

和 2002 年诺贝尔物理学奖有关的一段史实*

何景棠

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

摘要 文章叙述了和 2002 年诺贝尔物理学奖有关的一段史实,人们可以从中获得有益的启示.

关键词 诺贝尔物理学奖,太阳中微子丢失,超新星中微子,大气 μ 中微子振荡

A historical incident related to the 2002 Nobel Physics Prize

HE Jing-Tang

(Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract A historical incident in connection with the 2002 Nobel Physics Prize is related from which we may gain valuable enlightenment.

Key words Nobel Prize, solar neutrino missing, supernova neutrino, atmospheric μ neutrino oscillation

诺贝尔奖委员会决定把 2002 年诺贝尔物理学奖的一半授予美国的 Davis R 和日本的 Koshiba M, 以表彰他们分别在探测太阳中微子丢失, 探测超新星中微子和发现大气 μ 中微子振荡^[1-3]等方面所作出的卓越贡献. 这些获奖成果所涉及的物理现象表明, 中微子是有质量的. 这是超出粒子物理标准模型理论的. 粒子物理标准模型理论认为中微子是没有质量的. 因此, Davis R 和 Koshiba M 的发现是粒子物理发展史上的一个里程碑.

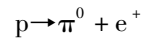
历史上, Koshiba 曾经计划与中国合作, 在中国建造大型水契伦柯夫探测装置, 在中国进行他的实验.

20 世纪 70 年代末, 德国在汉堡 DESY 建造了束流能量约为 20GeV 的电子-正电子对撞机 PETRA. 有五台探测装置工作在 PETRA 上, 它们是 CELLO, JADE, Mark-J, PLUTTO 和 TASSO. 唐孝威当时受丁肇中先生的邀请, 带领一个中国小组参加丁肇中先生领导的 Mark-J 国际合作组工作. 而 Koshiba 则参加 JADE 国际合作组工作. 唐孝威在德国汉堡的 DESY 认识了 Koshiba.

唐孝威对 Mark-J 探测装置提出过改进方案, 他领导的中国组在建造 Mark-J 探测装置和进行实验测量, 以及在 Mark-J 组通过在高能电子-正电子对撞产生三喷柱而证明胶子存在的实验中作出了贡献. 那时, 他还考虑从德国回国后要在中国建立粒

子物理实验基地, 开展粒子物理实验研究. 经过大量的调查研究, 他认为质子衰变实验是世界一流的重要实验.

质子衰变是粒子物理大统一理论(把强相互作用, 电磁相互作用和弱相互作用统一起来的理论)所预言的. 大统一理论认为, 强子数不守恒, 轻子数也不守恒, 质子可以产生如下衰变:



理论预言, 质子衰变的寿命为 $10^{32 \pm 2}$ 年.

要探测质子衰变, 必须满足如下条件:

首先, 探测器本身必须质量很大, 以便包含足够数量的核子. 例如 1×10^3 t 水含有 6×10^{32} 个核子. 如果质子衰变寿命为 10^{32} 年, 采用 1×10^3 t 水作为探测器, 假设探测效率为 100%, 那么 1×10^3 t 水的探测器, 每年可以探测到 6 个质子衰变事例.

因为质子衰变最大的几率是产生 π^0 和 e^+ , π^0 随后衰变为 2γ , 所以质子衰变最终产物是两个高能 γ 光子加上一个高能正电子. 高能正电子和 γ 光子穿过水时会产生契伦柯夫光. 如果在探测器外层布置一层光电倍增管, 光电倍增管会记录到一个契伦柯夫光的圆环. 测量圆环的半径就可知道契伦柯夫光发射的夹角, 从而定出正电子或 γ 射线的能量. 质子的质量约为 1GeV, 所以质子衰变产物的总能量

* 2003-03-04 收到

应该等于质子的质量,约为 1GeV 。

其次,为了减低宇宙线粒子穿过探测器时造成的本底,探测器必须放在地下,由探测器顶上的岩石把宇宙线粒子吸收掉,使探测器在本底极低的条件下,寻找是否有质子衰变的稀有事例。

唐孝威于 1979 年 9 月从德国汉堡回国。此时, Koshiba 也回到了日本。他们两人都对质子衰变实验十分感兴趣。两人经过多次通信联系,讨论了实验方案,建议中日两国合作,共同建造大型水契伦柯夫探测装置,内装 3000—5000t 纯水。按乐观的理论预言,每年可以探测到 10 个到 30 个质子衰变事例。

由于日本是一个多地震的岛国,没有合适的高山深洞,而在中国西部,几千米高的群山到处都是,因此共同建议,中国负责寻找合适的山洞,进行深洞实验室的建设,配备水电运行条件,提供 3000—5000t 纯水,而日本主要负责用于契伦柯夫光信号读出装置的约 1000 个光电倍增管及相关的电子学设备,实验是在中国进行。中方经费由唐孝威向中国政府申请,日方经费由 Koshiba 向日本政府申请, Koshiba 还希望唐孝威支持他向日本文部省申请经费。

唐孝威在初步确定建造大型水契伦柯夫探测装置的实验方案和初步调查国内山洞的条件之后,便向当时的中国科学院高能物理研究所张文裕所长作了详细汇报。张文裕是国际知名的粒子物理学家和宇宙线实验物理学家。他认为建造大型水契伦柯夫探测装置进行质子衰变实验是当时世界一流的重要实验。如果探测到质子衰变事例,便是粒子物理发展史上一个重大成果,如果探测不到质子衰变,这个大型水契伦柯夫探测器用于宇宙线研究,肯定会有许多副产品,所以张文裕所长对唐孝威与 Koshiba 初步商定的方案表示大力支持。

因为这件事涉及国际合作,所以唐孝威就向中国科学院写了专门的报告,争取中国科学院的支持,进行立项。按当时中国的经济情况,中国科学院完全有能力支持这一中日合作建造大型水契伦柯夫探测装置的建议。

那时,在张文裕所长的大力支持下,唐孝威带了年轻人亲自到西部山区及四川铁路沿线寻找合适的山洞,初步找到了几个候选地点。但是,当唐孝威从四川找山洞回到北京后,得到中国科学院的答复却是不支持。在得到这个答复之后,唐孝威只好给 Koshiba 写信,表示遗憾与歉意,表明虽然他作了许多准备工作,但是因为得不到经费支持,合作计划只好作罢。

由于当时中国科学院有关领导不支持中日合作在中国建造大型水契伦柯夫探测装置,中国科学家无法参加这一计划。Koshiba 被迫在日本领导他的实验组单独进行他的实验。

日本没有高山, Koshiba 在神冈町找到了一个废弃的砒(砒霜)矿井。在 80 年代初, Koshiba 领导他的实验组在日本神冈建造了 Kamiokande 大型水契伦柯夫探测器, Kamiokande 实验就在废弃的砒霜矿井中进行。后来,有美国科学家参观 Kamiokande 实验后私下说,像这样的废弃砒霜矿井,按美国的环保标准,被认为是污染严重超标,是不许人进入的。可是,就是在这样的恶劣环境下, Koshiba 领导他的实验组作出了获得诺贝尔物理学奖的成果。

首先, Koshiba 领导他的 Kamiokande 实验组,用大型水契伦柯夫探测器证实存在太阳中微子丢失现象。其次,在 1987 年 2 月 23 日, Koshiba 领导的 Kamiokande 实验组记录到来自 SN1987a 超新星爆发产生的超新星中微子事例。自中国的宋朝(1054 年)记录到蟹状星云超新星爆发以后,地球平均大约每 100 年记录到一次超新星爆发(地球上看不到宇宙中离地球太远的超新星爆发)。因此,记录超新星爆发是百年一遇的机会。有句名言:机遇只青睐有准备的人。Koshiba 就碰上了这百年一遇的机会。再者,在 80 年代末, Koshiba 领导他的实验组在日本神冈建造 Super-Kamiokande 巨型水契伦柯夫探测器,简称超神冈探测装置。从 90 年代初到 90 年代末,经过数年的数据积累,于 1998 年,在世界中微子大会上, Koshiba 报告了他领导的超神冈探测装置最主要的成果:探测到大气 μ 中微子丢失和证实 μ 中微子存在振荡现象,表明电子中微子似乎无振荡效应,而 μ 中微子存在振荡效应, μ 中微子主要振荡变成 τ 中微子,且给出 $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ 振荡参数的最佳拟合值。

Koshiba 领导他的实验组在日本神冈建造 Kamiokande 大型水契伦柯夫探测器和超神冈巨型水契伦柯夫探测装置的初衷是寻找质子衰变事例。虽然到目前为止,他们没有找到可靠的质子衰变事例,但是他们利用大型水契伦柯夫探测器,证实存在太阳中微子丢失现象,记录到来自 SN1987a 超新星爆发产生的超新星中微子事例,利用巨型水契伦柯夫探测器,探测到大气 μ 中微子丢失和 μ 中微子存在振荡现象,从而获得了 2002 年诺贝尔物理学奖。

总结多年实验事实而发展起来的粒子物理标准模型认为,中微子的质量为零,在相互作用中轻子数守恒,中微子不会从一种类型变成另一种类型。现在

从太阳中微子丢失,超新星中微子事例以及大气 μ 中微子丢失和证实 μ 中微子存在振荡现象,表明存在中微子振荡,表明中微子具有质量,可以从一种类型中微子变成其他类型的中微子,表明轻子数不守恒,这就超出了粒子物理标准模型,说明粒子物理的标准模型需要完善与发展,这将推动粒子物理进一步发展。

宇宙学的实验研究表明,90% 以上的宇宙质量是暗物质。由于中微子充满整个宇宙,有质量的中微子是宇宙暗物质的候选者之一。对宇宙演化的理论发展具有重要意义。

如果当时的中国科学院的有关领导能有远见地支持中日合作在中国建造大型水契伦柯夫探测装置,实验能在中国进行,那么,从 1979 年奋斗到现在,中国人也许有可能问鼎 2002 年诺贝尔物理学奖。我们可以从 2002 年诺贝尔物理学奖与中国人擦肩而过得到什么启示呢?这一事件表明中国人是有潜力在中国的土地上获得诺贝尔奖的。中国人有好

的物理思想,好的实验方案,好的高山深洞地理条件,但是由于得不到有关领导的支持,从而失去了一次为世界科学发展作出重大贡献的机会。

最近几年,一些科技部门的领导者和科学史学家提出和思考一个问题:从 1949 年新中国成立以来,50 多年过去了,为什么在中国的土地上没有人获得诺贝尔奖?本人把 1979 年发生的唐孝威与 Koshiba 讨论中日合作在中国建造大型水契伦柯夫探测装置的故事写出来,有关科技部门的领导者、决策者和科学史学家或许可以从 2002 年诺贝尔物理学奖与中国人擦肩而过这一事件中得到他们各自的启示。

参 考 文 献

- [1] Jr Davis R *et al.* Phys. Rev. Lett. ,1968 20(21) :1205
 [2] Hirata K S *et al.* Phys. Lett. ,1989 220B(1—2) 308
 [3] Allison W W M *et al.* Phys. Lett. ,1999 449B(1—2) :137

· 物理新闻与动态 ·

低维材料的热导率

一根导热棒,如果在它的两端存在温差,便会有热量从高温端流向低温端。这种能量在固体中的传输,不是沿着棒按照直线路径完成的,其间,导热声子将遭遇到频繁的碰撞,从而产生热阻。表征材料导热性能的物理量是热导率 κ [单位是 $W/(m \cdot K)$],而传输的热流密度 j_Q (W/m^2)与温度梯度成正比,即 $j_Q = -\kappa dT/dX$ 。如果声子在传输过程中不经历散射,则不论导热棒多长 j_Q 将不依赖于温度梯度,而仅仅取决于两端的温差。

引入声子平均自由程 l ,经典理论给出 $\kappa = (1/3)Cvl$,其中 C 是单位体积材料的热容 v 是声子的平均速度。在低温下,对于无杂质缺陷的完善晶体,声子主要受样品的边界散射, l 与导热棒的横向尺寸(如棒的直径)相当。在高温下 l 取决于导热声子与其他声子的碰撞,温度超高,激发的声子总数越多,碰撞越频繁,结果 κ 越低。

以上规律对于三维晶体是普遍正确的。那么,它是否适用于低维材料(如纳米线或 DNA 分子)呢?对于单壁碳纳米管的实验表明,它的热导率非常高,这一现象不可能从上述平均自由程的角度加以解释。最近,来自印度科学研究所(Bangalore)的 Narayan 等以一个独特的流体模型研究了低维导热中的反常现象(Physics Review Letters, 2003 89 200601)。他们考虑流体中质量、动量和能量密度的空间分布随时间的变化,对模型给出分析解,并预言:一维系统的热导率随长度 L 的增加而发散,即 $\kappa \propto L^{1/3}$,对于二维系统 κ 随特征长度的发散较弱,即 $\kappa \propto \log L$;在三维情况下,上述反常将行为消失。

以流体来模拟低维晶体,看上去并无充分的道理。然而,历史上以声子描述固体中晶格振动,正是基于相互作用声子与流体中粒子的相似性。专家预言,有关研究的进一步深入将有助于对其他系统的理解,如各向异性晶体、磁链、聚合物以及半导体薄膜等,如果未来的实验能够证实,碳纳米管的热导率果真随长度的增加而增加,这种材料在微电子器件中的应用前景将更加光明。

(中国科学院理化技术研究所 戴闻 编译自 Nature, 2003 421 327)