

Neutrinos and the source of energy for earth's evolution

Zhang Guowen

Wuhan hongshan district government office, Wuhan, Hubei

Email: gwz1000@sina.com

Abstract

At present, in neutrino geophysics, the research of neutrinos and the source of the earth's energy is mainly focused on determining the number and distribution of radioactive materials in the earth's interior by detecting the neutrinos in the earth, thus calculating the status of the radioactive material providing energy for the earth. This paper introduces another little-known research branch of neutrino geophysics, the research on the direct energy supply of the neutrino for the earth evolution, focusing on the theory of neutrino earth evolution and the prospect of its development.

Keywords

Neutrino Geophysics, Solar Neutrinos, Neutrino Earth Evolution, Energy

Subject Areas Math & Physics

中微子与地球演化的能量来源

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7月10日；发布日期：2018年7月12日

摘要

目前，在中微子地球物理学中，中微子与地球能量来源的研究主要集中在通过探测地球中微子来确定地球内部放射性物质的数量和分布，从而推算出放射性物质为地球提供能量的情况。本文介绍了中微子地球物理学另一个鲜为人知的研究分支——中微子为地球演化（运动）直接提供能量的研究情况，重点介绍了中微子地球演化说，并对其发展前景进行了展望。

关键词

中微子地球物理学，太阳中微子，中微子地球演化，能量

1. 引言

中微子是一种穿透力极强的基本粒子。1930年，奥地利物理学家 Pauli 为了解释 β 衰变能量出现亏损的问题，提出一个猜想，认为是一种难以探测的中性粒子带走了能量。这种粒子随后被意大利物理学家 Fermi 称作“中微子”，以区别于中子。Fermi 利用 Pauli 预言的粒子成功地建立了 β 衰变理论。于是中微子作为一种不带电、自旋为 1/2、静止质量极小或为零的轻子，被广泛接受。据估算，中微子的反应截面在 10^{-43}cm^2 量级，可以轻而易举地穿透地球，因此，探测中微子十分困难。自从 Pauli 预言中微子后，物理学家尝试了众多方法来寻找它，但直到 1956 年，美国物理学家 Cowan 和 Reines 等^[1]才第一次通过实验直接探测到了中微子。除了 β 衰变生成的中微子（称为电子中微子）外，后来，物理学家又发现了 μ 中微子和 τ 中微子，所以中微子共有三

种。20世纪60年代末,美国物理学家 Davis^[2]首次测量了太阳产生的中微子的流量,发现所测到的太阳中微子数大约只有根据标准太阳模型计算出来的三分之一,有三分之二的太阳中微子竟然失踪了。为了解释太阳中微子失踪现象,有物理学家提出了中微子振荡理论。于是,众多物理学家为了证明中微子振荡,进行了一系列中微子探测实验,由此推动了中微子物理的快速发展。

近年来,随着中微子物理研究的深入,中微子最具穿透力、可以轻松地穿越整个地球而极少被地球物质拦截的特性,被用来探测研究地球深部的构造和放射性元素分布等问题,由此诞生了一门新的学科——中微子地球物理学^[3-5]。但是,中微子地球物理学不仅仅是利用中微子技术来研究地球,还包括中微子为地球演化提供能量的研究。其实,关于中微子为地球提供能量的探索,早在中微子概念提出不久就开始了,只是不被人关注而已。本文简要回顾了中微子作为地球演化能量提供者相关研究情况,重点介绍了中微子地球演化说,并对该理论存在的问题进行了探讨,提出了展望。

2. 中微子为地球提供能量的早期探索

在地质学领域,地球的能量来源一直是一个悬而未决的难题。在板块理论提出之前,人们就发现地球内部存在熔融的外核和软流层,地壳下面是一个巨大的热库,其热能以地热流的形式不断地向地表传播。板块理论形成后,人们对驱动地幔对流和板块运动的能量来源也是无法解决^[6-8]。有人认为,地球内部放射性物质的衰变为地球提供了能量。可是研究表明,地球放射性物质的含量随深度增加是逐渐减少的,地球深部不可能有足够的放射性物质为地球提供能量^[5,9]。所以,很早就有研究者将地球能量来源的目光投向地球以外的太阳,认为是太阳中微子深入地球内部为地球提供了热量。1949年,Saxon^[10]首先就太阳中微子与地球能量来源问题进行了研究。1954年和1955年,Cormack^[11,12]连发两篇论文,对宇宙射线中微子被吸收为地球提供热量的可能性进行了探讨。1964年 Isaacs 和 Hugh^[13]研究了中微子对地热的可能贡献,认为根据理论估算,穿过地球的中微子在地球内部产生的热量微不足道。然而,他们在研究也没有完全排除中微子在地球内部产生大量热量的可能性。同年,Reeves^[14]在一篇论文中提出一个涉及太阳中微子流为地球或月球提供能量而引起地球或月球温度变化的实验。限于当时地球科学和中微子物理的发展,这些早期的探索,大都不够深入,更没有提供任何证据,所以一直没有引起关注。

除了上述研究外,还有一些研究认为太阳中微子影响地球的一些运动和气候。例如,1991年,冯博和丁华灵^[15]对太阳中微子影响地球自转进行了研究,认为地球自转速度具有26个月的准两年变化周期与太阳中微子流的准两年变化相关。

3. 中微子地球演化理论

1996年,张国文^[16]在总结中微子物理和地球科学研究的最新成果的基础上提出了中微子地球演化说,并于1999年出版专著^[17]进行了详细论述。该理论的基本观点是,高能中微子(反应截面小)不易与物质作用,只有与核内中微子能量水平接近的低能中微子(反应截面大)才更容易与物质发生作用。这样,当来自太阳的高能中微子进入地球后,与地球物质发生散射、碰撞等作用而消耗能量,慢慢地就变成频率或能量与原子核中的中微子相近的热中微子,最后与地球物质发生剧烈作用或被吸收,释放能量。由于存在能量不同的太阳中微子^[18,19],而且各种能量的太阳中微子的分布也不均匀,即处于某种能量的中微子相对多一些,而处在另一种能量的中微子则要少一些,所以它们被消耗能量所需要的射程就不一样,导致与物质作用或被吸收的位置和形成的热效应也不一样,于是就形成了地球内部的圈层结构。具体讲,少量能量较低的低能中微子经过岩石圈减速就变成了热中微子,并与岩石圈以下的物质作用,释放一定能量,使部分物质熔融,形成软流层。多数高能中微子必须经过整个岩石圈和地幔才能被减速成热中微子,在地表以下2900—5050 km处与物质作用,释放巨大能量,导致此处物质完全熔融,形成液态外核。外核液体和能量的运动、扩散便形成地磁场,驱动地幔对流和板块运动^[20],引起地震和火山爆发等一系列地球演化。

中微子地球演化说提供了一些证据,其中两个重要证据是洋壳变薄和环形山形成。

第一,如果中微子有异常电荷或磁矩^[21-23],那么其在海洋中的运动速度与光速相当,大于光在海水中的传播速度(光在海水中的传播速度为 $u=c/n=c/1.333=0.75c$,其中, c 为真空中的光速, n 是光在水中的折射率)。所以,中微子进入海洋后,除了被原子中核子等散射外,还要产生契伦科夫辐射^[24],额外消耗能量。

因此，中微子在大洋下面应该先于在陆地下面变成热中微子，也就是说，中微子在大洋下面与物质作用或被吸收的距离应该小于其在陆地下面与物质作用或被吸收的距离。事实证明了一切！地球物理学家探测证实，地壳在陆地的厚度为 35km 左右，在大洋只有约 8km^[6, 17]。该假说对洋壳与陆壳差异性的解释比重力均衡说解释更令人信服，因为洋壳的密度（平均密度约 3.0g/cm³）只比陆壳（平均密度 2.7g/cm³）稍大，但是洋壳的厚度却不足陆壳的 1/4。

第二，中微子最大吸收处为地下 2900–5050km 的外核。也就是说中微子需要穿过 2900km 厚的物质才开始与物质剧烈作用或被大幅度吸收，或者说大多数中微子在地球内部的射程在 2900–5050km。假若某一天体的直径正好在 2900–5050km（严格地讲还要考虑天体密度），那么可以预见，中微子从一侧进入天体，就会在另一侧的表面与物质发生作用，引起天体表面物质熔融，从而在该天体的表面留下痕迹。经过对太阳系各个天体的考查，我们发现，火星、水星、月球等天体的直径基本在这个范围附近。而这些天体表面最显著的特点就是都存在大量的环形山。目前，科学家把这些环形山说成是陨石撞击或火山爆发形成的^[25, 26]。这一说法无法解释直径达数百公里和直径只有数厘米的环形山是如何形成的。如果用中微子与物质作用释放能量导致天体表面物质熔融并向下渗透而引起表面物质坍塌的观点来解释环形山，那么，关于环形山的所有问题就会迎刃而解^[17]。

4. 中微子地球演化说的问题及展望

中微子仍然是一个迷雾重重的幽灵粒子，中微子地球物理学的研究才刚刚起步，存在许多不确定性，所以，中微子地球演化说也不可避免地存在一些问题，归纳起来主要有以下几点：

首先，中微子地球演化说还缺乏关键的实验证据。毫无疑问，中微子能够与地球物质作用或被吸收，并释放能量。目前探测中微子的原理就是利用中微子与物质作用，最终会产生可捕捉的光子或 γ 射线，这个过程就会释放能量^[5]。但是，中微子是否能够与地球物质发生大规模作用或被大量吸收，为地球演化提供显著的起决定作用的能量还有待进一步研究。

其次，中微子为地球演化提供能量的观点总体上与现有理论相悖。现有标准模型均不支持中微子为地球提供大量的能量。虽然标准模型本身也存在较多问题和争论^[27-29]，但是如果标准模型不被推翻，那么中微子地球演化说就难以成立。另外，现有理论和计算均认为，能量越高的中微子反应截面越大，而中微子地球演化说的观点则正好相反。虽然在微观粒子领域存在隧道效应，理论上讲，低能中微子可以克服阈能阻碍，参与需要较大阈能的作用，但是中微子地球演化说也未给出定量的理论计算和进一步地证明。

再次，中微子地球演化说虽然提出了多种中微子为地球提供能量的方式，例如（1）中微子在致密的地球内部波动，必然会与核子碰撞、引起散射等等，将一部分能量传递给地球物质；（2）如果中微子的反粒子是它自己^[30]，那么散射的中微子相互碰撞湮灭也可释放能量；等等。但是，这些都是猜测，没有直接的证据证明中微子为地球演化提供了能量。近年来，虽然有少数学者^[31, 32]对中微子为地球提供能量的可能方式进行了探讨，但都是理论预测，难以令人信服。

因此，展望未来中微子地球演化说的研究方向，应该将主要精力放在提供可靠的试验证明上面，例如，如果中微子地球演化说是正确的，那么在仍然活跃的月球环形山里将很容易探测到太阳中微子引起的各种效应，因此可设计实验，在月球上探测太阳中微子；还有，如果中微子是自己的反粒子，那么可通过中微子的干涉和衍射等试验，探测中微子湮灭事件，等等。总之，中微子是一种神奇的粒子，在与中微子相关的研究中，任何“不可能”的事件都有可能发生。随着中微子地球物理学的发展，一些传统理论可能会被颠覆，更多的与实际不符的理论模型或假说必将原形毕露。中微子地球演化说的未来是加入颠覆传统的行列还是被打回原形，我们将拭目以待。

参考文献(References)

- [1] C. L. Cowan, Jr., F. Reines, F. B. Harrison, H. W. Kruse, A. D. (1956)McGuire, Detection of the Free Neutrino: A Confirmation, Science 124 : 103-104.
- [2] BT Cleveland,RJ Davis,JK Rowley.(1984)Chlorine and bromine solar neutrino experiments.Resonance Ionization Spectroscopy . 241-250.
- [3] 曹俊(2014)大亚湾与江门中微子实验. 中国科学： 物理学 力学 天文学, 44(10): 1025-1040.

- [4] 韩然,习宇飞(2015)地球中微子——把脉地球内部热量[J]. 现代物理知识,,27(6): 43-46.
- [5] MG Aartsen,M Ackermann,J Adams, et al(2017) Measurement of the multi-TeV neutrino cross section with IceCube using Earth absorption, *Nature*, 551 :596-600.
- [6] 盖保民(1996)地球演化[M]. 中国科学技术出版社 ,北京.
- [7] 王鸿祯(1997)地球的节律与大陆动力学的思考.地学前缘,(3):1-12.
- [8] 滕吉文, 宋鹏汉, 张雪梅等(2016)地球内部物质的运动与动力.《科学通报》, 61 (18) :1995-2019.
- [9] 池顺良(2003)放射性元素集中于上地壳的原因及其地球动力学意义.地球科学, (01):17-19.
- [10] D Saxon(1949)The Neutrinos from the Sun and the Source of the Earth's Heat.Studies in Higher Education,39(9):1523-1541.
- [11] AM Cormack(1954)Heat Generation in the Earth by Solar Neutrinos.Physical Review, 95 (2) :580-581.
- [12] AM Cormack(1955)Neutrinos from the Sun,Reports on Progress in Physics, 39(1)Supplement) :28-37.
- [13] JD Isaacs,B Hugh(1964)Neutrino and Geothermal Fluxes.Journal of Geophysical Research, 69 (18) :3883-3887.
- [14] H Reeves(1964)The Detection of Solar Neutrinos.Nasa Sti/recon Technical Report N , 75 (1-2) :117-131.
- [15] 冯博,丁华灵(1991)地球自转的准两年变化与太阳中微子流.陕西天文台台刊. (01):71-75.
- [16] Zhang Guowen(1996)Neutrino earth dynamics.Proceedings of the 12th academic conference of China geophysical society in 1996,October 26th,314.
- [17] Zhang Guowen(1999)the theory of neutrino earth evolution.Wuhan university of surveying and mapping technology press, beijing.
- [18] AM Serenelli.Standard solar model calculation of the neutrino fluxes.Nuclear Physics B, 2007 , 168 (168) :115-117.
- [19] 柳卫平(2002)太阳中微子问题研究进展.原子核物理评论.(01): 21-24.
- [20] 张国文(2002)太阳中微子——大陆漂移的动力源.发明与创新, (01) : 32.
- [21] 焦善庆, 王蜀娟, 郝军, 张金伟, 张晓红(2000)电子中微子和电子的反常磁矩.商丘师范学院学报, (6) :25-29.
- [22] MB Voloshin,MI Vysotskij(1986)Neutrino magnetic moment and time variation of solar neutrino flux.Nasa Sti/recon Technical Report N , 88.
- [23] K Fujikawa,RE Shrock(1980)Magnetic Moment of a Massive Neutrino and Neutrino-Spin Rotation.Phys.rev.lett,45 (12) :963-966.
- [24] 徐载通(1992)著名实验物理学家帕·阿·契伦科夫[J]. 现代物理知识,4(06): 39-40.
- [25] SC Werner, BA Ivanov,G Neukum(2005)The Martian Crater Size-Frequency Distribution and the Evolutionary History of Mars.Bulletin of the American Astronomical Society , 37.
- [26] RTD Jr,JW Salisbury,VG Smalley(1963)Crater frequency and the interpretation of lunar history.Icarus ,2 :466-480.
- [27] T. Ohlsson(2013)Status of non-standard neutrino interactions, Rept. Prog. Phys , 76 (4) :044201.
- [28] S. Davidson, C. Pena-Garay, N. Rius and A. Santamaria(2009) Present and future bounds on nonstandard neutrino interactions, *Journal of High Energy Physics* , 2003 (3) :273-276.
- [29] 林元章(2000)太阳中微子“亏缺”与非标准太阳模型.天文学进展,18(4):301-311
- [30] ZHOU Shun(2017)Are neutrinos their own antiparticles?Chinese Science Bulletin ,62(17), 1798-1801 .
- [31] S Oshima ,T Fujita,A Yoshimi(2012)24aXD-14 Contribution of the Solar neutrino to the Heat of the Earth.Meeting Abstracts of the Physical Society of Japan, 67.
- [32] Yanming Wei(2017)Converged solar neutrinos heat outer core of Earth to liquid.DOI: 10.13140/RG.2.2.22716.23689.