ISSN:3030-332X
Impact factor: 9,493
International journal of scientific researchers

PLAZMA MUHITIDA NEYTRINO LINZALASH EFFEKTI

Xotamov Jaxongir Abdumalikovich
Ibragimova Odina Toir qizi
Jizzax davlat pedagogika universiteti
Doi: https://doi.org/10.5281/zenodo.20393803

Annatatsiya. Ushbu maqolada neytrino to‘lqinlarining plazma orqali tarqalishi, gravitatsion maydon va plazma dispersiyasi ta’sirida linzalash mexanizmlari nazariy jihatdan tahlil qilinadi. Asosiy e’tibor, plazma dispersiyasi va neytrino massasining birgalikdagi effekti ostida hosil bo‘ladigan linzalash fenomeniga qaratilgan. Natijalar eksperimental kuzatishlar va astrofizik modellar bilan solishtiriladi.

Kalit so`zlar: plazma muhitida neytrino, foton propagatsiyasi, effektiv potensial, dispersiya, gravitatsion linzalash, zarracha interaktsiyasi, energiya spektri, astrofizik kuzatish.

Neytrino linzalash effekti ko‘plab astrofizik jarayonlarda muhim ahamiyatga ega, xususan yulduzlar yadrosi, supernova portlashlari va koinotning erta bosqichlarida. Plazma muhitida neytrino propagatsiyasi odatiy gravitatsion linzalashdan farqli o‘laroq dispersiv effektlar bilan murakkablashadi [1,2].

Ushbu maqolada neytrino linzalashining plazma muhitidagi xususiyatlari, nazariy asoslar va potensial astrofizik kuzatish imkoniyatlari ko‘rib chiqiladi.

Plazma muhitida neytrino propagatsiyasi Dirak tenglamasidan kelib chiqadigan kvant maydon nazariyasi orqali ifodalanadi:

$$\left(i\gamma^{\mu}\partial_{\mu}-m_{\nu}-V_{eff}\right)\psi_{\nu}=0 \qquad (1)$$

bu yerda m_{ν} — neytrino massasi, V_{eff} — plazma muhitining effektli potensiali. Potensial ν–elektron interaktsiyasi orqali quyidagicha ifodalanadi [3]:

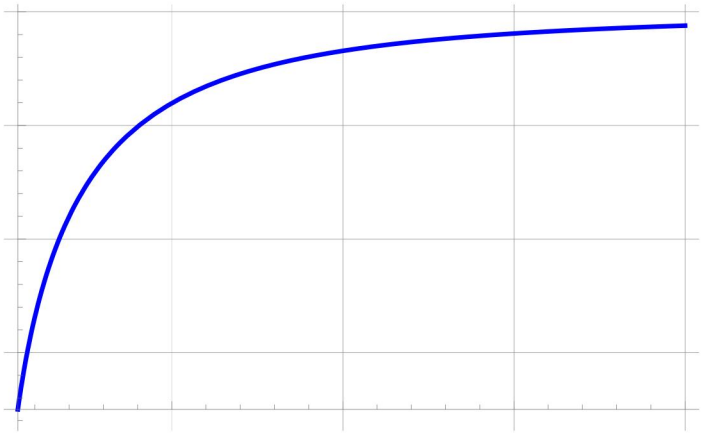
$$V_{eff}=\sqrt{2}G_F n_e \qquad (2)$$

Plazma muhitida elektromagnit to‘lqinlar tezligi v quyidagicha o‘zgaradi:

$$v=c\sqrt{1-\frac{w_p^2}{w^2}}, \quad \omega_p=\sqrt{\frac{4\pi e^2 n_e}{m_e}} \qquad (3)$$

Bu yerda c vakuumdagi yorug‘lik tezligi, n_e elektron zichligi, m_e elektron massasi va e elektron zaryadi. Ushbu parametrlar plazma dispersiyasi va to‘lqin tezligini aniqlash uchun ishlatiladi.

Plazma muhitida elektromagnit to‘lqinlar chastotasi va to‘lqin soni o‘rtasida o‘ziga xos bog‘lanish mavjud bo‘lib, u dispersiya tenglamasi orqali ifodalanadi: chastota kvadrati plazma chastotasi kvadrati va to‘lqin soni kvadrati bilan chiziqli bog‘lanadi. Plazma ichidagi erkin elektronlar zichligi va elektron massasiga bog‘liq holda aniqlanadi. Bu chastota past chastotali fotonlar plazmada tarqalishiga to‘sqinlik qiladi. Plazma muhitida elektromagnit to‘lqinlarning tezligi vakuumdagi yorug‘lik tezligidan kamroq bo‘ladi va chastotaga bog‘liq. Chastota yuqori bo‘lsa, tezlik vakuumga yaqinlashadi, chastota plazma chastotasiga yaqin bo‘lsa, tezlik sezilarli darajada kamayadi.



1-rasm.

Plazma muhitida elektromagnit to‘lqinlar tezligi va grafik tushuntirish. To‘lqin chastotasi, to‘lqin guruh tezligi, m/s da, Grafikning xususiyatlari: 1) Agar $\omega \to \omega_p$ bo‘lsa, $v_g \to 0$. Bu past chastotali to‘lqinlar plazma ichida tarqalolmasligini ko‘rsatadi. Agar $\omega \gg \omega_p$ bo‘lsa, $v_g \approx c$, ya’ni to‘lqin vakuumdagi tezlikka yaqinlashadi. Grafik quyi chastotada keskin pasayadi, yuqori chastotada esa tekislanadi. Bu dispersiv xususiyatni ochib beradi.

Neytrino linzalash effekti shu dispersiv muhit orqali propagatsiyaga bog‘liq bo‘ladi [4].

Gravitatsion maydon ostida neytrino yo‘nalishini o‘zgartiruvchi burchak θ quyidagicha beriladi:

$$\theta = \frac{4GM}{c^2 b}\left(1+\frac{\omega_p^2}{\omega^2}\right), \qquad (4)$$

Ushbu formula plazma dispersiyasi bilan gravitatsion linzalashni birlashtiradi [5].

Plazma muhitida neytrino to‘lqin funksiyasi ψ_v quyidagi Dirak tenglamaga bo‘ysunadi:

$$\left(i\gamma^\mu \partial_\mu - m_v - V_{eff}\right)\psi_v = 0 \quad (5)$$

bu yerda m_v — neytrino massasi, V_{eff} — plazma muhitining effektli potensiali: [3].

$$V_{eff} = \sqrt{2} G_F n_e \qquad (6)$$

Neytrino plazmada o‘zining effektli massasi orqali tarqaladi:

$$E_v^2 = p^2 + m_v^2 + 2E_v V_{eff} \quad (7)$$

Neytrino yo‘nalishini o‘zgartiruvchi umumiy burchak:

$$\theta = \frac{4GM}{c^2 b}\left(1+\frac{V_{eff}}{E_v}\right), \quad (8)$$

shuningdek, bu burchak foton dispersiyasiga analog bo‘lib, plazma ta’sirini hisobga oladi[6].

Plazmadagi zarrachalar (elektron va ionlar) foton propagatsiyasini Rayleigh tarqalish orqali o‘zgartiradi. Ta’sir kuchi:

$$\sigma_R \infty \frac{\omega^4}{\omega^4 + \omega_p^4} \qquad (9)$$

Neytrino plazma bilan weak-interaction orqali bog‘lanadi, energiya uzatish:

$$\frac{dE_v}{dx} = -G_F^2 n_e E_v^2 \quad (10)$$

bu ko‘plab astrofizik jarayonlarda, masalan supernova yadrolarida, muhim rol o‘ynaydi[7,8].

Plazma muhitida neytrino va foton propagatsiyasini o‘rganish natijalari bir qator muhim xulosalarni beradi. Avvalo, fotonlarning plazma ichidagi tezligi dispersiv muhit natijasida vakuumdagi tezligidan sezilarli darajada farq qiladi. Past chastotali fotonlar uchun plazma “to‘sqinlik” vazifasini bajaradi, ya’ni ular tarqalolmaydi va ularning energiyasi qisqa masofalarda saqlanib qoladi. Bu esa astrofizik kuzatuvlar, masalan radiochastotalar spektri, va interstellar plazma orqali signallar tarqalishini tahlil qilishda juda muhim.

Neytrino propagatsiyasi ham plazma muhitida o‘ziga xos dispersiv va linzalash effektlariga duch keladi. Plazma ta’siri neytrino effektli massasi va energiyasi orqali yo‘nalishini o‘zgartiradi, bu esa gravitatsion linzalash bilan birlashganda neytrino yo‘nalishida qo‘shimcha burchak hosil bo‘lishiga olib keladi. Shuningdek, plazma bilan weak-interaction orqali energiya uzatish jarayoni, ayniqsa supernova yadrolarida, sezilarli darajada hisobga olinishi kerak. Bu effektlar, agar inobatga olinmasa, astrofizik modellar va kuzatuvlar natijalarida xatolikka olib kelishi mumkin.

Zarrachalarga ta’sir jihatidan, plazmadagi elektron va ionlar foton propagatsiyasini yozug`lik yo‘li orqali tarqalish o‘zgartiradi, neytrino esa elektronlar bilan kuchsiz kirish orqali bog‘lanadi. Bu ta’sirlar plazma zichligi, harorati va ionizatsiya darajasiga bog‘liq bo‘lib, yuqori zichlikli yoki yuqori energiyali muhitlarda sezilarli o‘zgarishlarni keltirib chiqaradi. Natijada, plazma muhitidagi foton va neytrino signallari nafaqat propagatsiya yo‘nalishi, balki energiya spektri va fazoviy taqsimotiga ham ta’sir qiladi.

Bu effektlar astrofizik kuzatuvlar va tajribaviy loyihalarda alohida e’tiborga loyiq. Masalan, supernova portlashlaridan keladigan neytrino signallari yoki yulduzlar yadrosi bilan bog‘liq foton signallari tahlil qilinayotganda plazma dispersiyasi va zarracha interaktsiyalari hisobga olinmasa, linzalash burchagi va energiya spektri noto‘g‘ri baholanadi. Shu bilan birga, plazma ta’siri neytrino va fotonlarning birbiri bilan o‘zaro ta’sirini kuchaytiradi va ularni kuzatish imkoniyatini yaxshilaydi. Bu esa astrofizika va kosmik fizika eksperimentlarida yangi model va simulyatsiyalarni ishlab chiqish uchun zarur shartlarni yaratadi.

Xulosa qilib aytganda, plazma muhitida neytrino va foton harakati kompleks dispersiv, linzalash va zarracha-interaktsiya effektlariga ega. Ushbu effektlar astrofizik jarayonlarni chuqurroq tushunish va kuzatish natijalarini aniqlashtirish uchun muhim. Plazma muhitini inobatga olgan modellar supernova signallari, yulduzlar yadrosi va koinotning erta bosqichlaridagi fizik jarayonlarni yanada to‘liq va aniqlik bilan tahlil qilish imkonini beradi. Shu tariqa, neytrino va foton propagatsiyasining plazma bilan bog‘liq xususiyatlarini o‘rganish nafaqat nazariy fizikani rivojlantiradi, balki astrofizik eksperimentlar va koinot modellashtirish uchun amaliy ahamiyatga ega.

Adabiyotlar ro'yxati

1. G. G. Raffelt, Stars as Laboratories for Fundamental Physics, University of Chicago Press, 1996.
2. C. Giunti and C. W. Kim, Fundamentals of Neutrino Physics and Astrophysics, Oxford University Press, 2007.
3. D. Notzold and G. Raffelt, Neutrino Dispersion at Finite Temperature and Density, Nucl. Phys. B, 307, 924–936, 1988.
4. S. Esposito, G. Capone, Neutrino Propagation in Dense Plasmas, Phys. Rev. D, 66, 013005, 2002.
5. G. S. Bisnovatyi-Kogan, Gravitational Lensing of Neutrinos in Plasmas, Astron. Rep., 54, 816–824, 2010.
6. Neronov, D. V. Semikoz, Neutrino Lensing and Plasma Effects, Phys. Rev. D, 93, 083001, 2016.
7. Mirizzi et al., Supernova Neutrinos: Production, Oscillations, and Detection, Riv. Nuovo Cim., 39, 1–112, 2016.
8. E. K. Akhmedov, Neutrino Physics, Springer, 2002.
9. D. Dolgov, Neutrinos in Cosmology, Phys. Rept., 370, 333–535, 2002.
10. L. Wolfenstein, Neutrino Oscillations in Matter, Phys. Rev. D, 17, 2369–2374, 1978.