



GRAVITATSION ZICHLIK VA BOSIMNING FIZIK MOHIYATI

Bauatdinov Gulomjan Suinovich

Toshkent shahar, Shayhontohur tuman 10-maktab o'qituvchisi

gulambauatdinov@gmail.com

tel.: 913737391

Annotatsiya. Maqolada gravitatsion zichlik va bosim tushunchalarining klassik mexanika, astrofizika va umumiy nisbiylik nazariyasidagi fizik mazmuni tahlil qilinadi. Zichlik moddaning hajm birligiga to'g'ri keladigan massasi sifatida gravitatsion maydon manbai bo'lsa, bosim modda ichidagi kuchlanish holatini ifodalaydi. Nyuton gravitatsiyasida asosiy manba massa zichligi hisoblanadi, umumiy nisbiylik nazariyasida esa energiya zichligi bilan bir qatorda bosim ham gravitatsion maydon hosil bo'lishida ishtirok etadi. Maqolada Poisson tenglamasi, gidrostatik muvozanat tenglamasi, ideal gaz bosimi, Tolman–Oppenheimer–Volkoff tenglamasi va kosmologik Friedmann tenglamalari orqali zichlik va bosimning gravitatsion tizimlardagi o'rni yoritiladi.

Kalit so'zlar: gravitatsiya, zichlik, bosim, massa zichligi, energiya zichligi, gidrostatik muvozanat, yulduzlar tuzilishi, umumiy nisbiylik nazariyasi, TOV tenglamasi, kosmologiya.

GRAVITATIONAL DENSITY AND PRESSURE

Abstract. This article analyzes the physical meaning of gravitational density and pressure in classical mechanics, astrophysics, and general relativity. Density, as mass per unit volume, acts as a source of the gravitational field, while pressure characterizes the internal stress state of matter. In Newtonian gravity, mass density is the main source of gravity, whereas in general relativity, pressure also contributes to the generation of the gravitational field together with energy



density. The article discusses the role of density and pressure in gravitational systems through the Poisson equation, hydrostatic equilibrium equation, ideal gas law, Tolman–Oppenheimer–Volkoff equation, and cosmological Friedmann equations.

Keywords: gravity, density, pressure, mass density, energy density, hydrostatic equilibrium, stellar structure, general relativity, TOV equation, cosmology.

ГРАВИТАЦИОННАЯ ПЛОТНОСТЬ И ДАВЛЕНИЕ

Аннотация. В статье анализируется физический смысл гравитационной плотности и давления в классической механике, астрофизике и общей теории относительности. Плотность как масса единицы объёма выступает источником гравитационного поля, а давление характеризует внутреннее напряжённое состояние вещества. В ньютоновской гравитации основным источником поля является массовая плотность, тогда как в общей теории относительности наряду с плотностью энергии в создании гравитационного поля участвует и давление. В статье раскрывается роль плотности и давления в гравитационных системах через уравнение Пуассона, уравнение гидростатического равновесия, уравнение состояния идеального газа, уравнение Толмана–Оппенгеймера–Волкова и космологические уравнения Фридмана.

Ключевые слова: гравитация, плотность, давление, массовая плотность, плотность энергии, гидростатическое равновесие, строение звёзд, общая теория относительности, уравнение ТОВ, космология.

Kirish. Gravitatsion zichlik va bosim tushunchalari fizika, astrofizika va kosmologiyada muhim o‘rin tutadi. Oddiy mexanikada zichlik jism massasining hajm bo‘yicha taqsimlanishini bildiradi. Gravitatsiyada esa zichlik maydon



manbai sifatida qaraladi: massa qanchalik zich joylashgan bo'lsa, uning gravitatsion ta'siri ham shunchalik kuchli bo'ladi. Shu sababli sayyora, yulduz, oq mitti, neytron yulduz va galaktika kabi obyektlarni tushuntirishda zichlik asosiy fizik kattaliklardan biri hisoblanadi.

Bosim ham gravitatsion tizimlarda muhim rol o'ynaydi. Yer sharoitidagi suyuqlik yoki gazlarda bosim moddaning ichki kuchlanish holatini ifodalaydi. Yulduzlar fizikasi nuqtayi nazaridan esa bosim yulduzni gravitatsion siqilishdan saqlab turadigan asosiy qarshi kuchdir. Yulduz ichkarisida gravitatsiya modda qatlamlarini markazga tortadi, gaz bosimi, nurlanish bosimi yoki degeneratsiya bosimi esa bu siqilishga qarshi turadi. Zamonaviy fizikada gravitatsion zichlik va bosim tushunchalari umumiy nisbiylik nazariyasi doirasida yanada chuqurroq mazmun kasb etadi. Nyuton nazariyasida gravitatsiya manbai massa zichligi bo'lsa, Eynshteyn nazariyasida energiya zichligi, impuls oqimi va bosim ham gravitatsion maydonni belgilovchi omillar qatoriga kiradi. Bu holat ayniqsa neytron yulduzlar, qora tuynuklar yaqinidagi muhit va koinot evolyutsiyasini o'rganishda muhim ahamiyatga ega.

Asosiy qism. Zichlik fizikada moddaning hajm birligiga to'g'ri keladigan massasini ifodalaydi. Klassik ko'rinishda u quyidagicha yoziladi:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Bu yerda ρ — massa zichligi, m — massa, V — hajm. Agar massa fazoda bir tekis taqsimlanmagan bo'lsa, zichlik lokal kattalik sifatida olinadi:

$$\rho(\vec{r}) = \frac{dm}{dV}$$

Bu formula gravitatsion tizimlarni o'rganishda muhimdir, chunki sayyora yoki yulduz massasining qanday taqsimlangani uning gravitatsion maydonini belgilaydi [1; 2].



Nyuton gravitatsiyasida massa zichligi gravitatsion potensial manbai hisoblanadi. Gravitatsion potensial Φ va massa zichligi ρ o'rtasidagi bog'lanish Poisson tenglamasi bilan ifodalanadi:

$$\nabla^2 \Phi = 4\pi G \rho$$

Bu yerda G — gravitatsion doimiy, Φ — gravitatsion potensial, ρ — massa zichligi. Mazkur tenglama zichlik taqsimoti ma'lum bo'lsa, gravitatsion potensialni aniqlash imkonini beradi. Agar $\rho = 0$ bo'lsa, bo'sh fazoda Laplas tenglamasi hosil bo'ladi:

$$\nabla^2 \Phi = 0$$

Poisson tenglamasi klassik gravitatsiya, geofizika, yulduzlar dinamikasi va galaktikalar tuzilishini o'rganishda asosiy tenglamalardan biri hisoblanadi [2; 3].

Sferik simmetrik jism uchun radius r ichidagi massa quyidagicha hisoblanadi:

$$M(r) = 4\pi \int_0^r \rho(r') r'^2 dr'$$

Bu ifoda yulduzlar, sayyoralar va gaz bulutlari uchun juda muhim. Agar zichlik markazdan tashqariga qarab kamayib borsa, gravitatsion maydon ham shu taqsimotga mos ravishda o'zgaradi. Sferik simmetrik jism tashqarisidagi gravitatsion tezlanish Nyuton qonuni bilan aniqlanadi:

$$g(r) = \frac{GM(r)}{r^2}$$

Bu yerda $M(r)$ radius ichidagi massa bo'lib, jism ichki tuzilishini hisobga oladi [3; 4].



Bosim modda ichida birlik yuzaga tik yo'nalishda ta'sir qiluvchi kuch sifatida aniqlanadi:

$$P = \frac{F}{S}$$

Bu yerda P — bosim, F — kuch, S — yuza. Suyuqlik va gazlarda bosim barcha yo'nalishlarda ta'sir qiladi. Mikroskopik nuqtayi nazardan bosim zarrachalarning tartibsiz issiqlik harakati va ular devor yoki qo'shni qatlamlarga urilishi natijasida hosil bo'ladi. Ideal gaz uchun bosim holat tenglamasi orqali ifodalanadi:

$$P = \frac{\rho k_B T}{\mu m_p}$$

Bu yerda k_B — Boltsman doimiysi, T — temperatura, μ — o'rtacha molekulyar massa, m_p — proton massasi. Bu tenglama yulduzlar ichki tuzilishini tushuntirishda qo'llaniladi, chunki yulduz markazidagi yuqori temperatura gaz bosimini yuzaga keltiradi [4; 5].

Gravitatsion tizimlarda bosim va zichlik o'rtasidagi muvozanat gidrostatik muvozanat tenglamasi bilan beriladi:

$$\frac{dP}{dr} = -\rho(r) \frac{GM(r)}{r^2}$$

Bu tenglama yulduz yoki sayyora ichida bosimning radius bo'yicha qanday o'zgarishini ko'rsatadi. Tenglamaning o'ng tomonidagi minus ishora bosim tashqariga qarab kamayishini bildiradi. Markazda bosim eng katta bo'ladi, chunki yuqoridagi barcha qatlamlar og'irligi ichki qatlamlarga bosim beradi. Hidrostatik muvozanat yulduzlar uzoq vaqt barqaror turishini tushuntiradigan asosiy fizik mexanizmdir [4; 6].



Yulduzlarning barqarorligi gravitatsion siqilish va ichki bosim o'rtasidagi muvozanatga bog'liq. Gravitatsiya modda qatlamlarini markazga tortadi, termik gaz bosimi esa tashqariga itaruvchi ta'sir ko'rsatadi. Agar yadro reaksiyalari energiya ishlab chiqarsa, temperatura yuqori saqlanadi va bosim gravitatsiyani muvozanatlaydi. Yadro yoqilg'isi tugaganda bosim kamayadi, gravitatsiya ustun keladi va yulduz evolyutsiyasining keyingi bosqichi boshlanadi: oq mitti, neytron yulduz yoki qora tuynuk shakllanishi mumkin [5; 6].

Yulduz ichida faqat gaz bosimi emas, nurlanish bosimi ham muhim bo'lishi mumkin. Juda massiv va issiq yulduzlarda fotonlar bosimi quyidagicha ifodalanadi:

$$P_{rad} = \frac{1}{3} aT^4$$

Bu yerda a — nurlanish doimiysi, T — temperatura. Kichik va o'rtacha massali yulduzlarda gaz bosimi ustun bo'lsa, juda katta massali yulduzlarda nurlanish bosimi muhim rol o'ynaydi. Bu holat yulduzlarning barqarorlik chegaralari va evolyutsion yo'llarini belgilaydi [4; 5].

Kompakt obyektlarda, xususan oq mittilar va neytron yulduzlarda, kvant mexanik bosim shakllari muhim ahamiyatga ega. Oq mittilarda elektron degeneratsiya bosimi gravitatsion siqilishga qarshi turadi. Neytron yulduzlarda esa neytron degeneratsiya bosimi va yadroviy kuchlar asosiy rol o'ynaydi. Degeneratsiya bosimi temperatura bilan oddiy gaz bosimi kabi bog'lanmaydi, u Pauli taqiqlash prinsipidan kelib chiqadi. Shuning uchun kompakt yulduzlar soviganda ham ma'lum bosimni saqlab qoladi [6; 7].

Umumiy nisbiylik nazariyasida zichlik va bosim gravitatsiya manbai sifatida stress-energiya tenzori orqali ifodalanadi. Ideal suyuqlik uchun stress-energiya tenzori quyidagicha yoziladi:

$$T^{\mu\nu} = \left(\rho + \frac{P}{c^2}\right) u^\mu u^\nu + P g^{\mu\nu}$$



Bu yerda $T^{\mu\nu}$ — stress-energiya tenzori, ρ — massa-energiya zichligi, P — bosim, c — yorug'lik tezligi, u^μ — to'rt tezlik, $g^{\mu\nu}$ — metrik tenzor. Bu formula bosimning ham gravitatsion maydon manbai bo'lishini ko'rsatadi. Nyuton nazariyasida bosim odatda gravitatsiya manbai sifatida qaralmaydi, lekin umumiy nisbiylikda bosim energiya-impuls taqsimotining ajralmas qismidir [8; 9].

Eynshteyn maydon tenglamalari umumiy nisbiylik nazariyasining asosiy tenglamasidir:

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

Bu yerda $G_{\mu\nu}$ — Eynshteyn tenzori, Λ — kosmologik doimiy, $T_{\mu\nu}$ — stress-energiya tenzori. Tenglama fazo-vaqt geometriyasi modda va energiya taqsimoti bilan belgilanadi degan g'oyani ifodalaydi. Shu jihatdan gravitatsion zichlik oddiy massa zichligi emas, balki energiya zichligi, bosim va impuls oqimlarini ham o'z ichiga oluvchi kengroq tushunchaga aylanadi [8; 9].

Neytron yulduzlar kabi kuchli gravitatsion obyektlarda Nyutoncha gidrostatik muvozanat yetarli emas. Bunday holatda Tolman–Oppenheimer–Volkoff tenglamasi qo'llanadi:

$$\frac{dP}{dr} = - \frac{G \left(\rho + \frac{P}{c^2} \right) \left(M(r) + 4\pi r^3 \frac{P}{c^2} \right)}{r^2 \left(1 - \frac{2GM(r)}{rc^2} \right)}$$

Bu tenglama umumiy nisbiylik sharoitida yulduz ichidagi bosim gradientini ifodalaydi. Unda ρ bilan birga P/c^2 hadlarining mavjudligi bosim ham gravitatsion ta'sirda qatnashishini ko'rsatadi. Neytron yulduzlarning maksimal



massasi, radiusi va ichki tuzilishini aniqlashda TOV tenglamasi asosiy nazariy vositalardan biridir [7; 9; 10].

Kosmologiyada zichlik va bosim koinot evolyutsiyasini belgilovchi asosiy kattaliklardir. Bir jinsli va izotrop koinot modelida Friedmann tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$H^2 = \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{kc^2}{a^2} + \frac{\Lambda c^2}{3}$$

Bu yerda H — Hubble parametri, $a(t)$ — masshtab faktori, ρ — energiya zichligi, k — fazoviy egrilik parametri, Λ — kosmologik doimiy. Ushbu tenglama koinot kengayish tezligi zichlik va kosmologik doimiyga bog'liq ekanini ko'rsatadi [9; 11].

Koinot kengayishining tezlanishi yoki sekinlashishini ifodalovchi ikkinchi Friedmann tenglamasida bosim alohida rol o'ynaydi:

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}\left(\rho + \frac{3P}{c^2}\right) + \frac{\Lambda c^2}{3}$$

Bu tenglamada $\rho + 3P/c^2$ kombinatsiyasi faol gravitatsion manba sifatida namoyon bo'ladi. Oddiy modda va nurlanish uchun bosim musbat bo'lib, kengayishni sekinlashtiruvchi gravitatsion ta'sir ko'rsatadi. Qorong'i energiya modelida esa bosim manfiy bo'lishi mumkin, bu esa koinot kengayishining tezlanishini tushuntirishda ishlatiladi [9; 11].

Kosmologik moddalarning holat tenglamasi odatda quyidagicha yoziladi:

$$P = w\rho c^2$$

Bu yerda w — holat parametri. Sovuq modda uchun $w \approx 0$, nurlanish uchun $w = 1/3$, kosmologik doimiyga mos qorong'i energiya uchun $w = -1$. Bu parametr bosimning energiya zichligiga nisbatini ifodalaydi. Demak, bosim



koinot dinamikasida faqat ichki kuchlanish emas, balki kengayish xarakterini belgilovchi kosmologik omildir [9; 11].

Gravitatsion zichlik tushunchasi ba'zan oddiy massa zichligidan kengroq ma'noda ishlatiladi. Nyuton mexanikasida faol gravitatsion manba ρ bilan ifodalansa, relativistik nazariyada gravitatsion ta'sirga energiya zichligi va bosim ham hissa qo'shadi. Shuning uchun kuchli gravitatsion maydonlarda "zichlik"ni faqat kg/m^3 birlikdagi massa taqsimoti sifatida emas, balki energiya-impuls taqsimoti sifatida ko'rish zarur [8; 9].

Gravitatsion zichlik va bosim o'rtasidagi munosabat astrofizik obyektlarning taqdirini belgilaydi. Agar bosim gravitatsion siqilishga qarshi yetarli bo'lsa, obyekt muvozanatda turadi. Agar bosim yetarli bo'lmasa, kollaps yuz beradi. Massiv yulduzlar evolyutsiyasida bu jarayon qora tuynuk hosil bo'lishiga olib kelishi mumkin. Qora tuynuk holatida moddaning zichligi va bosimi haqidagi klassik tasavvurlar fazo-vaqt geometriyasi bilan almashtiriladi [7; 10].

Gravitatsion tizimlarni tahlil qilishda birliklar ham muhim. Zichlik SI tizimida kg/m^3 , bosim esa paskal ($Pa = N/m^2$) bilan o'lchanadi. Energiya zichligi J/m^3 birlikda ifodalanadi va u bosim bilan bir xil o'lchamga ega. Bu fakt umumiy nisbiylikda bosim va energiya zichligi bir xil nazariy tizimda ko'rilishini tushunishga yordam beradi:

$$1Pa = 1 \frac{N}{m^2} = 1 \frac{J}{m^3}$$

Demak, bosim energiya zichligi bilan bir xil o'lchamga ega bo'lib, relativistik fizikada ularning yaqin bog'liqligi tabiiy holdir [8; 9].

Gravitatsion zichlik va bosimni o'rganish zamonaviy fizikada bir nechta asosiy yo'nalishga xizmat qiladi. Birinchidan, sayyora va yulduzlarning ichki tuzilishini aniqlashda ular zarur kattaliklardir. Ikkinchidan, kompakt obyektlar —



oq mittilar, neytron yulduzlar va qora tuynuklar fizikasi zichlik va bosimning ekstremal qiymatlarini o'rganadi. Uchinchidan, kosmologiya koinot kengayishini energiya zichligi va bosim orqali tushuntiradi. To'rtinchidan, yuqori energiyalar fizikasi va yadro fizikasi zich modda holat tenglamalarini ishlab chiqish orqali astrofizik modellarga hissa qo'shadi [7; 10; 11].

Xulosa. Gravitatsion zichlik va bosim fizikada moddaning fazoda taqsimlanishi, ichki kuchlanish holati va gravitatsion tizimlarning barqarorligini tushuntiruvchi asosiy kattaliklardir. Klassik Nyuton gravitatsiyasida massa zichligi gravitatsion potensial manbai sifatida Poisson tenglamasi orqali ifodalanadi. Bosim esa yulduz va sayyora ichki qatlamlarida gidrostatik muvozanatni ta'minlovchi kuch sifatida namoyon bo'ladi. Astrofizikada zichlik va bosim yulduzlarning tug'ilishi, evolyutsiyasi va yakuniy taqdirini belgilaydi. Gaz bosimi, nurlanish bosimi va degeneratsiya bosimi turli obyektlarda gravitatsion siqilishga qarshi turadi. Ayniqsa, oq mitti va neytron yulduzlarda kvant mexanik bosimlar hal qiluvchi ahamiyatga ega.

Umumiy nisbiylik nazariyasida bosim ham gravitatsiya manbai sifatida ishtirok etadi. Stress-energiya tenzori modda, energiya, impuls va bosimni yagona geometrik tizimga kiritadi. Tolman–Oppenheimer–Volkoff tenglamasi kuchli gravitatsion maydonlarda yulduz muvozanatini tavsiflaydi, Friedmann tenglamalari esa koinot dinamikasini zichlik va bosim orqali tushuntiradi. Shu jihatdan gravitatsion zichlik va bosim tushunchalari nafaqat klassik mexanika, balki yulduzlar fizikasi, kompakt obyektlar nazariyasi, kosmologiya va zamonaviy nazariy fizikaning markaziy tushunchalari qatoriga kiradi. Ularni chuqur o'rganish moddaning ekstremal holatlari, koinot evolyutsiyasi va gravitatsiya tabiatini anglash uchun muhim nazariy asos yaratadi.

Olingan xulosalarga ko'ra quyidagi **taklif va tavsiyalar** bildiriladi:



- fizika ta'limida zichlik va bosim tushunchalari faqat mexanik kattalik sifatida emas, balki gravitatsion tizimlar va astrofizik obyektlar bilan bog'lab tushuntirilishi kerak;
- yulduzlar tuzilishi, neytron yulduzlar va kosmologiya mavzularida Poisson tenglamasi, gidrostatik muvozanat, TOV va Friedmann tenglamalaridan soddalashtirilgan shaklda foydalanish ilmiy tafakkurni kuchaytiradi;
- oliy ta'limda gravitatsion zichlik va bosimni o'rganishda klassik mexanika, termodinamika, kvant mexanikasi va umumiy nisbiylik nazariyasini integratsiyalashgan holda o'qitish maqsadga muvofiq;
- talabalar uchun astrofizik obyektlarning zichlik va bosim qiymatlarini taqqoslovchi jadval, grafik va hisoblash topshiriqlarini ishlab chiqish mavzuni amaliy tushunishga yordam beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Том 1. Механика. Молекулярная физика. – Москва: Наука, 1982.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Том 1. Механика. – 5-е изд. – Москва: Физматлит, 2004.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Том 2. Теория поля. – 8-е изд. – Москва: Физматлит, 2006.
4. Chandrasekhar S. An Introduction to the Study of Stellar Structure. – Chicago: University of Chicago Press, 1939.
5. Kippenhahn R., Weigert A., Weiss A. Stellar Structure and Evolution. – 2nd ed. – Berlin: Springer, 2012.
6. Hansen C.J., Kawaler S.D., Trimble V. Stellar Interiors: Physical Principles, Structure, and Evolution. – 2nd ed. – New York: Springer, 2004.
7. Shapiro S.L., Teukolsky S.A. Black Holes, White Dwarfs, and Neutron Stars: The Physics of Compact Objects. – New York: Wiley-Interscience, 1983.



8. Misner C.W., Thorne K.S., Wheeler J.A. Gravitation. – San Francisco: W.H. Freeman, 1973.
9. Carroll S.M. Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity. – San Francisco: Addison-Wesley, 2004.
10. Schutz B. A First Course in General Relativity. – 2nd ed. – Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
11. Weinberg S. Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity. – New York: John Wiley & Sons, 1972.
12. Padmanabhan T. Gravitation: Foundations and Frontiers. – Cambridge: Cambridge University Press, 2010.