题并一一给予更正。

1. 早在戴维斯等人公布首批氯探测器的探测结果的1968年，庞托科沃就提出了这3种“味”的中微子很有可能互相来回地转化，称为“中微子振荡”。(彭文第五节第一段)

这段叙述与史实不符。事实上，1956年电子中微子的存在被实验证实后，庞托科沃于1957年首次提出电子中微子与反电子中微子间振荡的假说。这一假说成立的先决条件是中微子为马尤拉那粒子且携带静止质量。当时 μ 中微子和 τ 中微子尚未被发现。直到1962年 μ 中微子才被李德曼、斯坦博格和施瓦茨在宇宙线中探测到，同年日本物理学家坂田等人率先提出了 μ 中微子与电子中微子之间的振荡机制。而 τ 中微子存在的直接实验证据直到2000年才在费米实验室被DONUT合作组获得。由于中微子与反中微子之间的振荡几率极低，庞托科沃的假说是不能付诸实验的。所以人们通常所说的中微子振荡都是基于坂田机制，即中微子与中微子或反中微子与反中微子之间的振荡。

2. 在太阳内部的热核燃烧过程中产生的中微子都是 ν_e 。但它们在从太阳到地球的漫长行进过程中， ν_e 不断地转化为 ν_μ 和 ν_τ 。后两味中微子也不断互相转化，或转化回来变成 ν_e 。这样，当它们到达地球上的中微子探测器时，平均而言，大约这3味中微子的数量各占1/3。而前面介绍的所有中微子探测器探测的都仅仅是 ν_e ，因而它的实测流量当然只有太阳内部发出时的 ν_e 流量的1/3。(彭文第五节第一段)

上述对太阳中微子失踪的解释过于简单而有悖于我们已知的中微子味混合图像。目前的太阳、大气和CHOOZ反应堆中微子实验表明 ν_e 味本征态中主要包含两种中微子质量本征态，分别对应于 ν_e 和 ν_μ 。因此太阳中微子 ν_e 的失踪主要源于 $\nu_e \rightarrow \nu_\mu$ 型振荡。由于这一振荡的振幅介于0.6和1.0之间，探测器所测得的 ν_e 平均流量大约在1/3至1/2之间。相对于 $\nu_e \rightarrow \nu_\mu$ 振荡， $\nu_e \rightarrow \nu_\tau$ 振荡的几率是很小的。与太阳中微子振荡不同，大气中微子 ν_μ 的失踪主要源于 $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ 型振荡，其振幅接近于1.0。太阳和大气中微子实验强烈暗示三代中微子味混合矩阵应包含两个大混合角和一个小混合角，这就是众所周知的中微子双大角混合机制(文献中的第一个中微子双大角混合模型是由笔者和慕尼黑大学的H. Ritzsch教授于1995年9月提出的，比日本的超级神冈中微子实验数据发表早大约3年)。彭文的简单图像只有当中微子味混合的3个混合角近似相等时才成立，而这一味混合机制已基本被目前的中微子实验数据排除掉了。

3. 依照这个理论， ν_e 、 ν_μ 和 ν_τ 这3种“味”的中微子只是在它们参加 β 衰变，电子俘获等弱相互作用过程中表现的3种形式。它们并不是最基本的中微子，而是由另外3种称为“质量本征态”的中微子混合组成。……这3种“本征”中微子才是真正基本的中微子，它们的质量并不为零。……由于这3种本征中微子具有非零的质量，因而 ν_e 、 ν_μ 和 ν_τ 这3种“味道”中微子的质量也不为零。(彭文第六节第一段)

这段叙述没有说清楚中微子质量本征态与味道本征态之间的关系。按约定， ν_e 、 ν_μ 和 ν_τ 代表3代中微子的味道或相互作用本征态，描述中微子与其他粒子的弱相互作用性质；而 ν_1 、 ν_2 和 ν_3 定义为3代中微子的质量本征态，描述具有确定质量的中微子的本身状态及其传播性质。两者都是基本的，无

现代物理知识

所谓哪一个更基本。事实上,正由于中微子的质量本征态不同于其味道本征态,才导致味混合和中微子振荡现象。举例说来, ν_e 可以表达成 ν_1, ν_2 和 ν_3 的线性组合,反过来 ν_1 也可以表达成 ν_e, ν_μ 和 ν_τ 的线性组合。联系中微子质量与味道本征态的 3×3 矩阵即是轻子味混合矩阵,在两代中微子情形下首先由坂田等人于 1962 年引入来讨论 $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_e$ 振荡的物理机制。

4. 物理学家认为,这第四味的中微子的性质很古怪。除了它有质量而参与万有引力外,它既不参与强相互作用,也不参与任何弱相互作用。人们把它叫做“呆傻中微子”(sterile neutrino)。(彭文第七节第七段)

这一段涉及到“sterile neutrino”的中文翻译问题。相对于“active neutrinos”(活性中微子) ν_e, ν_μ 和 ν_τ ，“sterile neutrinos”不参加标准的弱相互作用,但可以和其他活性中微子发生相互振荡。由于“sterile”一词本身并无“呆傻”之意,笔者认为将“sterile neutrino”译为“惰性中微子”更合适。

(上接 22 页)

大。为此,美国等国家正在研制用塑料染料激光棒代替有机溶液激活介质的激光器,材料选取及安装加固设计充分考虑了弹载方式及冲击波压力和温度影响等方面因素。

二、光学弹药作战使用特点

光学弹药作为一种新型反人员、反传感器技术,由于可以采用弹载发射方式,可远距离攻击敌方作战平台及作战人员。因此,比强激光武器具有更强大的纵深打击能力,有着十分广泛的军事应用价值。

对炮射远程攻击的光学弹药,在敌阵地爆炸后发出强烈的闪光,致盲或致眩破坏敌方武器系统的光电传感器和作战人员眼睛,使之暂时丧失战斗力,其特点为:纵深打击能力强,可用于攻击几千米至几十千米的敌纵深目标;引爆性能好,它不在瞄准线内工作,不容易暴露目标;使用灵活,可采用多种发射方式,操纵如发射炮弹一样灵活简便;费效比低,一枚通用性反传感器光学弹药与一套强激光武器在研制费用上是无法比拟的,但通用达到致盲、致眩敌武器系统光电传感器,降低该武器系统作战效能的作用。

对投掷式近距离攻击的光学弹药,一般以致眩

5. 这种呆傻中微子的质量相当大,有人猜测它的静止能量可能达到几个或几十个 GeV。(彭文第七节第九段)

这句话的物理含义是不正确的。联系上下文可知,“这种呆傻中微子”意指用于解释 LSND 实验而被理论家引入的惰性中微子。注意 LSND 中微子振荡的质量平方差是在 1eV^2 量级,而大气和太阳中微子振荡的质量平方差都远低于此量级。由于活性中微子的静止质量都很小,最大不超过几个 eV(否则会引起宇宙学上的困难),其中之一与惰性中微子质量构成的 1eV^2 量级的平方差意味着该惰性中微子的静止质量最大不会超过几个 eV。因而,为同时解释太阳、大气和 LSND 中微子振荡实验所引入的惰性中微子必定很轻,其质量不可能达到彭文所说的几个或几十个 GeV。事实上,目前的中微子振荡实验基本都不支持惰性中微子的存在。LSND 实验本身是否正确,有待费米实验室的 MiniBOONE 实验的检验。

手榴弹为主,主要攻击目标是敌方作战人员,与激光致盲枪相比,激光致盲枪使敌方作战人员造成永久性损伤,是将被禁止使用的武器之一。但这种光学弹药则仅仅使敌方作战人员短期内失去视觉能力,几分钟后可恢复正常,具有较佳军事应用价值,战术应用像任何投掷式武器应用一样灵活。

光学弹药的作战功能是干扰敌方作战平台的“眼睛”,使敌方作战平台看不见我方目标,有效降低敌方作战平台的作战效能,具有远距离纵深作战、战术应用灵活和研制成本低等优势,因此具有更高的军事实用价值和更广泛的军事应用前景。

