

GRAVITATSION CHASTOTA SILJISHINI KLASSIK YONDASHUV ORQALI TAHLIL QILISH VA UNI UMUMIY NISBIYLIK NATIJALARI BILAN SOLISHTIRISH

Sanoyev Sunnatillo Xasanboy o'g'li

Toshkent shahar Shayxontohur tuman

Ixtisoslashtrilgan maktab fizika fani o'qituvchisi

sunnatillosanoyev51@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada gravitatsion maydonda harakatlanoyatgan foton chastotasini qizilga siljishi klassik yondashuv asosida tahlil qilinib uni GR(gravitational redshift) natijasi bilan solishtirildi va u amal qiladigan sharoitlar tahlil qilindi. Gravitatsion qizilga siljish hodisasi kosmologiyani o'rganishda juda amaliy ahamiyatga ega bo'lib biz qo'llagan klassik yondashuv umumiy nisbiylik prinsipi o'rtasidagi amal qiladigan sharoitlarni aniqlashdan iborat. Biz qo'llagan klassik yondashuvni soddaligi qizilga siljish hodisasini klassik uslubda osonroq tushunishka yordam beradi.

Kalit so'zlar: Qizilga siljish, umumiy nisbiylik nazariyasi, Shvartshild radiusi, foton chastotasining o'zgarishi, foton energiyasi.

АНАЛИЗ ГРАВИТАЦИОННОГО СМЕЩЕНИЯ ЧАСТОТЫ НА ОСНОВЕ КЛАССИЧЕСКОГО ПОДХОДА И ЕГО СРАВНЕНИЕ С РЕЗУЛЬТАТАМИ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ.

Аннотация. В данной статье проанализировано смещение частоты фотона, движущегося в гравитационном поле, в сторону красного по классическому подходу, а также проведено сравнение полученных результатов с эффектом гравитационного красного смещения (GR). Были рассмотрены условия, при которых данный эффект проявляется. Явление гравитационного красного смещения имеет большое практическое значение при изучении космологии. Цель классического подхода, использованного в работе, заключается в определении условий применимости принципа общей теории относительности. Простота применённого классического метода способствует более лёгкому пониманию явления красного смещения в классическом контексте.

Ключевые слова: красное смещение, общая теория относительности, радиус Шварцшильда, изменение частоты фотона, энергия фотона.

ANALYSIS OF GRAVITATIONAL FREQUENCY SHIFT USING THE CLASSICAL APPROACH AND ITS COMPARISON WITH THE RESULTS OF GENERAL RELATIVITY.

Abstract. In this article, the redshift of the photon frequency moving in a gravitational field is analyzed based on a classical approach, and the obtained results are compared with those of the gravitational redshift (GR). The conditions under which this effect occurs are also examined. The phenomenon of gravitational redshift has significant practical importance in cosmological studies. The purpose of the classical approach applied in this work is to determine the conditions under which the principle of general relativity is applicable. The simplicity of the proposed classical method helps to understand the redshift phenomenon more easily from a classical point of view.

Keywords: redshift, general theory of relativity, Schwarzschild radius, photon frequency variation, photon energy.

Kirish. Gravitatsion chastota siljishi (redshift) — umumiy nisbiylik nazariyasining muhim natijalaridan biridir. Bu hodisa kosmologiyani o'rganishda juda kata amaliy ahamiyat kasb etadi. Bu hodisani klassik uslub Nyuton mexanikasi doirasida ham ma'lum darajada tushuntirish mumkin. Ushbu maqolada foton energiyasining $E = hv$ ekanligini hisobga olib, unga "effektiv massa" $m_{\text{eff}} = E / c^2$ beriladi[3]. So'ngra, foton yulduzning gravitatsion potentsiali bo'ylab harakatlanayotganda kuch ta'sirida energiya o'zgarishini $dE = Fdr$ shaklida ifodalaymiz[6]. Maqsad — ushbu klassik yondashuv yordamida chastota siljish formulasini olish, uni GR natijasi bilan solishtirish va u amal qiladigan sharoitlarni tahlil qilishdan iborat.

Tadqiqot metodlari. Ushbu tadqiqotda foton chastotasining gravitatsion maydonda o'zgarishi klassik yondashuv asosida tahlil qilindi. Ma'lumki, umumiy nisbiylik nazariyasiga (GR) ko'ra, gravitatsion maydonda harakatlanayotgan foton vaqt va fazo egilishi natijasida energiyasi va chastotasi o'zgaradi, bu hodisa "gravitatsion qizilga siljish" deb ataladi. Mazkur ishda bu jarayonning fizik mohiyatini klassik uslubda tushuntirishga harakat qilindi hamda natijalar umumiy nisbiylikdagi nazariy ifoda bilan taqqoslab ko'rildi.

Nazariy asos sifatida fotonning energiyasi $E = hv$ va unga mos "effektiv massa" $m = hv/c^2$ ifodasi qabul qilindi[3]. Bu yondashuvda foton gravitatsion potentsialda harakatlanayotgan zarraga o'xshash tarzda tahlil qilinadi. Fotonning gravitatsion potentsialdagi o'zgarishi uchun energiya saqlanish qonuni asosida quyidagi differensial munosabat yozildi:

$$h dv = -G \frac{mM}{r^2} dr$$

(1)

bu yerda G – gravitatsion doimiy, M – markaziy jismaning massasi, r – foton joylashgan masofa,
 c – yorug‘lik tezligi. $m = hv / c^2$ ni tenglamaga joylashtirib, quyidagi tenglama hosil qilinadi:

$$dv = -\frac{GM}{c^2} * \frac{v}{r^2} dr$$

(2)

Bu tenglama separabel bo‘lib, uni integrallash orqali foton chastotasining masofaga bog‘liqligi aniqlanadi:

$$\int_{v_0}^v \frac{dv}{v} = -\frac{GM}{c^2} \int_{r_0}^r \frac{dr}{r^2}$$

(3)

$$v(r) = v_0 \exp\left[\frac{GM}{c^2} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0}\right)\right]$$

(4)

Agar foton cheksizlikka ($r = \infty$) chiqayotgan deb faraz qilinsa, bu holda ifoda soddalashadi:

$$v(r) = v_0 \exp\left[-\frac{GM}{r_0 c^2}\right]$$

(5)

Bu klassik yondashuvdan olingan natija fotonning gravitatsion maydonda harakatlanayotganda energiyasi kamayib (boshqacha aytganda, chastotasi kamayib) borishini ko‘rsatadi. Buning fizik mazmuni shundan iboratki, foton gravitatsion maydondan uzoqlashgan sari uning chastotasi pasayadi va spektr qizil tomonga siljiydi. Natijani umumiy nisbiylik (GR) formulasi bilan taqqoslash uchun Schwarzschild yechimidan foydalaniladi. GR nazariyasiga ko‘ra, gravitatsion qizilga siljish quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$\frac{v_0}{v_e} = \sqrt{\frac{\left(1 - \frac{2GM}{c^2 r_e}\right)}{\left(1 - \frac{2GM}{c^2 r_0}\right)}}$$

(6)

Agar kuzatuvchi cheksizlikda joylashgan bo‘lsa ($r \rightarrow \infty$), bu ifoda soddalashadi:

$$(7) \quad v_{\infty} = v_0 \sqrt{\left(1 - \frac{2GM}{c^2 r_0}\right)} \approx v_0 \left(1 - \frac{GM}{c^2 r_0}\right).$$

Kichik potentsial (zaif maydon) uchun (7) ifoda klassik yondashuvdan olingan (5) natija bilan to'liq mos keladi. Bu moslik, ayniqsa, Quyosh kabi past zichlikdagi obyektlar uchun juda yaxshi ishlaydi. Biroq neytron yulduzlar yoki qora tuynuklarga yaqin sohalarda bu farq sezilarli bo'lib qoladi[8].

Tadqiqot metodlari sifatida quyidagi bosqichlar amalga oshirildi:

1. Analitik yondashuv: gravitatsion maydon kuchini inobatga olgan holda foton chastotasining differensial o'zgarish tenglamasi tuzildi va integrallandi.

2. Taqqoslash metodi: klassik yondashuv natijasi umumiy nisbiylikdagi (GR) aniq formula bilan solishtirildi.

3. Matematik modellashtirish: parametrlar sifatida Quyosh, neytron yulduzi va ideal sferik jism misollarida hisob-kitoblar olib borildi.

4. Grafik tahlil: chastota nisbati $v(r)/v_0$ va gravitatsion radius ($r = 2GM/c^2$) orasidagi bog'liqlik chizildi.

5. Fizik talqin: fotonning "massasi" tushunchasining shartli qabul qilinishi, energiya saqlanish qonunining gravitatsion potentsialda qo'llanishi tahlil qilindi.

Ushbu metodlarning afzalligi shundaki, ular yordamida foton chastotasining o'zgarishini murakkab matematik apparatsiz, oddiy differensial tahlil orqali izohlash mumkin. Bu esa hodisani klassik fizikaga yaqinroq usulda tushuntirish imkonini beradi. Shuningdek, olingan natijalar umumiy nisbiylik nazariyasining cheklangan sharoitlarda (zaif gravitatsion maydon) qanday qilib klassik yondashuv bilan mos kelishini ko'rsatadi. Shunday qilib, tadqiqotning nazariy va metodologik yondashuvi gravitatsion qizilga siljish hodisasini klassik va relativistik kontekstda tahlil qilishga, ularning o'zaro bog'liqligini aniqlashga hamda amaliy misollar orqali uning fizik mazmunini yanada chuqurroq tushuntirishga qaratilgan.

Tahlil va natijalar. Klassik yondashuv va Umumiy nisbiylik (GR) natijalarini solishtirish. Gravitatsion qizilga siljish hodisasini ikki xil yondashuv — klassik va umumiy nisbiylik (GR) nazariyasi asosida taqqoslash ushbu tadqiqotning muhim bosqichidir. Quyida ikkala yondashuvning matematik ifodalari, ularning moslik sharoitlari hamda farq paydo bo'ladigan sohalarda tahlil qilinadi.

Klassik yondashuvdan olingan natija:

$$v(r) = v_0 \exp\left[\frac{GM}{c^2} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0}\right)\right]$$

Agar foton cheksizlikka chiqayotgan deb faraz qilinsa ($r \rightarrow \infty$), bu tenglama quyidagicha yoziladi:

$$v(r) = v_0 \exp\left[-\frac{GM}{r_0 c^2}\right]$$

Umumiy nisbiylik (GR) nazariyasiga ko'ra,[3-7] Schwarzschild metrikasidan olingan ifoda:

$$\frac{v_0}{v_e} = \sqrt{\frac{\left(1 - \frac{2GM}{c^2 r_e}\right)}{\left(1 - \frac{2GM}{c^2 r_0}\right)}}$$

Agar kuzatuvchi cheksizlikda joylashgan bo'lsa ($r \rightarrow \infty$), bu formula soddalashadi:

$$v_\infty = v_0 \sqrt{\left(1 - \frac{2GM}{c^2 r_0}\right)}$$

Zaif gravitatsion maydon uchun[1] (ya'ni $G \cdot M / (c^2 \cdot r) \ll 1$) kvadrat ildiz ifodasini Teylor qatoriga yoyamiz:

$$\sqrt{1-x} \approx 1 - \frac{x}{2} \text{ bunda } x = \frac{2GM}{c^2 r_0}$$

Shundan so'ng GR natijasi taxminan:

$$v \approx v_0 \left(1 - \frac{GM}{c^2 r_0}\right)$$

(8)

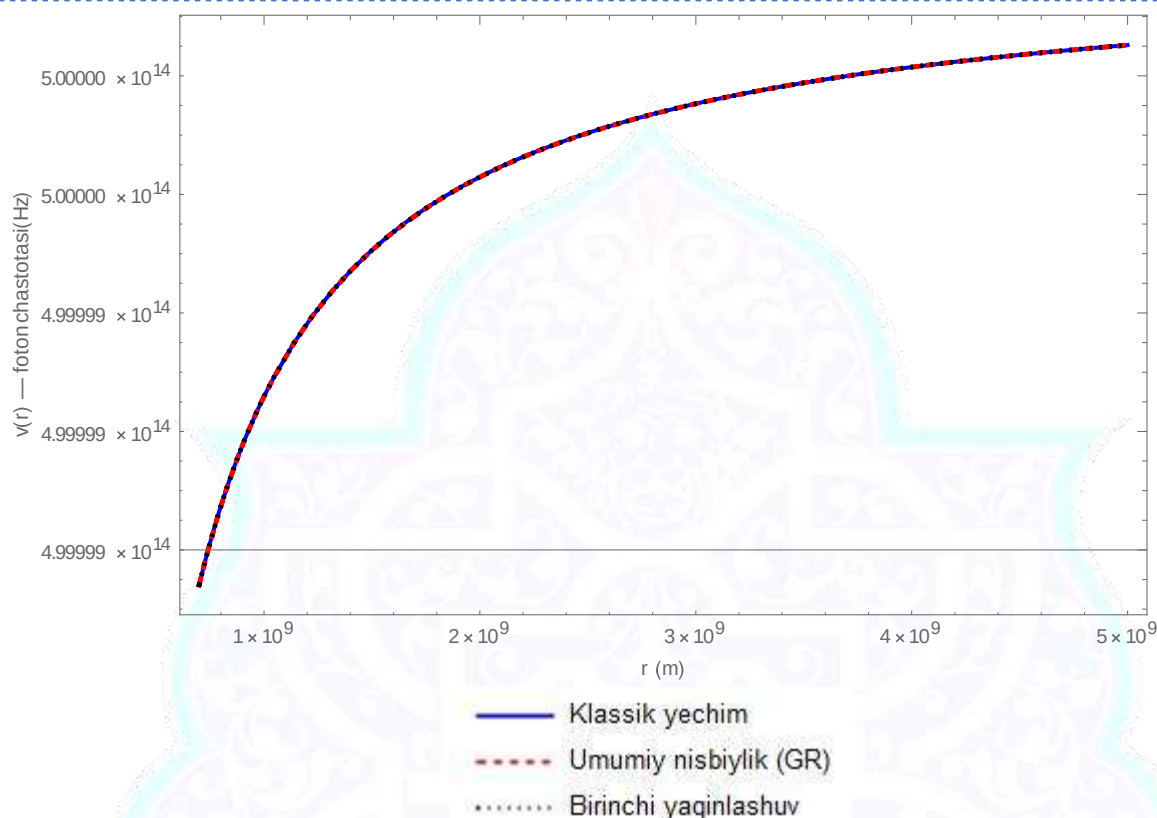
Klassik natija (5) ni ham kichik qiymatlar uchun yozsak:

$$v(r) = v_0 \exp\left[-\frac{GM}{r_0 c^2}\right] \approx v_0 \left(1 - \frac{GM}{c^2 r_0}\right)$$

(9)

Bu holda (5) va (6) ifodalar bir xil quyidagi shaklga keladi:

$$v_\infty \approx v_0 \left(1 - \frac{GM}{c^2 r_0}\right)$$



Xulosa: Ko‘rinib turibdiki, ikkala yondashuv zaif gravitatsion maydon sharoitida to‘liq mos keladi. Bu shuni anglatadiki, klassik energiya saqlanish asosidagi yondashuv umumiy nisbiylik nazariyasining cheklangan holati sifatida ishlaydi. Ammo kuchli gravitatsion maydonda (masalan, neytron yulduz yoki qora tuynuk atrofida) $G \cdot M / (c^2 \cdot r) > 0.1$ bo‘lganda, eksponensial va kvadrat ildiz orasidagi farq sezilarli bo‘ladi. Bu sohalarda GR ta’siri kuchli namoyon bo‘ladi, klassik yondashuv esa faqat yaqinlashgan natija beradi. Klassik yechim quyidagi sharoitlarda to‘g‘ri ishlaydi:

1. Gravitatsion potentsial zaif bo‘lsa ($G \cdot M / (c^2 \cdot r) \ll 1$);
2. Foton tezligi c ga teng va chiziqli yo‘nalishda harakatlanayotgan deb qaralsa;
3. Foton massasi $m = h \cdot \nu / c^2$ ifodasi shartli qabul qilingan holda energiya saqlanish qonuni amal qilsa.

Bu sharoitlarda klassik yondashuv GR bilan mos natijani beradi va gravitatsion qizilga siljish hodisasini oddiy differensial usulda izohlash imkonini yaratadi. Kuchli gravitatsion sohalarda esa GR nazariyasining to‘liq relativistik ifodalarini qo‘llash zarur bo‘ladi.

ADABIYOTLAR

1. Landau, L. D., Lifshits, E. M. *Klassik nazariya maydonov*. Moskva: Nauka, 1988.
2. Misner, C. W., Thorne, K. S., Wheeler, J. A. *Gravitation*. San Francisco: W. H. Freeman, 1973.

3. Einstein, A. *The Foundation of the General Theory of Relativity*. Annalen der Physik, 49, 769–822 (1916).
4. Carroll, S. M. *Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity*. Pearson Addison Wesley, 2004.
5. Hartle, J. B. *Gravity: An Introduction to Einstein's General Relativity*. Addison Wesley, 2003.
6. Weinberg, S. *Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity*. Wiley, 1972.
7. Tolman, R. C. *Relativity, Thermodynamics, and Cosmology*. Oxford University Press, 1934.
8. Feynman, R. P., Leighton, R. B., Sands, M. *The Feynman Lectures on Physics, Vol. II: Mainly Electromagnetism and Matter*. Addison Wesley, 1964.