

快报

中微子质量与 SN1987A 中微子积分谱

霍安祥 黄无量 孙欣新

(中国科学院高能物理研究所,北京)

摘 要

由 SN1987A 超新星爆发的中微子事例可导出其积分能谱,且可用指数谱来拟合,其 kT 值约为 4.2 MeV, 相应于原初质量 $\geq 10 M_{\odot}$ 的超新星爆发. 因中微子具有静质量而引起的中微子事例发射时序的明显变化, 可初步判断电子中微子质量不大于 10 eV.

一、积分能谱

日本 Kamiokande-II^[1] 和美国 IMB^[2] 分别报导了 SN1987A 超新星爆发时记录到的中微子信号,前者记录的有效中微子事例为 11 个,后者为 8 个,这些事例很可能全部都是反中微子事例,在探测器内表现为 $\bar{\nu}_e p \rightarrow e^+ n$ 反应. 利用实验测定的电子能量和角度,不难得到中微子到达地表时的能量 E_{ν} ; 不同能量的中微子有不同的反应截面 $\sigma(\sigma \propto E_{\nu}^2)$, 不同的探测器有不同的触发效率和阈值,因此由 [1、2] 的实验结果经具体校正后,可以得到 SN1987A 发射的中微子到达地表时所具有的积分能谱 $N(E) \equiv N(E_{\nu} > E)$, 该能谱反映着在超新星爆发的短暂过程中进入探测器的、能量 $E_{\nu} > E$ 的中微子总粒子数.

求解 $N(E)$ 时,我们以 [1] 的数据为准,在剔除 [1] 中能量 $E_{\nu} > 35$ MeV 的一个事例后,所得 $N(E)$ 值可以用 $N(E) \sim e^{-\frac{E}{kT}}$ 来拟合,其中 $kT = 4.2 \pm 2.0$ MeV. 这说明地面接收到的中微子来自一个温度极高的区域,在该区域内中微子处于准热平衡态;而且在接收到中微子信号的短暂时刻内(约 10 秒左右),中微子源区的温度无明显变化.

二、中微子质量

如果中微子有静质量 m_{ν} , 那么对不同的 m_{ν} 值,用 [1] 实测的接收中微子事例的时序来导出的源区发射中微子的时序将十分不同;另外,若探测器接收中微子信号共持续了 Δt 时间,那么源区发射中微子的相应持续时间应变为 Δt^* , 对于不同的 m_{ν} 值相应有不同的 Δt^* 值.

仿照 [3] 的处理方法,我们可以按发射时序构作粒子数 N 关于时间的积分谱

$$N(t) \equiv N(t_{\nu} < t),$$

其中 t_e 为某中微子发射时刻; 此外, 我们还可以按发射时序构作 $E_\nu \sim t$ 图. 当 $m_\nu = 0$ 时, 按 [1] 的实验结果, 可得 $N(t)$ 近似有 $N(t) \sim 1 - e^{-at}$ 形式, 这是合理的, 因为超新星的中微子爆发持续时间极短, $N(t)$ 值应很快趋于饱和; 当 $m_\nu = 0$, 按 [1], $E_\nu \sim t$ 实测图形具有双峰. 随着 m_ν 值的增大, $N(t) \sim t$ 逐渐偏离 $1 - e^{-at}$ 形式, $E_\nu \sim t$ 图也由双峰趋于单峰, 明显的转折发生在 $m_\nu \sim 10\text{eV}$ 附近; 此外, 当 $m_\nu > 10\text{eV}$ 时, 有 $\Delta t^* > \Delta t$, 这又是一种转折. 因此 ν_e 的质量很可能小于 10eV .

三、几点说明

(1) 单独对 [2] 的数据进行处理可以得到不太好的拟合: $N(E) \sim e^{-\frac{E}{kT}}$, $kT = 7.0\text{MeV}$; 在剔除 $E_\nu < 35\text{MeV}$ 的事例后, 拟合程度明显改善但 kT 值降至 2.7MeV . 此外, 我们还将 [1、2] 两组实验数据综合在一起, 得到 $N(E)$ 的指数拟合 kT 值约为 5.5MeV .

(2) 因 [1、2] 的实验装置不能测定 $E_\nu < 7\text{MeV}$ 的事例, 故 SN1987A 中微子低能端的能谱情况不明, 因此尚不能判定 $N(E)$ 是否近似为黑体谱或者近似为 Woosley 给出的谱形^[4]. 显然, 低能 ν 的测量是至关重要的. 如果将上述 kT 值与 [4] 中结果相比较 SN1987A 的原初质量应在 $10-25 M_\odot$ 之间 (M_\odot 是太阳的质量), 这个范围是比较合理的.

(3) 由此看来地表处测得的中微子能谱 kT 值(测量值)与源区的 kT 值(理论值)相近, 说明中微子在传播过程中与 SN1987A 的外壳以及星际介质的相互作用是次要的, 发射与传播过程中引力场的影响也可能是次要的.

参 考 文 献

- [1] Hirata, K. et al., *Phys. Rev. Lett.*, 58(1987), 1490.
- [2] Bionta, R. M. et al., *Phys. Rev. Lett.*, 58(1987), 1494.
- [3] Spiegel, D. N. et al., *Phys. Rev. Lett.*, April 28, 1987.
- [4] Woosley, S. E. et al., *Ap. J.* 302(1986), 19.

NEUTRINO MASS AND THE INTEGRATED NEUTRINO SPECTRA OF SN1987A

HUO AN-XIANG HUANG WU-LIANG SUN XIN-XIN
(*Institute of High Energy Physics, Academia Sinica, Beijing*)

ABSTRACT

From the SN1987A neutrino burst data, an integrated neutrino spectrum is deduced, which can be fitted by an exponent function, with kT of about 4.2MeV , corresponding to a primal mass $\gtrsim 10M_\odot$ of a supernova. If neutrino has a rest mass, the time order of neutrino emission is distinctively changed, from it we can primitively judge that the electron neutrino mass is less than 10eV .