

太阳中微子失踪问题

金炳年 唐孝威

万物生长靠太阳，太阳给我们带来了白天的光明和温暖，太阳给我们提供了取之不尽、用之不竭的能源。太阳和我们的关系这样密切，很显然，认识和掌握它的运动规律是十分重要的。

太阳离地球相当远，它的温度又很高，一般很难直接靠近它。但人们在实践中还是找到了克服困难的方法：通过观察、测量太阳发射的各种不同能量的光子（光学天文

接了解太阳内部的情况呢？这里存在着很大困难。但“世上无难事，只要肯登攀。”世界上只有现在还不了解的东西，但没有不可了解的东西。随着科学的发展，人们终于找到了可以了解太阳内部秘密的途径——观察、测量太阳中微子。中微子具有很大的穿透本领，太阳内部核反应产生的中微子几乎丝毫不受阻挡地穿出太阳，并给我们带来了太阳内部的情报。

从1955年开始，就有人着手测量太阳中微子。经过十八年的努力，到1973年所得到的结果，使我们对太阳内部的了解前进了一步。但前进的道路并不平坦，又遇到了新问题——测量结果与现有的理论预估差别较大。当然，这并不奇怪，因为我们对太阳和中微子等的认识本来就很不完善。可是问题到底在那里呢？近几年来，这个问题引起了天文和物理等方面科学工作者的注意，并进行了广泛的讨论。讨论不

仅涉及天体物理、原子核物理和“基本”粒子物理等学科，并触及恒星内部热核反应进行的方式、恒星演化、轻核结构和中微子特性等根本问题。问题至今没有比较明确的答案，这里对太阳中微子问题的情况作一些简单介绍，便于大家了解。

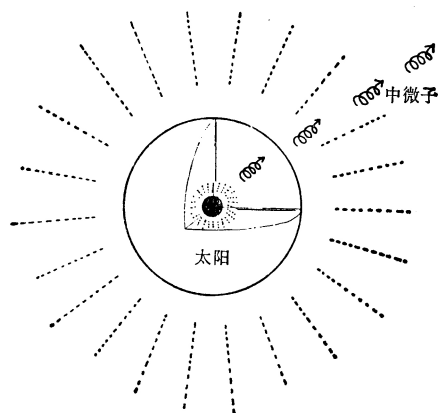
中微子也是一

种“基本”粒子，它的最大特点是既不参与强相互作用，也不参与电磁相互作用，只参与弱相互作用，因此它可以毫不困难地穿过整个地球，甚至穿过整个太阳也只需几秒钟。正因为中微子不容易和别的物质发生相互作用，所以探测它也特别困难。进一步的研究还发现，中微子事实上有两种，一种叫电子中微子 ν_e ，一种叫 μ 中微子 ν_μ 。这里要介绍的太阳中微子是 ν_e 。

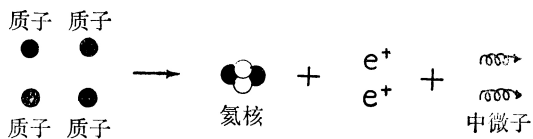
太阳中微子是从那里来的呢？它和太阳能量释放的过程有着密切的联系。我们知道太阳每时每刻都在放出巨大的能量，地球接受的太阳能仅占二十亿分之一。但这仍然是一个相当大的量，它相当于全世界现有发电总功率的十万倍，又相当于平均每秒爆炸五十个百万吨当量的氢弹。太阳上这种巨大的能量是从那里来的呢？近代天体物理的研究告诉我们，如此巨大的能量只能来自太阳内部的热核反应，即在太阳内部高温、高压、高密度的条件下由四个氢核经过一些反应聚合为氦核并放出大量能量的过程，可用反应式

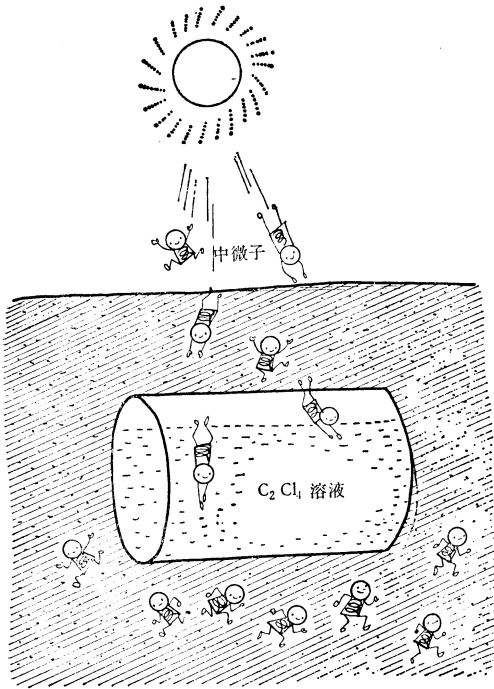
$4 \text{ 氢核} \rightarrow \text{氦核} + 2 \text{ 正电子} + 2 \nu_e$ 。
来表示。这个反应实际上是一系列反应的总和，每形成一个氦核，可放出二十五个兆电子伏的能量。同时还放出两个正电子和两个电子中微子 ν_e 。

实际观察告诉我们，就整体来说，目前太阳处在相对稳定状态，因此太阳内部热核反应放出的能量应该等于太阳表面的辐射能量（否则太阳的温度就要发生变化，就不是稳定状态了）。如果忽略中微子本身带走的能量，按照上面说的反应，就可以从测得的太阳放出的能量，估



测量和射电天文测量)，了解了很多太阳的运动情况。光子虽然很容易穿过星际空间，但在太阳内部，由于物质的阻挡，光子不能直接跑出来。它不断地与电子碰撞，不断地改变前进方向，走的路径是非常曲折的，要经过大约一千万年，才能从太阳的核心跑到太阳的表面。所以，光子只能帮助我们直接了解太阳的表面情况，再按理论模型间接地推测一些太阳内部的情况。怎样才能直





算出太阳内部的热核反应大约每秒聚合 10^{38} 个氢核，也就是每秒应放出 2×10^{38} 个电子中微子。如果中微子在穿出太阳和飞向地球的过程中不受损失，那末在地球正对着太阳的表面上，每平方厘米的面积每秒应接受 7×10^{10} 个电子中微子。

这大量的太阳中微子给我们带来了太阳内部的信息，但是怎样去探测它们呢？

目前采用的比较有效的探测方法是用大量的四氯化二碳 (C_2Cl_4) 液体放在一个大钢箱内。四氯化二碳的氯元素中含有氯 37 (氯 37 是氯的一种同位素)，它能够吸收电子中微子 ν_e ，放出电子，自己变成氩 37 (氩 37 是氩的一种放射性同位素)。

$Cl\ 37 + \nu_e \rightarrow e^- + Ar\ 37$
再利用氩 37 带有放射性，可以通过探测放射性的办法来判断有多少氩 37 产生，倒推回去，就可以判断有多少个电子中微子 ν_e 进入了四氯化二碳中。

这里利用四氯化二碳是因为自然界的氯元素中同位素氯 37 的含

量较多，大约 24.6%；还因为即使能量不太高的电子中微子 ν_e 也能被氯 37 吸收，并放出电子；而且氯 37 的平均寿命较长，半衰期为 35 天，比较容易探测。

探测的结果如何呢？结果是理论和实验发生了矛盾！当然，我们目前对太阳内部的构造并不十分清楚，只能建立一些模型，根据不同的太阳模型算出来的理论值（理论上应产生多少个氯 37 原子核）是不一样的。但是有一个前提，就是任何一个模型都必须在太阳的质量、半径和亮度等方面和实际情况相符。令人迷惑不解的是，按照满

足这个前提的一些太阳模型来计算，算出来的电子中微子的数目却远远比实验上观测到的多，有的多 10 倍，有的甚至几十倍。这就是说，实际太阳中微子数目比解释太阳热核反应所估计的太阳中微子数目要少得多。那末，大量的太阳中微子到那里去了呢？如果说太阳中微子实际上就是少的话，又怎样解释太阳的能量呢？这就是近几年来引起普遍注意的“中微子失踪案”。

对这个矛盾曾经有不少人从核物理、天体物理和中微子物理等方面进行过探讨。归纳起来不外两个方面：①由于某种原因太阳内部并不象理论预估那样，产生那么多的中微子。②虽然太阳内部产生了足够多的中微子，但由于某种原因它们在到达地球表面之前损失了一部分。

在核物理方面，刚才说过，四个氢核聚合成一个氦核，并放出正电子和中微子的过程是一系列核反应的总

和，其中大部分都是热核反应，与温度关系密切，有的反应率甚至随太阳内部温度的七次方，甚至二十次方而变化。因此有人猜想有可能是对某些热核反应率估计过低，认为太阳模型中的温度还可以稍稍下降些，从而可以减少中微子的产生。但这只是一种猜测，说服力并不强。

在天体物理方面，有人设想太阳内部可能有一个高速旋转的核心或有强磁场存在，并进行了大量的模型计算，但结果表明，无论那种模型，有转动的或不转动的，有对流或无对流的，算出来的中微子数都比实验看到的大好几倍。

也有人猜想大量的太阳中微子在到达地球之前就衰变了，变成另一种中微子，因而不能被氯 37 所吸收。但是这种猜想已在理论上和实验上被否定。还有人设想中微子有微小的磁矩，能够与电子发生电磁相互作用，从而损失很多能量，以致不能被氯 37 吸收。但中微子有磁矩的设想也是没有实验根据的。另外还有人猜想中微子有一种比弱相互作用强，比电磁相互作用弱的力，可是这种想法也是没有实验根据的。

我们可以看到，所有这些解释都没有充分的说服力。这种情况恰好反映出来我们对太阳内部情况和中微子的性质了解很不足。到底矛盾的原因何在，必须通过进一步的科学实验的实践去探索，才能弄清楚。太阳中微子问题的解决对于了解太阳能源问题、恒星演化问题和中微子性质问题都有重要意义。

