

# Is the ANITA Anomaly Events the Result of Neutrinos Focusing on It?

Guowen Zhang

Wuhan hongshan district government office, Wuhan, Hubei

Email: gwz1000@sina.com

---

## Abstract

The Antarctic Impulse Transient Antenna (ANITA) has twice detected particles of up to  $10^{18}$  eV in energy, which were captured by ANITA after coming from the universe and passing through the earth. The standard model (SM) cannot explain the existence of such high-energy particles. In this paper, based on the theory of wave-particle duality and optics of neutrinos, we study the energy loss and momentum (rate) changes of solar neutrinos passing through the earth's core, and analyze the problems of refraction and focus caused by momentum changes, explain the unusually high energy events that ANITA detects. We show that the iron core of the earth may cause neutrinos to refract and focus on the Antarctic ice sheet, forming a high-energy beam of neutrinos that interact with the ice sheet, producing electromagnetic radiation. Our calculations show that neutrinos entering the core of the earth can focus on the Antarctic ice sheet when they interact with atoms in the core, with an energy loss of 64.57% and a refractive index of about 1.68, the focused neutrinos can reach a total energy of  $10^{17} - 10^{20}$  eV, and the result is equivalent to the energy of ANITA anomalous events.

## Keywords

Neutrinos, High-energy neutrinos, Neutrinos focusing, Earth's core lens, ANITA

---

## ANITA 异常事件是中微子聚焦的结果吗？

张国文

武汉市洪山区人民政府办公室，湖北，武汉

Email: gwz1000@sina.com

收稿日期：2018年10月20日；发布日期：2018年10月23日

## 摘要

南极脉冲瞬态天线(ANITA)两次探测到能量高达 $10^{18} eV$ 的粒子，它是来自宇宙并穿过地球后被 ANITA 捕捉到的，标准模型(SM)无法解释这种高能粒子的存在。在这里，我们利用中微子的波粒二象性和光学理论，研究了中微子在穿越地核时的能量损失及动量(速率)变化可能发生折射和聚焦的问题，对 ANITA 探测到的异常高能事件作出了解释。我们表明，地球铁核可能使中微子折射并聚焦到南极冰盖，形成高能量的中微子束，与冰盖发生作用，产生电磁辐射。计算表明，当入射地核的中微子与地核物质作用、其能量损失 64.57%、折射率约为 1.68 时，中微子能够聚焦于南极冰盖，聚焦的中微子总能量可达 $10^{17} - 10^{20} eV$ ，结果与 ANITA 异常事件能量相当。

## 关键词

中微子，高能中微子，地核透镜，中微子聚焦，ANITA

## 1. 引言

自 2006 年起，美国宇航局(NASA)在南极洲进行南极脉冲瞬态天线(ANITA)实验，利用高空氦气球搭载灵敏无线电探测仪器，检测来自宇宙的高能中微子与南极冰盖作用产生的无线电脉冲信号。自运行以来，南极脉冲瞬态天线(ANITA)两次探测到的能量高达 $10^{18} eV$ 的异常粒子[1,2,3]，说它异常，是因为它来自地球内部，而这么高能量的粒子不可能由地球产生，只能来自宇宙，所以，可以肯定它们是穿过整个地球后抵达南极冰盖的。这无法用粒子物理学标准模型(SM)进行解释，因为在标准模型中，只有低能中微子能够轻松穿过地球而不被吸收，但如此高能量的中微子不可能穿越地球而继续保持如此高的能量。于是有人试图用无菌中微子[4]和暗物质[5]等来解释这一异常事件，但这些解释依据的是没有被验证的非标准模型理论，因而没有得到人们的认可。本文中，我们在遵从标准模型的前提下，利用中微子的波粒二象性和光学理论，研究了太阳中微子穿越地核这个巨型透镜时发生折射和聚焦的问题，认为 ANITA 探测到的高能粒子异常事件可能是地核聚焦的中微子束所为，并给出了中微子聚焦南极冰盖的约束条件，计算了可能被聚焦的中微子束的总能量，结果与 ANITA 探

测到的高能异常事件基本相符。如果我们的研究得到进一步证实，那么对于中微子物理和地球物理研究，尤其是开辟中微子光学研究，将具有十分重要的意义。

## 2. 中微子的折射与聚焦

中微子具有波粒二象性，它们跟光一样也能波动，产生折射和聚焦现象。Y.M.Wei [6] 曾研究认为，太阳中微子会在地球内部发生折射和聚焦，但是他未就折射和聚焦的原因进行分析，只是猜测太阳中微子在地球内部的折射率可能大于 2。根据中微子振荡理论[7,8,9]，中微子在介质中传播，会与介质物质发生相互作用，其动量和速率等均会有所变化。由光学理论可知，光之所以会发生折射，是因为光在不同的介质中传播速率不同。因此，太阳中微子在穿过地球时，其相速变化必然导致中微子发生折射。只是如果这种相速变化不大，其折射率会很小。笔者[10,11,12]曾根据地球内部的物质相态和分层构造，推测太阳中微子在地球内部传播会将一部分能量传递给地球物质，这必然导致其能量、动量和速率的消减。但这一推测未得到证实。然而，有一种情况，则可导致部分中微子的能量、速率和动量明显减小，那就是太阳中微子在穿过地球时与地球的原子发生散射的中微子，这部分太阳中微子在穿越地球时必然会发生明显的折射。

地球是一个近似的球形透镜，但是由于中微子在地球内部传播的有效势取决于物质的密度和成分[8,9]，而地球内部物质的密度和成分各处不相同，同时中微子在不同的范围与物质的作用也会有差别，其速率、动量和能量的变化也不一样，所以中微子在地球内部不同之处的折射率也不一致。因此，将整个地球作为中微子的透镜，不可能使中微子产生聚焦。然而，假如把地核作为一个透镜，情况将完全不一样。因为地核基本由铁组成，其组成成分简单，密度也变化不大，中微子与铁质地核作用，产生相同的折射率的可能性则大大增加，从而能够形成聚焦。要使中微子聚焦在南极冰盖下（如图 1 所示），则要求地核这个球透镜的焦距( $f$ )等于地球的半径( $R$ )，即  $f=R$ 。设地核（球透镜）的半径为  $r$ ，中微子在地核中的折射率为  $n$ ，那么根据光学理论有：

$$f = \frac{nr}{2(n-1)^2} \quad (1)$$

将地球半径和地核半径数据，即  $f=R=6371\text{km}$ ,  $r=3471\text{km}$ , 代入 (1) 得  $n = 1.68$ 。

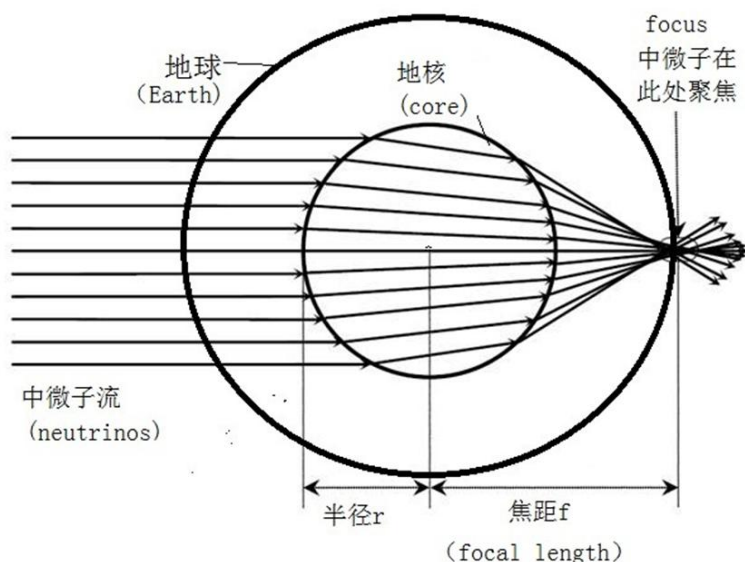


图 1 太阳中微子被地核聚焦示意图

Figure 1 Schematic diagram of solar neutrino focusing on the core of the earth

若太阳中微子从太空进入并穿越地球时，其速率从  $u_1$  变为  $u_2$ ，能量从  $E_{\nu_1} = h\nu_1$  变为  $E_{\nu_2} = h\nu_2$ ，同时由于中微子静止质量能量非常小，可以忽略不计，所以，根据折射定律，其光学折射率为：

$$n = \frac{u_1}{u_2} = \frac{m_{\nu_1} u_1}{m_{\nu_2} u_2} = \left( \frac{m_{\nu_1} u_1^2}{m_{\nu_2} u_2^2} \right)^{\frac{1}{2}} = \left( \frac{E_{\nu_1}}{E_{\nu_2}} \right)^{\frac{1}{2}} = \left( \frac{h\nu_1}{h\nu_2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

即中微子的折射率正比于其能量 ( $h\nu$ ) 的平方根。将  $n=1.68$  代入公式 (2)，得：

$$u_2 = 0.5952u_1, \quad E_{\nu_2} = \frac{E_{\nu_1}}{n^2} = \frac{E_{\nu_1}}{1.68^2} = 0.3543E_{\nu_1} \quad (3)$$

由此可知，太阳中微子穿过地球聚焦到南极地表附近，则其速率减小 40.48%，或其能量只有原来的 35.43%，也就是说，太阳中微子要损失 64.57% 的能量，才能聚焦在南极冰盖中。

### 3. 聚焦的中微子能量

中微子在地球中传播，因振荡而导致的速率变化很小，所以，中微子振荡产生的折射不可能形成聚焦。当然，在致密的物质（如地核）中，其速率变化可能大一些，但是没有证据证明中微子振荡能够导致显著的速率变化。因此，要使太阳中微子在地核中传播时，损失可观的能量而又不湮灭并形成聚焦，则只有散射中性流作用才能满足。考虑到中微子与核子散射的截面最大，这里我们只计算这种截面最大的散射。根据 Kippenhahn 和 Weigert[13]给出的

中微子与核子散射截面的近似公式：
$$\sigma_\nu \approx 10^{-44} \left( \frac{E_\nu}{m_e c^2} \right)^2 \text{cm}^2$$
，公式中， $E_\nu$  为中微子的能量， $m_e c^2$  为电子的质量能量约 511keV， $c$  为光速。地核的铁原子总数大约为：
$$N_{core} = W_{core} \cdot e_{Fe} N_A / g_{Fe} \approx 1.78 \times 10^{49}$$
 个，公式中  $W_{core} = 1.876 \times 10^{24} \text{kg}$  为地核质量， $N_A = 6.02 \times 10^{23}$  是阿伏伽德罗常数， $e_{Fe}$  和  $g_{Fe}$  分别为元素 Fe 的元素丰度值和克分子，分别为 88% 和 55.85（地核质量和元素丰度等采用黎彤的数据[14]）。因此，地核与太阳中微子发生散射（作用）的原子核数，或者说能够被聚焦的太阳中微子数为：
$$N_\nu = \sigma_\nu \cdot \phi \cdot N_{core}$$
，对于 pp 过程的太阳中微子，这个聚焦数为  $N_\nu = 9.73 \times 10^{14}$ 。聚焦到南极冰盖附近的太阳中微子束的总能量为：

$$E = \sigma_\nu \cdot \phi \cdot N_{core} \cdot E_{\nu_2} = 6.31 \times 10^4 \frac{\phi E_{\nu_1}^3}{(m_e c^2)^2} = 2.42 \times 10^{-7} \phi E_{\nu_1}^3 eV \tag{4}$$

根据公式（4），我们计算了 pp 等 4 个过程的太阳中微子在南极表面附近聚焦所达到的总能量（见表 1）。

过程	通量 $\phi (cm^{-2} \cdot s^{-1})^{[15]}$	中微子能量 $E_\nu (MeV)$	中微子束的总能量 E(eV)
pp	$5.94 \times 10^{10}$	$\leq 0.42$ , 平均 0.26	$2.53 \times 10^{20}$
pep	$7.88 \times 10^8$	1.4	$5.23 \times 10^{20}$
${}^7Be$	$4.86 \times 10^9$	90% 为 0.862	$6.50 \times 10^{20}$
${}^8B$	$5.82 \times 10^6$	$\leq 14.02$	$4.85 \times 10^{20}$

**表 1** 南极表面附近聚焦的太阳中微子束的总能量

**Table 1** The total energy of the solar neutrino beam near the surface of the Antarctic

从表 1 中计算结果可以看出，被聚焦的太阳中微子束的总能量在  $2.53 - 6.50 \times 10^{20} eV$ 。当然，除了太阳中微子，其他中微子，如地球中微子和超新星中微子等也可能被地核折射并聚焦于南极冰盖。这里，我们计算一下地球中微子被聚焦的情况。将地球中微子的通量  $\phi_{geo-\nu} \approx 2 \times 10^6 cm^{-2} s^{-1}$ ，作用截面  $\sigma_{geo-\nu} \approx 3.3 \times 10^{-44} cm^2$  和能量  $E_{geo-\nu} \approx 2 MeV$ （数据来源于文献 [16,17]）代入公式（3）和公式（4），得：

$$E' = \sigma_{geo-\nu} \cdot \phi_{geo-\nu} \cdot N_{core} \cdot 0.3543 E_{geo-\nu} = 4.67 \times 10^{17} eV$$

这个能量也接近 ANITA 探测到的射线能量，由此可见，ANITA 探测到的异常高能事件也有可能是地球中微子所为。

#### 4. 讨论

穿过地球的中微子中，通量最大的是太阳中微子，所以，我们倾向 ANITA 异常事件是太阳中微子聚焦的结果。计算表明，太阳中微子聚焦的总能量在  $10^{20} eV$  数量级，较 ANITA 探测的异常事件的能量高出约 2 个数量级。我们认为，造成这种差异的原因，是与地核中的原子核散射的太阳中微子不可能都损失 65.47% 的能量，也就是说折射率为 1.68 的中微子要大大少于参与散射作用的中微子。但是只要有大约 1% 与原子核散射的太阳中微子的折射率等于 1.68，它们就可以聚焦于南极冰盖，形成总能量为  $10^{18} eV$  的中微子束。

对于为什么 ANITA 对聚焦的中微子敏感，而南极冰立方中微子探测装置对聚焦中微子束不敏感的问题，我们的解释是，聚焦于南极冰盖的中微子形成的是聚焦点，而不是一条穿越冰盖的射线。这个聚焦点不论出现在南极冰立方的下方还是上方，冰立方中微子探测装置都无法探测到聚焦的中微子束产生的物理效应。而对于 ANITA 来说，只要中微子束与冰盖发生了剧烈作用，它都会接收到电磁脉冲信号。

再一个问题就是，中微子聚焦后形成的中微子束能否产生与高能粒子相同的剧烈物理效应？首先，我们讨论，聚焦的中微子束能否与冰盖物质作用，释放高能的亚原子粒子。如果聚焦的中微子能量较高，有许多中微子达到了将亚原子撞击出原子的阈能，那么亚原子被一个中微子撞出后，其他中微子将会继续撞击它，将能量传递给它，使被撞击出的亚原子快速加速到极高速度。这样，聚焦的中微子束产生的物理效应，就像单个粒子产生的。如果中微子的能量很低，都达不到撞击出亚原子粒子的阈能，那么由于聚焦的中微子数量特别多，根据隧道效应，也有可能撞击出亚原子粒子，并对其加速，形成极高速度的粒子。

当然，还有一个可能，ANITA 接收到的电磁辐射并非聚焦的中微子与冰盖物质的相互作用产生的带电粒子运动产生的，而是中微子自己运动产生的。中微子虽然不带电，但是如果它的质量不为零，那么它会有一个非零的磁矩，标准模型预言其值大约为  $3.2 \times 10^{-19} \mu_B$  ( $\mu_B$  为波尔磁子)。如果中微子是 Majorana 粒子，则其磁矩可能达  $10^{-10} - 10^{-13} \mu_B$  [18]。目前实验得到的结果是中微子磁矩  $\leq 3.9 \times 10^{-7} - 1.5 \times 10^{-10} \mu_B$  [19,20]。这么微弱的磁矩，与物质的作用效应是很难测量到的。但是，由于聚焦的太阳中微子数达  $10^{14}$  个，微弱的磁矩叠加后也会显示出明显的物理效应。所以，聚焦后的中微子在穿过冰层时，也会产生能够观测到的切伦科夫辐射。同时，这些聚焦的中微子可能是相干的，根据相干辐射理论[21]，一束  $N$  个中微子产生的总辐射等于所有单个中微子产生的辐射叠加，如果产生相干辐射，其辐射强度比非相干辐

射增加  $N$  倍，即相干辐射的强度与中微子数的平方 ( $N^2$ ) 成正比。并且，中微子束越紧密，在外界看来越像一个单独的粒子，其相干性也越强[22]。

最后需要指出的是，对于太阳中微子来说，太阳的直射点只在南北回归线之间移动，因此严格地讲，太阳中微子即使被地核聚焦，其焦点也应该在南北回归线之间，而不应该在南极。对此，我们认为，这可能是太阳的强磁场致使具有微弱磁矩[23,24]的中微子发生了偏转造成的。

## 5. 结论

中微子具有波粒二象性，当其在不同的介质中传播时，其有效势会发生变化，同时，因与介质物质作用，其能量和速率会明显消减，从而导致中微子折射或聚焦。地球的铁核可能是一个对中微子具有聚焦作用的巨大透镜，能够使某些损失的能量相同的中微子聚焦于一点，成为致密的中微子束，这种被聚焦的中微子束就像被透镜聚焦的阳光一样，具有极高能量，其产生的物理效应就像一个单独的粒子产生的效应一样。ANITA 异常事件很可能是被聚焦的中微子束所为。

## 参考文献(References)

- [1] P.W.Gorham, J.Nam, A.Romero-Wolf et al.Characteristics of Four Upward-pointing Cosmic-ray-like Events Observed with ANITA.Phys. Rev. Lett. 2016,117, 071101, arXiv:1603.05218 [astro-ph.HE].
- [2] T.Huege, Radio detection of cosmic ray air showers in the digital era. Phys. Rept.2016,620, 1.arXiv:1601.07426 [astro-ph.IM].
- [3] P. W. Gorham, B. Rotter, P. Allison, O. Banerjee, et al.Observation of an Unusual Upward-going Cosmic-ray-like Event in the Third Flight of ANITA.arXiv:1803.05088[astro-ph.HE].
- [4] Guo-yuan Huang.Sterile neutrinos as a possible explanation for the upward air shower events at ANITA.Phys. Rev.D 2018,98,043019 .arXiv:1804.05362
- [5] Luis A.Anchordoqui, Vernon Barger,J. Weiler.Upgoing ANITA events as evidence of the CPT symmetric universe.LHEP 1, 13, 2018.arXiv:1803.11554
- [6] Yanming Wei.Converged solar neutrinos heat outer core of Earth to liquid,2017.http://vixra.org/pdf/1704.0375v3.pdf
- [7] Wolfenstein, L. Phys. Rev. D 1978,17, 2369–2374 .
- [8] Mikheev S P,Smirnov A Y. Sov.J.Nucl.Phys . 1985,42:913
- [9] 曹俊,李玉峰.中微子振荡的发现及未来.物理,2015,44(12):787-794.
- [10]张国文, 中微子地球动力理论, 见中国地球物理学会年刊(1996), 北京: 中国建

材出版社, 1996, P314。

- [11] 张国文, 中微子地球演化说——探索地球起源与演化的奥秘, 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1999。
- [12] 张国文. 中微子与地球演化的能量来源 [J]. 汉斯预印本, 2018, 3(1): 1-4. <https://doi.org/10.12677/HANSPrePrints.2018.31010>
- [13] R Kippenhahn, A. Weigert. Stellar structure and evolution. [M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. 18. 1990.
- [14] 黎彤. 化学元素的地球丰度. 地球化学. 1976, 3: 167-173.
- [15] John N Bahcall and Carlos Peña-Garay, Solar models and solar neutrino oscillations. New Journal of Physics, 2004, 6 (1) :63.
- [16] Gianni Fiorentini, Marcello Lissia, Fabio Mantovani. Geo-neutrinos and earth's interior [J]. Physics Reports. 2007, 453 (5): 117-172. arXiv:0707.3203 [physics.geo-ph].
- [17] 韩然, 习宇飞. 地球中微子——把脉地球内部热量. 现代物理知识, 2015, 27(06): 43-46.
- [18] Particle Data Group, Physical Review, D66, 010001 (2002).
- [19] M. Voloshin, M. Vysotsky, L. Okun, Sov. J. Nucl. Phys. 1986, 44, 440.
- [20] M. Voloshin, M. Vysotsky, L. Okun, Sov. Phys. JETP 1986, 64, 446.
- [21] Suppression of coherent radiation by electrons in a synchrotron. J. S. Nodvick, D. S. Saxon. Physics Reviews. 1954, 96 (1) : 180-184
- [22] 黄为. 基于切伦科夫辐射的辐射源研究 [D]. 电子科技大学, 2014.
- [23] M. Agostini, K. Altenmüller, S. Appel, Limiting neutrino magnetic moments with Borexino Phase-II solar neutrino data. Phys. Rev. D, 2017, 96, 091103. DOI: 10.1103/PhysRevD.96.091103. arXiv:1707.09355 [hep-ex]
- [24] K Fujikawa, RE Shrock. Magnetic Moment of a Massive Neutrino and Neutrino-Spin Rotation. Phys. rev. lett, 1980, 45 (12) : 963-966.