

Can Solar Neutrinos Heat the Earth?

Guowen Zhang

Hongshan District Bureau of justice of Wuhan City, Wuhan

Email: gwz1000@sina.com

Received: May. 12th, 2020, published: May. 15th, 2020

Résumé

Il y a toujours des désaccords sur la provenance des sources d'énergie pilotant la convection du manteau et la tectonique des plaques, ainsi que celles permettant le maintien du champ géomagnétique et la formation d'un flux de chaleur géothermique. La détection récente des géoneutrinos montre que la désintégration des éléments radioactifs à l'intérieur de la Terre ne peut fournir qu'environ 23 TW d'énergie à la Terre, ce qui ne représente que la moitié de la chaleur qui rayonne de l'intérieur de la Terre vers la surface terrestre (47 ± 2 TW) : la moitié de cette énergie provient de sources inconnues.

Certaines études ont émis l'hypothèse que les neutrinos solaires pourraient chauffer la terre. Nous pensons que c'est possible, car les neutrinos se dispersent de manière cohérente lorsqu'ils traversent un cristal, ce qui augmente considérablement leur section efficace d'interaction.

La recherche montre que la section efficace de la diffusion cohérente des neutrinos dans un cristal est directement proportionnelle au quatrième tiers au carré du nombre de particules constituant le cristal. Nous analysons ici la structure cristalline et sa distribution à l'intérieur de la terre, et nous discutons de la chaleur générée par la diffusion cohérente des neutrinos solaires avec ces cristaux intérieurs de la Terre. Notre recherche montre que la diffusion cohérente des neutrinos solaires avec des cristaux terrestres produit un effet thermique important lorsque la part des cristaux dans la terre atteint une certaine proportion et que la taille du cristal atteint le niveau du kilogramme ; la puissance ainsi libérée peut atteindre 12,39 – 42,02 TW, ce qui peut expliquer d'où proviendrait une part de l'énergie interne de la Terre.

Mots clés

Neutrinos solaires, diffusion cohérente, cristal à l'intérieur de la Terre, source d'énergie de la Terre

Les références [xx] en rouge se rapportent à des articles en anglais. Toutes les autres références en noir sont en chinois.

1. Introduction

Dans le domaine des géosciences, il y a toujours eu des désaccords sur l'origine des sources d'énergie internes à la Terre permettant d'expliquer la convection du manteau, le mouvement des plaques, le maintien du champ géomagnétique et la formation du flux géothermique [1] [2] [3]. À l'heure actuelle, l'opinion la plus répandue sur la source d'énergie à l'intérieur de la terre est qu'une partie de celle-ci provient de la désintégration d'éléments radioactifs.

Une autre partie proviendrait de l'énergie potentielle gravitationnelle au début de la formation de la terre [4]. Cependant, cette vision présente de nombreuses lacunes. La recherche montre que les substances radioactives à l'intérieur de la sphère terrestre diminuent avec la profondeur [5] [6], ce qui est incompatible avec l'augmentation de la température interne de la Terre avec la profondeur ; les mesures montrent également que la désintégration des éléments radioactifs à l'intérieur de la terre ne peut fournir environ que 23 TW d'énergie pour la terre [7] [8].

Or le flux de chaleur mesuré est d'environ 47 ± 2 TW [9].

De plus, le maintien du champ géomagnétique terrestre nécessite également de l'énergie. Selon les estimations de la recherche, cette énergie nécessaire pour maintenir le champ géomagnétique se situerait entre 1,7 et 170 TW [10] : il y a donc encore une partie considérable des sources d'énergie de la terre dont l'origine n'est pas claire. L'hypothèse de l'énergie gravitationnelle précoce n'est basée que sur la formation du système solaire, en faisant l'hypothèse de la nébuleuse, ce qui n'est pas une hypothèse correcte. De plus, dans l'histoire géologique, il y a eu des tremblements de terre de courte durée et des éruptions soudaines et concentrées de volcans, des événements [11] [12] et des changements violents dans le champ géomagnétique [13] [14]. En somme, l'ensemble de l'énergie de désintégration radioactive et de l'énergie potentielle gravitationnelle précoce, ne peut pas expliquer le flux de chaleur mesuré ni les phénomènes observés.

Par conséquent, les gens ont recherché d'autres sources d'énergie possibles et ont avancé une variété d'hypothèses théoriques, telles que la théorie des neutrinos solaires, la réaction thermonucléaire [10], la théorie de la fission [15] [16], la théorie de l'énergie noire [17], etc., mais ces théories n'ont pas été acceptées en raison de leurs défauts.

Les recherches sur le réchauffement de la Terre par les neutrinos solaires ont commencé bien avant que la théorie du mouvement des plaques ne soit proposée. En 1949, Saxon [18], le premier, évoquait cette possibilité, à savoir que le flux des neutrinos solaires participait à

la source d'énergie interne de la Terre. En 1954 et 1955, Cormack [19] [20] a publié deux articles et la possibilité que les neutrinos soient absorbés pour chauffer la Terre. En 1964 Isaacs et Hugh [21] et Reeves [22] ont fait des études similaires séparément. Mais ces premières explorations n'ont pas attiré beaucoup l'attention.

En octobre 1996, Zhang Guowen [23] a présenté la théorie de l'évolution neutrino-Terre lors de la réunion annuelle de la Chinese Geophysical Society. La monographie [24] publiée en 2011 exposait systématiquement l'idée que les neutrinos solaires pénètrent profondément dans la terre pour fournir de l'énergie pour l'évolution thermique de la terre. Les neutrinos solaires pouvaient interagir de façon importante avec la matière profonde de la terre et libérer de l'énergie, ce qui conduirait à la fonte du noyau externe, entraînerait la convection du manteau et le mouvement des plaques, et formerait également le champ géomagnétique. Cela causerait aussi une série d'évolutions terrestres telles que des tremblements de terre et des éruptions volcaniques [25]. Bien que la théorie puisse expliquer de manière homogène de nombreuses évolutions, y compris même certains phénomènes d'évolution des planètes, cette théorie manquait d'une description quantitative de comment l'énergie des neutrinos était fournie à la Terre. Plus important peut-être, cela contredisait les opinions dominantes, donc cela ne fut pas accepté.

Cet article est basé sur les derniers résultats de la recherche sur la physique des neutrinos. Il discute du mécanisme d'interaction et de la manière dont les neutrinos solaires libèrent de l'énergie à l'intérieur de la Terre et il estime les niveaux de puissance de cette source d'énergie interne qui alimenterait l'intérieur de la Terre.

2. Mécanisme des neutrinos solaires chauffant la terre et estimation du flux de chaleur

Selon la théorie physique moderne, lors du processus de traversée de la Terre, très peu de neutrinos solaires seront absorbés par la matière terrestre ou interagiront avec la matière terrestre. Certains seront dispersés, et une partie de l'énergie sera transférée à la matière terrestre.

La section efficace de réaction est très petite, et nous étudierons par la suite les différents mécanismes d'interaction des neutrinos solaires par la matière à l'intérieur de la Terre.

2.1. L'effet thermique de la diffusion des neutrinos solaires et des électrons

Selon le modèle standard, la diffusion des neutrinos solaires et des électrons peut être divisée en processus de courant de charge, processus de courant neutre faible et courant neutre faible mélangé à un courant de charge.

Les sections efficaces de réaction de ces trois types de procédés sont [26] [27], respectivement :

1) Processus de flux de charge :

$$\sigma_l = \frac{2G_\mu^2 m_e E_\nu}{\pi}$$

2) Procédé à flux neutre faible :

$$\sigma_n = \frac{2G_\mu^2 m_e E_\nu}{\pi} \left[1 - 4 \sin^2 \theta_w + \frac{16}{3} \sin^4 \theta_w \right]$$

3) Processus de participation mixte :

$$\sigma_h = \frac{2G_\mu^2 m_e E_\nu}{\pi} \left[1 + 4 \sin^2 \theta_w + \frac{16}{3} \sin^4 \theta_w \right]$$

Dans les formules ci-dessus, G_μ est la constante de Fermi, m_e est la masse de l'électron, E_ν est l'énergie du neutrino et θ_w est l'angle de Weinberger.

Selon les calculs et les mesures expérimentales, la diffusion des neutrinos solaires et des électrons est très faible et la section efficace totale de réaction ne dépasse pas 10^{-42} cm^2 , c'est-à-dire $\sigma_{\text{tot}} \leq 10^{-42} \text{ cm}^2$. Le flux total de neutrinos solaires atteignant la surface terrestre [28] est d'environ : $\Phi = 6,5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, donc le taux de réaction est :

$$S = \sigma_e \cdot \Phi \leq 10^{-42} \times 6,5 \times 10^{10} = 6,5 \times 10^{-4} \text{ SNU}$$

Ici, 1 SNU (Solar neutrino unit) = $10^{36} \text{ e}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, c'est-à-dire que toutes les 10^{36} particules cibles ont une réaction par seconde. Le total est d'environ

$$N_{\text{earth}} = \sum W_{\text{earth}} \cdot e_i N_A / g_i \approx 1,36 \times 10^{50} \uparrow$$

Dans la formule ci-dessus, $W_{\text{Terre}} = 5,976 \cdot 10^{24}$ kg est la masse de la terre, $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ est la constante d'Avogadro, et e_i et g_i sont les valeurs pour l'élément i .

La masse de la terre et l'abondance des éléments sont toutes basées sur les données de Li Tong [29]. Ici, nous avons seulement fait le calcul pour les éléments suivants : Fe, O, Mg, Si, S, Ni, Ca, Al. Ces éléments possèdent les abondances les 8 plus fortes, et le contenu des autres éléments est inférieur, ils sont donc ignorés.

L'énergie moyenne des neutrinos solaires est $E_{\nu} = 260$ keV ; compte tenu de la diffusion élastique et inélastique, on suppose que l'énergie moyenne des neutrinos solaires en diffusion sera de la moitié de l'énergie transférée aux électrons, alors, l'énergie délivrée par les neutrinos solaires à la terre par diffusion avec les électrons est d'environ :

$$Q_{e,\nu} = S \cdot N_e \cdot \frac{E_{\nu}}{2} \leq 1.87 \times 10^5 \text{ J/s} = 1.87 \times 10^5 \text{ W}$$

Comparée au flux de chaleur rayonné de l'intérieur de la terre vers la surface (environ 47 ± 2 TW, $1 \text{ TW} = 10^{12} \text{ W}$), *cette énergie diffère de 10^8 ordres de grandeurs*. Puisque nous avons pris une valeur maximale dans l'estimation, la différence réelle peut être encore plus grande.

2.2. L'effet thermique des neutrinos solaires et la diffusion du matériau cristallin terrestre

2.2.1 Diffusion cohérente des neutrinos et des nucléons

Les neutrinos sont des particules microscopiques possédant une dualité onde-particule au sens de de Broglie. Certains neutrinos à ondes longues et de basse énergie, peuvent avoir ainsi des longueurs d'onde supérieures au diamètre des noyaux atomiques : une diffusion cohérente avec l'ensemble des nucléons du noyau atomique se produira ce qui augmentera considérablement la section efficace de réaction de ces neutrinos.

Freedman [30] a décrit pour la première fois cette diffusion cohérente.

Des recherches ont été menées et on pense que lorsque la longueur d'onde des neutrinos est supérieure à la dimension linéaire du noyau, le noyau dispersera les neutrinos dans leur ensemble.

L'amplitude du rayonnement est égale à la somme de celle de tous les nucléons, qui est proportionnelle au nombre de nucléons, et la

probabilité de diffusion est le carré de l'amplitude, qui est proportionnelle au carré du nombre de nucléons. Sachant que les carrés s'ajoutent, on obtient :

$$\sigma_A = \frac{1}{16} \sigma_0 \left[\frac{E_\nu}{m_e C^2} \right]^2 A^2 \left[1 - \frac{Z}{A} + (4 \sin^2 \theta_w - 1) \frac{Z}{A} \right]^2$$

Dans la formule ci-dessus, A est le nombre de nucléons contenus dans le noyau, $\sigma_0 = 1.76 \cdot 10^{-44} \text{ cm}^2$, Z est le nombre de protons dans le noyau.

Pour des noyaux lourds de l'ordre d' $A=100$, l'effet de diffusion cohérente peut augmenter la section efficace de diffusion des neutrinos solaires d'un facteur 10^4 .

Une telle diffusion cohérente des neutrinos a été observée avec un scintillateur à cristal d'iodure de césium de 14,6 kg, et les résultats expérimentaux sont fondamentalement cohérents avec les calculs théoriques. Akimov et al [31]

Weber [32] a également étudié la diffusion cohérente des neutrinos à l'échelle d'un cristal. Lorsqu'une diffusion cohérente se produit, la section efficace de diffusion serait alors proportionnelle au carré du nombre de particules N du diffuseur (cristal entier), c'est-à-dire $\sigma \sim N^2$. Selon cette hypothèse, pour un diffuseur (cristal) de quelques dizaines de grammes, s'il contient 10^{20} particules, la section efficace de réaction des neutrinos interagissant avec lui sera beaucoup plus grande que d'habitude.

Dans le cas linéaire, la section efficace serait augmentée de 10^{20} ordres de grandeur. La section efficace d'interaction entre les neutrinos et un seul noyau atomique est de l'ordre de 10^{-43} cm^2 , si cette interaction peut être augmentée de 10^{20} , alors sa section efficace d'interaction atteindrait de l'ordre de 10^{-23} cm^2 , ce qui équivaut à la section efficace d'interaction des rayons gamma avec la même énergie et la même matière !!

Si c'est le cas, alors les neutrinos solaires fourniraient une énergie considérable à la Terre. Cependant, bien que Weber ait prétendu avoir vérifié expérimentalement sa théorie, aucun autre chercheur n'a pu reproduire ses expériences [33] et Weber a été largement désapprouvé.

Luo Jun et Chen Xiao ont étudié la théorie de Weber [34] (1997) (*Calcul de la section efficace de diffusion des neutrinos de basse énergie diffusés par des cristaux. Journal de l'Université des sciences et technologies de Huazhong. 15:109-110.*). Ils considèrent que dans un cristal, la diffusion cohérente des

neutrinos doit répondre aux exigences de Bragg de la diffusion dans des cristaux.

Suivant ainsi les idées de Weber et introduisant la limite de Bragg de la diffusion cristalline, la valeur calculée de la section efficace de diffusion cohérente devient :

$$\sigma \approx \pi |U_F \Xi U_{10}|^2 N^{4/3} / (c^2 \hbar^2 b^2)$$

On constate que la section efficace de diffusion est proportionnelle à la puissance 4/3 du nombre N de diffuseurs, soit $\sigma \sim N^{4/3}$. Cette conclusion est meilleure que celle de Weber et plus faible d'un facteur $N^{2/3}$.

L'interaction de Weber des neutrinos solaires avec 26 grammes de saphir (qui contient environ 10^{22} particules) et pour laquelle il avait été estimé une force de 10–11 Newton, se voit ainsi réduite de 15 ordres de grandeur, ce qui donne seulement 10–26 Newton, ce qui est bien en deçà de la plage que les humains peuvent mesurer. En d'autres termes, la mesure doit être nulle.

Cependant, bien que l'effet de la diffusion cohérente des neutrinos solaires et des cristaux ne puisse être mesuré, cet effet existe bel et bien, et son effet thermique doit exister aussi. Par conséquent, si les calculs de Luo Jun et Chen Xiao et al sont corrects, alors pour un cristal pesant 1 kg (contenant environ 10^{24} atomes), la section efficace de diffusion cohérente du neutrino solaire sera $N^{1/3}$ fois supérieure à celle d'un seul atome, soit jusqu'à 10^8 ordres de grandeur plus forte.

Des études ont montré qu'il existe un grand nombre de substances cristallines de différentes tailles à l'intérieur de la terre [35]. On suppose que le nombre total de nucléons contenus dans ces substances cristallines est N.

La formule approximative de la section efficace de diffusion des neutrinos solaires et des nucléons donnée par Kippenhahn et Weigert [36] est la suivante:

$$\sigma_v \approx 10^{-44} \left(\frac{E_v}{m_e c^2} \right)^2 \text{ cm}^2$$

Dans la formule, E_{ν} est l'énergie du neutrino solaire, $m_e c^2$ est l'énergie de masse de l'électron d'environ 511 keV, c est la vitesse de la lumière. Si on considère la séquence principale proton-proton

solaire, alors l'énergie moyenne des neutrinos solaires est d'environ 260 keV, c'est-à-dire $E_{\nu}/m_e c^2 \sim 0,509$.

Donc la section efficace moyenne de diffusion des neutrinos solaires et des noyaux terrestres est

$$\sigma_{\nu} \approx 2.59 \times 10^{-45} \text{ cm}^2 .$$

En supposant maintenant que les neutrinos solaires peuvent transférer $1/n$ de leur énergie au noyau de recul du cristal en moyenne pendant la diffusion cohérente, de cette manière, et selon les résultats de recherche de Chen Xiao et al [34] [Formule (6) du texte en chinois], on peut conclure que les neutrinos solaires transmettent de l'énergie à la terre par diffusion cohérente avec des atomes de cristal selon :

$$Q_{A,\nu} = N^{\frac{4}{3}} \cdot \sigma_{\nu} \cdot \phi \cdot \frac{E_{\nu}}{n} = N^{\frac{4}{3}} n^{-1} \times 10^{-48} \text{ J/s} \quad (8)$$

Dans la formule, $\Phi = 6,5 \times 10^{10} \text{ cm}^2$ est le flux de neutrinos solaires atteignant le sol, et $E_{\nu} = 260 \text{ keV}$ est l'énergie moyenne des neutrinos solaires [28].

2.2.2 Répartition des substances cristallines à l'intérieur de la Terre

Une caractéristique remarquable des matériaux cristallins est qu'ils présentent une anisotropie élastique. L'observation de la propagation des ondes sismiques à l'intérieur de la terre prouve qu'à l'intérieur de la terre, cette anisotropie existe dans les matériaux à différentes gammes de profondeurs [37] [38] [39]. Bien que l'anisotropie puisse avoir différentes causes, il ne fait aucun doute qu'une part considérable est due à l'orientation dominante du réseau, ce qui montre qu'il y a un certain nombre de cristaux dans la terre. Actuellement, les gens utilisent les hautes pressions combinées à des expériences physiques et à des observations d'ondes sismiques, ce qui donne la distribution des cristaux minéraux et les transitions de phase structurelles à l'intérieur de la Terre (voir tableau 1), ainsi que leur abondance dans la croûte.

[40] [41]. Le composant principal du manteau supérieur est l'olivine. À mesure que la pression augmente, l'olivine subira une transition de phase pour former des minéraux tels que les spinelles. Le manteau inférieur est principalement composé de minéraux en phase pérovskite ; à 2700 km de profondeur il se transformera en pérovskite (SiO₆ post-pérovskite) avec une structure complètement différente [42] [43] [44].

Des études d'ondes sismiques ont montré que le noyau interne de la Terre présente une anisotropie élastique dont le mécanisme de formation fait encore l'objet de recherches.

On pense généralement que l'anisotropie du noyau interne peut provenir de cristaux de fer hexagonaux compacts (hcp) [45] ou d'inclusions liquides non sphériques [46].

L'arrangement d'orientation dominant et le mécanisme à l'origine de cette orientation dominante peuvent également être dus à l'arrangement d'orientation du réseau cristallin de fer causé par la contrainte de Maxwell, etc. [47] [48]. Dans le même temps, selon les changements de perturbation des ondes sismiques, on suppose qu'il existe des diffuseurs de taille kilométrique dans le noyau interne [49] [50] [51]. Ce noyau contient également un noyau plus profond, et selon certaines études, ce serait un cristal de fer géant [35], avec un diamètre d'environ 1200 km. Même le noyau externe liquide peut partiellement se trouver à l'état de cristal liquide [52]. Ces cristaux de différentes tailles dans les différentes couches de l'intérieur de la Terre, vont interagir par diffusion cohérente avec les neutrinos solaires. En particulier dans la partie profonde de la terre, à mesure que la pression augmente, de nombreux cristaux denses aux propriétés spécifiques se formeront, ce qui renforcera l'effet de diffusion cohérente.

Il est donc très possible que ces cristaux, via ces diffusions cohérentes, puissent intercepter une partie considérable des neutrinos solaires, leur permettant de transférer une partie de leur énergie vers la terre.

Tableau 1. Composition de phase à différentes profondeurs à l'intérieur de la Terre [37] [38] [39]

Prof(km)	Pression(GPa)	Composition des phases
Croute	< 9	Différents modèles de distribution de diverses roches
33	0,9	Olivine (Mg_2SiO_4), Grenat ($Mg_2Al_2Si_3O_{12}$)
100~150	3.1~6.5	Mg_2SiO_4 , $Mg_2Al_2Si_3O_{12}$ stable ou contenant de l'eau, partiellement fondu
220	10	Phase métastable orthorhombique $Mg_2SiO_4 \rightarrow \beta Mg_2SiO_4$
400	14	Orthorhombique $Mg_2SiO_4 \rightarrow \beta Mg_2SiO_4 \rightarrow \gamma$ phase spinelle Mg_2SiO_4
670	25	Mg_2SiO_4 post phase spinelle Transformation de phase de Mg_2SiO_3 , Mg_2SiO_4 , $Mg_2Al_2Si_3O_{12}$ en pérovskite $SiO_4 \rightarrow SiO_6$ à six coordinations
1000	39	silicate de phase pérovskite orthorhombique \rightarrow structure tétragonale \rightarrow structure hexagonale compacte
2900	137	structure tétragonale \rightarrow structure hexagonale compacte \rightarrow structure cubique SiO_6 hexacoordination
5080	317	Interface noyau externe fer liquide avec quelques éléments légers
6371	364	Cristal de fer

2.2.3 Chaleur produite par la diffusion cohérente des neutrinos solaires et des cristaux à l'intérieur de la Terre

Si le noyau interne de la terre est vraiment un énorme cristal d'un diamètre d'environ 1200 km, s'il est entièrement composé d'atomes de fer, alors le nombre d'atomes contenus dans ce cristal est de : $1,04 \cdot 10^{47}$ atomes de fer ; alors la section efficace de diffusion cohérente des neutrinos solaires pourra être augmentée de 10^{15} fois dans le noyau interne. En supposant $n=100$, en remplaçant $N=1,04 \cdot 10^{47}$ dans la formule (8), nous obtenons $AQ_v=34,26$ TW, ce qui signifie que les neutrinos solaires diffusés par le noyau interne n'ont besoin de transférer que 1 % de l'énergie au noyau de recul, ce qui est suffisant pour fournir une source plausible d'énergie terrestre interne. Si le noyau interne n'est pas un gros cristal, mais est composé de plusieurs cristaux plus petits, considérez que le noyau terrestre entier (y compris le noyau interne) a un total de $N_{core}=1,06 \cdot 10^{48}$ atomes de fer, même si le noyau interne est entièrement composé de 10 milliards (10^{10}) fois la composition cristalline, si la diffusion cohérente des neutrinos solaires peut transmettre 1/3 de l'énergie à la terre, alors 11,71 TW d'énergie peuvent encore être délivrés au noyau de la terre. De plus, il y a aussi une grande quantité de matière cristalline dans le manteau, et la diffusion cohérente des neutrinos solaires dans le manteau doit également exister en grande quantité. On suppose que 20 % du matériau du manteau (représentant 68,1 % de la masse totale de la Terre) est composé de cristaux. Dans le même temps, on suppose que les cristaux d'une masse de 1 g à 1 kg représentent 70 %, ceux d'une masse de $1 \sim 10^3$ kg représentent 20%, et ceux d'une masse de $10^3 \sim 10^6$ kg représentent 8%, les cristaux super gros d'une masse de $10^6 \sim 10^9$ kg représentent 2%, puis l'énergie transportée par le solaire les neutrinos vers le manteau peuvent être calculés comme étant de $0,68 \sim 7,76$ TW (voir tableau 2).

Par conséquent, compte tenu des cristaux du noyau et du manteau, on peut déduire que la diffusion cohérente des neutrinos solaires avec le matériau cristallin de la Terre induit une énergie dans la plage de $12,39 \sim 42,02$ TW. Par conséquent, nous pensons que cette source d'énergie inconnue à l'intérieur de la terre vient probablement de la diffusion cohérente des neutrinos solaires avec les atomes de cristal à l'intérieur de la terre.

Tableau 2. Énergie estimée délivrée par les neutrinos solaires au manteau

Masse cristalline	Proportion (%)	Atomes (nombre)	SeffDiff ($\times 10^{-44} \text{cm}^2$)	Énergie fournie au manteau
1 g~1 kg	70	$10^{22} \sim 10^{27}$	$10^7 \sim 10^9$	0.001~0.16 TW
1~10 ₃ kg	20	$10^{27} \sim 10^{30}$	$10^9 \sim 10^{10}$	0.04~0.46 TW
10 ₃ -10 ₆ kg	8	$10^{30} \sim 10^{33}$	$10^{10} \sim 10^{11}$	0.18~1.85 TW
10 ₆ -10 ₉ kg	2	$10^{33} \sim 10^{36}$	$10^{11} \sim 10^{12}$	0.46~4.61 TW
Total	100			0.68~7.76 TW

3 Débat

Strictement parlant, ici, nous menons encore une recherche qualitative sur les neutrinos solaires transmettant de l'énergie à la terre par la diffusion cohérente sur des atomes de cristal,

Étant donné que la distribution et la taille des cristaux à l'intérieur de la Terre ne sont pas claires, notre estimation de l'énergie délivrée par les neutrinos solaires à la Terre est très approximative.

On peut dire qu'il s'agit d'un calcul semi-quantitatif au sens strict. Cependant, cela n'affecte pas nos conclusions.

Huguet et al [53] ont montré que la proto-Terre en fusion actuelle formée sur la base de l'énergie potentielle gravitationnelle ne peut pas former une Terre solide par refroidissement et cristallisation de son noyau interne tout en gardant liquide le noyau externe. Dans les conditions de température et de pression élevées à l'intérieur de la terre, afin de cristalliser le noyau interne, la température du métal liquide doit être inférieure à celle du condensat.

En même temps, si le centre de la terre atteint cette température, tout le noyau se cristallisera rapidement,

Mais ce n'est pas le cas. En fait, la température à l'intérieur de la terre se refroidit très lentement, ne baissant que de 100 degrés tous les milliards d'années, et il est impossible qu'un écart de 1000 degrés apparaisse d'un coup. Par conséquent, un noyau interne solide ne peut pas provenir d'un noyau externe liquide homogène. Si le noyau externe est formé plus tard, un facteur de chauffage est nécessaire. Nous croyons que ce chauffage provient des neutrinos solaires.

Alors, comment la matière terrestre est-elle chauffée par les neutrinos solaires ? Comme nous le savons tous, les atomes du cristal ne sont pas fixes, mais vibrent autour de leur position d'équilibre ; plus le cristal absorbe d'énergie, plus la température est élevée, plus l'amplitude de la vibration est grande. Selon la mécanique quantique, la vibration du réseau cristallin induit une énergie du mouvement quantifiée ; si le réseau est composé de N atomes, son énergie est [54]

$$E_n = U + \sum_{i=1}^{3N} \left(n_i + \frac{1}{2} \right) h\nu \quad (n = 0, 1, 2, \dots; i = 1, 2, \dots, 3N)$$

Dans la formule, U est l'énergie du cristal lorsque les atomes sont au repos en position d'équilibre. Cela montre que l'énergie du cristal se compose de deux parties : l'énergie de repos et l'énergie de vibration.

L'énergie de vibration peut être distribuée en continu de 0 à l'énergie nécessaire pour que les atomes soient déséquilibrés, de sorte que les cristaux peuvent intercepter diverses énergies dans le spectre des neutrinos solaires. Lorsqu'un neutrino solaire frappe le noyau d'un cristal, en échangeant un boson Z avec un certain quark du noyau, une partie de son impulsion est transférée au noyau, ce qui rend le noyau dans un certain état excité, puis le noyau libère cette partie de l'énergie en émettant un photon, cette énergie étant alors convertie en énergie thermique sous forme de vibration de réseau. Bien sûr, les neutrinos avec une énergie suffisamment élevée peuvent même directement déséquilibrer les atomes. Ce type de transfert d'énergie n'est pas affecté par l'oscillation des neutrinos et peut maintenir le flux de neutrinos constant ; en même temps, les neutrinos perdent de l'énergie. En supposant que l'énergie des neutrinos solaires est de 260 keV, en raison de l'impact sur le cristal, l'électron perd 60 keV d'énergie ; le neutrino issu de la réaction transporte encore 200 keV d'énergie à travers la terre et s'en va.

Selon les recherches ci-dessus, l'énergie libérée par la diffusion cohérente des neutrinos solaires avec du matériau cristallin de la Terre est la principale source d'énergie à l'intérieur de la Terre.

Le noyau interne au centre de la terre est la principale source de chaleur de la terre, mais les endroits où les cristaux existent dans le manteau peuvent également générer de l'énergie. Toutefois, avec l'augmentation de l'énergie, les cristaux seront fondus sous forme

liquide. Puisque le cristal disparaît, la diffusion cohérente ne peut plus être effectuée, et à cet instant la production d'énergie s'arrête et le liquide se refroidit puis se recristallise de nouveau pour former des cristaux. Alors, la diffusion cohérente des neutrinos recommence, l'énergie s'accumule à nouveau, le cristal est à nouveau fondu,

Selon ce cycle, cela conduit à une série de flux de matières et d'énergie à l'intérieur de la terre.

De plus, à l'heure actuelle, des expériences de détection des neutrinos solaires ont montré que les neutrinos solaires manquaient [55] [56] [57], et diverses expériences ont montré que les proportions de neutrinos solaires perdus sont de 1/3 à 1/2. Cela ne peut pas être expliqué rationnellement par les oscillations des neutrinos.

Étant donné que les neutrinos peuvent être diffusés de manière significative et cohérente à partir des cristaux intérieurs de la Terre, cet écart dans la détection des neutrinos solaires est inévitable.

Il existe des différences dans les substances cristallines dans différentes parties de la sphère terrestre, et la perte d'énergie des neutrinos solaires lors de leur passage à travers la terre est également différente selon les endroits : le rapport des neutrinos sortants doit donc changer.

4. Conclusion

Bien que la section efficace d'interaction entre les neutrinos solaires et la matière soit très faible, les neutrinos sont des particules microscopiques bénéficiant de la dualité onde-corpuscule : ils possèdent une longueur d'onde dépendant de leur masse et de leur vitesse.

Lorsque les neutrinos solaires se propagent dans la matière cristalline à l'intérieur de la terre, si leur longueur d'onde est proche de la taille des atomes cristallins, alors les neutrinos seront diffusés de manière cohérente, ce qui augmentera considérablement leur section efficace de diffusion. A ce moment, si la taille du cristal atteint un certain niveau (comme contenir 10^{24} atomes comme on l'a vu dans le texte), la diffusion cohérente des neutrinos solaires et des atomes de cristal peut considérablement chauffer la terre et fournir suffisamment d'énergie pour expliquer d'où proviennent les différentes sources d'énergie interne de la terre.

Références

- [1] 盖保民地球演化[M]. 中国科学技术出版社,北京,1996.
- [2] 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.
- [3] 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
- [4] Buffett, B. A. (2007). Taking earth's temperature. *Science*, 315(5820), 1801–1802.
- [5] 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.
- [6] AH Lachenbruch(1968)Preliminary geothermal model of the Sierra Nevada. *Journal of Geophysical Research*, 73(73):6977-6989
- [7] M Agostini, S Appel, G Bellini, J Benziger, D Bick (2015) Spectroscopy of geoneutrinos from 2056 days of Borexino data. *Phys. Rev. D*, 92(3):031101
- [8] Gando, A., Dwyer, D. A., McKeown, R. D., & Zhang, C. (2011). Partial radiogenic heat model for Earth revealed by geoneutrino measurements. *Nature Geoscience*, 4(9), 647–651.
- [9] Davies, J. H., & Davies, D. R. (2010). Earth's surface heat flux. *Solid Earth*, 1(1), 5–24.
- [10] El Terez, I. E. Terez (2013) Thermonuclear Reaction as the Main Source of the Earth's Energy. *International Journal of Astronomy and Astrophysics*, 03(3):362-365
- [11] Haiquan Wei, Guoming Liu, James Gill (2013) Review of eruptive activity at Tianchi volcano, Changbaishan, northeast China: implications for possible future eruptions. *Bulletin of Volcanology*, 75(4):706.
- [12] IN Bindeman (2006) The secrets of supervolcanoes. *Scientific American*, 294(6):36-43.
- [13] 邓晋福, 莫宜学, MF. J. FLOWER, 苏尚国, 罗照华, 赵海玲, 赵志丹, 喻学惠, 刘翠 (2005) 白垩纪大火成岩省与地幔对流[J]. 地学前缘, (02):217-221.
- [14] Y Guyodo, JP Valet (1999) Global changes in intensity of the Earth's magnetic field during the past 800 kyr. *Nature*, 399(6733):249-252.
- [15] Bao Xue Zhao. U (1999) Th distribution, nuclear fission and their relationship with geodynamics in outer core. *Geological Review*, 45(4):344-0.
- [16] MA Xuechang (2016) Discussions on the Driving Force of Crustal Movement: Nuclear Energy and Earth Evolution. *Acta Geologica Sinica*, 90(1):24-36.
- [17] Yuan Xuecheng, Jiang Mei, Geng Shufang (2015) Dark matter, dark energy and geodynamics. *Acta Geologica Sinica*, 89(12):2213-2224.
- [18] D Saxon (1949) The Neutrinos from the Sun and the Source of the Earth's Heat. *Studies in Higher Education*, 39(9):1523-1541.
- [19] AM Cormack (1954) Heat Generation in the Earth by Solar Neutrinos. *Physical Review*, 95(2):580-581.
- [20] AM Cormack (1955) Neutrinos from the Sun, *Reports on Progress in Physics*, 39(1) Supplement:28-37.
- [21] JD Isaacs, B Hugh (1964) Neutrino and Geothermal Fluxes. *Journal of Geophysical Research*, 69(18):3883-3887.
- [22] H Reeves (1964) The Detection of Solar Neutrinos. *NASA STI/Recon Technical Report N*, 75(1-2):117-131.
- [23] 张国文. 中微子地球动力学理论, 见中国地球物理学会年刊(1996), 北京: 中国建材出版社, 1996, 314.
- [24] 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.
- [25] 张国文 (2018) 中微子与地球演化的能量来源. *汉斯预印本*, 3(1): 1-4.
<https://doi.org/10.12677/HANSPrePrints.2018.31010>
- [26] Chowdhury D, Eberhardt O (2015) Global fits of the two-loop renormalized Two-Higgs-Doublet model with soft Z_2 breaking. *Journal of High Energy Physics*.
- [27] 李娜 (2012) νe 散射和小 Higgs 模型. [D]. 郭滨. 辽宁师范大学.
- [28] John N Bahcall and Carlos Peña-Garay (2004) Solar models and solar neutrino oscillations. *New Journal of Physics*, 6(1):63
- [29] 黎彤 (1976) 化学元素的地球丰度. *地球化学*, 3, 167-173.
- [30] D. Z. Freedman (1974) "Coherent neutrino nucleus scattering as a probe of the weak neutral current," *Phys. Rev. D* 9, 1389. DOI: 10.1103/PhysRevD.9.1389
- [31] D Akimov, JB Albert, P An, C Awe, PS Barbeau (2017) Observation of coherent elastic neutrino-nucleus scattering. *Science*, 357(6356):1123-1126
- [32] Weber J. (1985) Method for Observation of Neutrinos and Antineutrinos. *Physical Review C Nuclear Physics*, 31:1468-1475.
- [33] 冯国强 (2006) 太阳中微子反常相干散射的实验检验. [D]. 华中科技大学.
- [34] 陈晓, 范淑华, 罗俊 (1997) 低能中微子被晶体散射时的散射截面计算. *华中理工大学学报*, 15:109-110.
- [35] Tao Wang, Xiaodong Song & Han H. Xia (2015) Equatorial anisotropy in the inner part of Earth's inner core from autocorrelation of earthquake coda. *Nature Geoscience*, 8: 224–227.
- [36] R Kippenhahn, A. Weigert (1990) *Stellar structure and evolution*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. 18.
- [37] 李乐, 周蕙兰, 陈棋福 (2004) 地球内核的地球学研究进展. *地球物理学进展*, 19(2):238-245.
- [38] 王良书, 陈运平, 米宁等 (2005) 从地震波各向异性到各向异性地震学: 地震波各向异性研究综述. *高校地质学报*, 11(4):544-551.
- [39] 熊大和 (1996) 高压物理研究在地球科学中的应用. *物理*, 25(4):199-205

- [40] Joshua M. Garber et al.(2018)MultidisciplinaryConstraints on the Abundance of Diamond and Eclogite in the Cratonic Lithosphere, Geochemistry,Geophysics,Geosystems.19 June
<https://doi.org/10.1029/2018GC007534>
- [41] Stachel, T. & Harris, J. (2008)Theorigin of cratonicdiamonds- constraintsfrommineral inclusions. Ore Geol. Rev. 34, 5–32.
- [42] Iitaka, T., Hirose, K., Kawamura, K. and Murakami, M.(2004)The elasticity of the MgSiO₃ post-perovskite phase in theEarth'slowermostmantle. Nature, 430(6998): 442-445.
- [43] Hirose, K. and Lay, T.,(2008) Discovery of Post-Perovskite and New Views on the Core-MantleBoundaryRegion. Elements, 4(3): 183-189.
- [44] Wookey,J.,Stackhouse,J. S.,Kendall,J. M.(2005)Efficacy of the post-perovskite phase as an explanation for lowermost-mantleseismicproperties.Nature,(438)1004-1007.
- [45] 刘斌,张群山,王宝善,傅容珊,H.KernT.Popp(2000)内核地震波速各向异性的成因. 地球物理学报.43(03):312-321.
- [46] Singh S C,Taylor M A J,Montagner J P. (2000)On the presence of liquid in Earth'sinnercore. Science.287(5462):2471-2474.
- [47] KaratoS. (1999)Seismicanisotropy of the Earth'sinnercoreresultingfrom flow induced by Maxwell stresses. Nature.402(6764):871-873
- [48] KaratoS(2001)Innercoreanisotropy due to the heterogeneityileve. GeophysicalResearch Letters.28(1):85-86
- [49] Vidale J E,Dodge D A,Earle P S(2000)Slow differential rotation of the Earth'sinnercoreindicated by temporal changes in scattering.Nature. 405(6785):445-448
- [50] Cormier V F,LiX,Choy G L(1998)Seismicattenuation of the innercore: viscoelastic or stratigraphic?. Geophysical ResearchLetters. 25(21):4019-4022
- [51] Cormier V F,Li X(2002)Frequencydependentseismicattenuation in the innercore:Part II.A scattering and fabric interpretation. Journal of Geophysical Research,108(B2):1-15.
- [52] Ozawa, Haruka; Takahashi, Futoshi; Hirose, Kei; Ohishi, Yasuo; Hirao, Naohisa(2011)Phase Transition of FeO and Stratification in Earth's Outer Core. Science.334(6057): 792~794.
- [53] L Huguet, JAV Orman, II Steven (2018) MA Willard.Earth'sinnercorenucleationparadox.Earth&Planetary Science Letters, 487 :9-20
- [54] 韩汝琦改编,固体物理学. 高等教育出版社,北京,1988.
- [55] 柳卫平(2002)太阳中微子问题研究进展[J].原子核物理评论,(01):20-23.
- [56] DAVIS R(1964)Chlorinesolar neutrino results. Physical ReviewLetters.(12):303.
- [57] Y Fukuda, T Hayakawa, E Ichihara.et al.(1998) Constraints on neutrino oscillation parametersfrom the measurement ofday-night solar neutrino fluxes at Super-Kamiokande.PhysicalReviewLetters, 82 (9) :1810-1814