

# 物理学史中的七月



2000年7月21日：美国费米实验室宣布  
第一个 $\tau$ 中微子的直接证据

(译自 *APS News*, 2011年7月)

萧如珀 杨信男 译

20世纪美国伟大作家厄普代克(John Updike, 1932~2009)在他1960年的诗《宇宙之胆》(Cosmic Gall)中这样写道：“中微子，极其细小，它们既不带电荷，也无质量，和物质完全没有相互作用。”中微子在当时是相当新的发现，之后的两年，物理学家渐渐开始了解这个神秘的“幽灵粒子”，例如他们发现，中微子不只一种，而物理学家往后花了40年才将它们全部找到。

泡利(Wolfgang Pauli)最先于1930年提出中微子的存在，当时他正研究 $\beta$ 放射线衰变的难题，其中一个电子从原子核被放射出去后，有些原先的能量似乎消失不见了。他假设说，为了要符合能量守恒定律，有可能也同时放射出一个尚未探测出的中性粒子，这样才能说明消失的能量。

泡利不愿意就这不寻常的假设发表论文，但他写了一封信给正参加12月在德国图宾根(Tübingen)开会的一群知名核物理学家，请求他们提供在实验上探测此粒子的想法。他写道：“我今天做了一件不妥的事，提出一个无法探测到的粒子之想法，这是理论学家不应该做的。”他说明他的想法是“一个绝望的补救办法”。

费米(Enrico Fermi)是认真思考泡利想法的物理学家之一，他于1934年进一步发展出 $\beta$ 衰变的理论，并造了一个新名字“neutrino”(小的中子)。很显然，如果有这么一种粒子存在的话，它一定是非



泡利最先提出中微子的假设

常轻，约只有质子质量的1%，和物质的相互作用也非常微弱，所以很难探测到。然而在1956年，柯温(Clyde Cowan)和莱因斯(Frederick Reines)成功探测到了，他们发了一个电报给泡利，告诉泡利他们的发现。泡利回送一个电报说：“谢谢来电报，懂得等待的人可以获致任何的成果。”

泡利于两年半后过世，因此来不及看到1962年第二代名为 $\mu$ 中微子的发现。 $\mu$ 中微子对应于带电荷的 $\mu$ 轻子，后者让1944年获得诺贝尔奖的拉比(Isidor Isaac Rabi)惊呼：“这是谁的安

排？”1975年发现了第三代的带电荷 $\tau$ 轻子，其后的实验都强烈暗示说，应该也会有第三代的中微子。欧洲核子研究中心(CERN)的科学家于1989年发现了 $\tau$ 中微子存在更进一步的证据，不过，自 $\tau$ 发现后，在科技上实际能直接探测到它的中微子则已是25年之后了。

20世纪90年代，美国费米实验室设计出直接观测 $\tau$ 中微子(Direct Observation of the NU Tau, DONUT)的实验，专为寻找 $\tau$ 中微子的相互作用。科学家们使用正负质子对撞机(Tevatron)来产生强烈的中微子束流，预计如此至少能产生一些 $\tau$ 中微子。在布置好精确的磁、铁和水泥系统，尽可能地减少背景粒子后，将中微子束射向3英尺长的固定靶：铁板间排着中间涂上特殊乳胶的层片。

那些乳胶层会捕捉到极其稀少(大约1兆分之

一) 因  $\tau$  中微子交互作用而产生的任一带电荷粒子的踪迹, 经由闪烁器电子记录下来。之后, 将这些乳胶冲洗显影, 科学家可以据此分析这些数据, 寻找出现明显带有急折的轨迹, 显示其为  $\tau$  中微子和原子核相互作用结果的  $\tau$  轻子。确切地说, 他们只是依序连结那些点, 那些粒子通过时留下的小黑点, 连结后即可回溯粒子行经的途径。

在 1997 年所做的实验后, 科学家花了 3 年时间, 费心分析, 研究所有的数据, 从约 6 百万个具特征的信号中过滤出 1000 件可能的事例。2000 年 7 月 21 日, 直接观测  $\tau$  中微子 (DONUT) 合作计划的科学家宣称, 他们已经确认 4 个  $\tau$  中微子和原子核相互作用的信号。这个实验也确认了几个可以探测中微子的新技术, 其中最特别的是乳胶云室, 它可以大幅提高可观察到的中微子相互作用的数目。

1988 年, 莱德曼 (Leon Lederman) 和斯坦伯格 (Jack Steinberger), 以及施瓦茨 (Melvin Schwartz) 因发现  $\mu$  中微子而同获诺贝尔物理学奖, 他说, 发现  $\tau$  中微子的成就是“一个重要且等待已久的成果, 因为投入了巨大的努力在研究中微子间的相关性, 所以重要; 因为从 25 年前发现  $\tau$  轻子, 到现在期待已久的结果终于出现了, 真的等了很久。”

物理学家仍继续研究的问题之一是, 中微子是否可能有一点点质量, 当它们行经宇宙间时是否会振荡, 会随时间而改变其味, 例如,  $\mu$  中微子是否可能经由振荡而变成  $\tau$  中微子?

上面的问题于 2010 年得到了确切肯定的答案。在意大利格兰萨索国家实验室 (Gran Sasso National Laboratory) 做实验的 OPERA 团队科学家报导说,



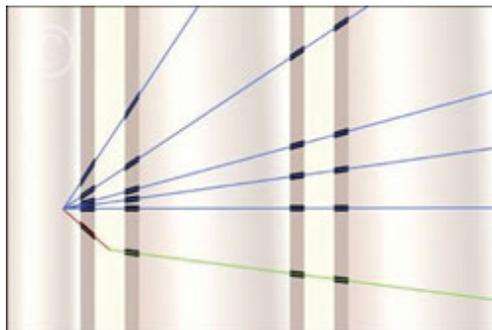
## 科苑快讯

### 不协调的行星伴侣

开普勒-36b 和开普勒-36c 距离很近, 二者围绕恒星开普勒-36a 运转的轨道只相距 190 万千米, 它们距地球 1200 光年。这是迄今为止观测到的距离最近的两颗行星, 比太阳系相距最近的金星和水星还近 20 倍, 仅是地球与月球间距的 5 倍。

开普勒-36b 是与地球类似的岩石行星, 质量却是地球的 4.5 倍以上。其同伴 (想象图中开普勒-36b 上空的星球) 则是与海王星体量相当的巨型气体行星, 成分主要是氢气、氦气和水。大小、成分如此悬殊的行星距离一般不会太近, 不过这对不太般配

他们已经在邻近 CERN 所产生的数十亿个  $\mu$  中微子流中, 找到 4 个明显的  $\tau$  中微子特性的粒子——这是第一次直接观察到中微子从一种型态转变成另一种。实验仍持续着, 以期更进一步探讨此现象, 并可能以之确定中微子的具体质量。



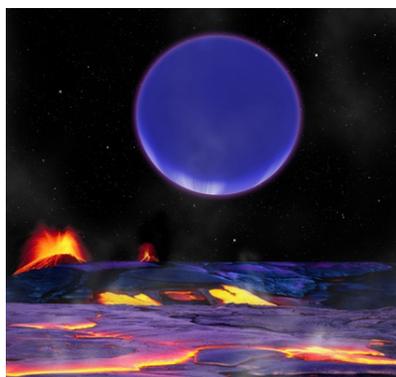
直接观测  $\tau$  中微子 (DONUT) 实验所记录的  $\tau$  中微子事例

由于发现了  $\tau$  中微子, 现在只剩下一种粒子, 即难以理解的希格斯玻色子 (Higgs boson) 尚待被发现<sup>①</sup>, 即可完成粒子物理学的标准模型。费米实验室即将退役的正负质子对撞机 (Tevatron) 正和时间赛跑, 和 CERN 的大型强子对撞机 (Large Hadron Collider) 竞争, 要再做一次重要的发现, 可以宣示粒子物理新时代的来临。

(本文转载自 2012 年 8 月《物理双月刊》, 网址: <http://psroc.phys.ntu.edu.tw/bimonth/index.php>; 萧如珀, 自由业; 杨信男, 台湾大学物理系, Email: [snyang@phys.ntu.edu.tw](mailto:snyang@phys.ntu.edu.tw))

① 2012 年 7 月 4 日, CERN 的两个研究团队宣布, 他们分别探测到质量为 125~127GeV 的新粒子, 极像希格斯玻色子, 但仍有待物理学家更进一步研究证实是否即是希格斯玻色子。

的行星伴侣却没有相撞的危险。



(高凌云编译自 2012 年 6 月 21 日 [www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org))