

## MANFIY MASSA EFFEKTI

Ahadov Abdullo Amrullojon o'g'li<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Buxoro davlat universiteti

<sup>2</sup> Buxoro davlat tibbiyot instituti

**Abstrakt:** Ushbu maqolada zamonaviy fizikaning eng dolzarb mavzularidan biri bo'lmish manfiy massa tushunchasi yoritiladi. Dastlab manfiy massa ta'rifi, manfiy massa effekti, manfiy va musbat massali jismlarning gravitatsion maydonda o'zining tutishi haqida ma'lumotlar beriladi, so'ngra manfiy massa effekti qayd etilgan tajriba detallari qisqacha bayon etiladi. Maqola so'nggida mavzuning dolzarb va istiqbolli jihatlari qayd etildi. O'zbek tilida manfiy massa haqida ma'lumotlar yetishmovchiligini to'ldirish va qiziquvchilarga qulaylik yaratish maqsadida ma'lumotlar sodda va ravon tilda ba'zi qisqartirish bilan beriladi.

**Kalit so'zlar:** Manfiy massa, manfiy massa effekti, musbat massa, "qochuvchan harakat", Boze-Eyneshteyn kondensati, o'ta oquvchanlik, o'ta o'tkazuvchanlik, metamateriallar.

## KIRISH

Manfiy massali jism tushunchasi nazariy fizikada g'ayrioddiy xususiyatli moddalar uchun fanga kiritilgan [1]. Manfiy massa Nyuton mexanikasidagi biz bilgan massa ya'ni "musbat" massadan farqli ravishda manfiy qiymatlarni qabul qiladi. Masalan, manfiy massali jismning massa -1 kg, -2 kg yoki boshqa bir manfiy qiymatga ega bo'ladi.

Fizikaning turli nazariy va amaliy, xususan, umuman yangi sohalarini rivojlantirishda manfiy massa tushunchasidan foydalaniladi. Jumladan, kosmologiyada qora muhit va uning energiyasining mavjudligini tushuntirishda [2], nisbiylik nazariyasida gravitatsion maydon va kuchlarning xossalari tadqiq etishda [3], kvant mexanikasida vaqt o'lchovini takomillashtirishda [4], tebranishlar nazariyasida plazmasimon sistemalar va metamateriallarning tebranishlarini o'rganish uchun manfiy massa tushunchasi keng qo'llaniladi [5,6].

## ADABIYOTLAR TAHLILI

Manfiy massa nazariyasi va manfiy massa effekti bo'yicha ko'plab ilmiy maqolalar yozilgan. Jumladan, manfiy massa fizikasiga poydevor qo'ygan maqola Herman Bondi muallifligidagi "Negative mass in general relativity" (*Reviews of Modern Physics* 29, no. 3 (1957): 423.) nashridan keyin anchagina nazariy va amaliy natijalar e'lon qilindi. Ushbu maqolani yozishda shu mavzu bo'yicha avvalgi ilmiy

izlanishlardan foydalaniladi. Jumladan, 8 ta ilmiy maqola va 4 ta ilmiy internet saytlaridagi ma'lumotlar va muallif o'z izlanishlari natijalarini maqolada uyg'unlashtirdi.

### TADQIQOT METADOLOGIYASI.

Mantiqan zaryadning ikki turi, ya'ni musbat va manfiy zaryad tabiatda mavjud ekanligidan massaning ham musbat va manfiy turlari bo'lishi mumkin. Albatta, bizning kundalik hayotimizda kamdan-kam manfiy massa haqida gapiriladi. Isaak Nyuton tomonidan kash etilgan harakat qonunlaridan ikkinchi qonunga ko'ra jism unga ta'sir etuvchi kuchlarning teng ta'sir etuvchisi yo'nalishida tezlanish oladi. Masalan, koptokni ma'lum kuch bilan tepsak, u tepish yo'nalishida to'g'ri chiziqli tekis tezlanuvchan harakat qiladi. Bu holda tezlanish yo'nalishi bilan natijaviy kuch yo'nalishi bilan bir xildir. Bu kabi Nyutonning 2-qonunini tasdiqlovchi ko'plab holatlarga real hayotda juda ko'p sondagi tajriba va kuzatishlar orqali guvoh bo'lamiz.

Agar tabiatda manfiy massa mavjud deb hisoblasak u uchun Nyutonning 2-qonuni quyidagicha yoziladi:

$$\vec{F} = -m\vec{a} \quad (1)$$

Bu yerda  $\vec{F}$ - jismga ta'sir etuvchi kuchlarning teng ta'sir etuvchisining vektori,  $-m$  – manfiy massa qiymati va  $\vec{a}$  – jismning tezlanish vektori (bu yerda  $m$ - musbat son). Biz (1) dan manfiy massali jismga etuvchi kuchlarning teng ta'sir etuvchisi yo'nalishiga qarama-qarshi yo'nalishda tezlanish olishini xulosa qilamiz. Shunday qilib, o'ziga ta'sir etuvchi kuchlarning teng ta'sir etuvchisi yo'nalishiga qarama-qarshi yo'nalishda tezlanish olgan holda harakatlanadigan jism **manfiy massali jism** va uning bu kabi harakati **manfiy massa effekti** deyiladi.

Shu o'rinda massaning fizikadagi o'lchash usullariga ko'ra bir necha ta'riflari mavjudligini qayd etish kerak. Nazariy fizika gravitatsion massa va inersial massa tushunchalari mavjud.

Gravitatsion massa noma'lum massaning tortishish kuchini ma'lum massaning tortishish kuchiga solishtirish orqali o'lchanadi. Bu usul odatda, qandaydir balans shkalasi bilan amalga oshiriladi. Ushbu usulning ajoyibligi shundaki, bu solishtirish usulini Yer yoki boshqa bir sayyorada amalga oshirmaylik massalar nisbati bir xil bo'ladi, chunki har bir jism aynan bir tortishish maydonida bir xil tezlanishga ega bo'ladi.

Inersial massa esa noma'lum massaga ma'lum kuch ta'sir ettirib, tezlanishni o'lchash va Nyutonning ikkinchi qonunini qo'llash, ya'ni  $m = F/a$  nisbat orqali topiladi.

Garchi gravitatsion massa va inert massa ta'rif va topilish usuli jihatidan bir-biridan farqlansa ham ularning qiymatlari aynan teng bo'lar ekan. O'tkazilgan ko'plab tajribalar buni tasdiqlaydi va bu qonunni inkor etuvchi holat hali qayd etilmagan [7].

H.Bondi o'zining "Negative mass in general relativity" ("Umumiy nisbiylikda manfiy massa") deb nomlangan maqolasida massa tushunchasiga oid to'rtta holatni ilgari surdi [3]:

- 1) Barcha massalari musbat;
- 2) Inersial massa manfiy, gravitatsion massa musbat;
- 3) Inersial massa musbat, gravitatsion massa manfiy;
- 4) Hamma massalar manfiy.

Shuningdek, H. Bondi o'z maqolada yuqorida holatlarning har birini izohladi. Jumladan, uning fikricha barcha massalar musbat bo'lishi bizga tanish tushunchadir. Jism manfiy inersial massa va musbat gravitatsion massaga ega bo'lishi uchun unga gravitatsion yoki boshqa turdagi kuchlar ta'sir etishi ammo u faqat odatiy jismlar kabi gravitatsion kuchlar bilan boshqa jismlarga ta'sir eta olishi kerak bo'ladi. Inersial massa musbat, gravitatsion massa manfiy bo'lsa, jism gravitatsion bo'lmagan kuchlar ta'siri ostida bo'ladigan normal jismlar kabi xususiyatlarga ega bo'ladi, ammo bu va birinchi farazdagi holatdagi massa turlarining gravitation tabiati manfiy Kulon qonuni asosida boshqarilishi mumkin bo'ladi, ya'ni bir xil (musbat yoki manfiy) massalari bir-biriga tortishishadi va har xil (biri musbat, ikkinchi manfiy) massalar bir-biridan itariladi. Va nihoyat tabiatda "hamma massalar manfiy" degan faraz ikkinchi va uchinchi farazlarning kombinatsiyalardan iborat. Bunday materiya gravitatsion bo'lmagan kuchlar ta'sirida emas, oddiy materiya kabi gravitatsion kuchlar ta'siri bo'ladi, lekin itarish gravitatsion maydon hosil qiladi.

Biz quyida Nyuton tomonidan topilgan gravitatsiya qonuni ifodasi bo'lmish

$$|\vec{F}| = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (2)$$

formuladan foydalangan holda manfiy massali jismning gravitatsion maydondagi xususiyatlarini ko'rib chiqamiz.

Agar  $m_1$  va  $m_2$  massalar musbat bo'lsa, unda gravitatsion maydonda ularga ta'sir etuvchi kuchlar  $F_1$  va  $F_2$  kuchlar qarama-qarshi yo'nalgan va miqdor jihatdan teng kuchlar bo'ladi:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2 = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{u} \quad (3)$$

bu ifodada  $\vec{u}$  vektor  $m_1$  dan  $m_2$  ga yo'nalgan birlik vektordir. Va shuningdek biz Nyutonning ikkinchi qonuni asosida ikkita musbat massaning o'zaro tortishishi natijasida olgan tezlanishlarini quyidagicha yozamiz:

$$\vec{Y}_1 = + G \frac{m_2}{r^2} \vec{u} \quad (4)$$

$$\vec{Y}_2 = - G \frac{m_1}{r^2} \vec{u} \quad (5)$$

(4) va (5) tenglamalardan ko'rish mumkinki, ikkita musbat massali jismlar qarama-qarshi yo'nalishli tezlanishga ega bo'ladilar va bizga ma'lum odatiy holatlardagidek bir-birlariga tortishishadi (1-rasm).

Endi massalardan biri manfiy, biri musbat bo'lgan, masalan,  $m_1 > 0$  va  $m_2 < 0$  bo'lgan holga e'tibor qarataylik. (4) va (5) tenglamalarni  $m_1 = |m_1|$  va  $m_2 = -|m_2|$  kabi belgilab olishlar orqali quyidagicha yozamiz:

$$\vec{Y}_1 = - G \frac{|m_2|}{r^2} \vec{u} \quad (6)$$

$$\vec{Y}_2 = - G \frac{|m_1|}{r^2} \vec{u} \quad (7)$$

Bu tenglamalardan  $m_1$  va  $m_2$  massali jismlar  $-\vec{u}$  bilan bir xil yo'nalishda tezlanish olishadi. (6) va (7) tenglamalarni (4) va (5) bilan solishtirsak, biz  $m_1$  jism  $m_2$  jismga tortiladi, ammo  $m_2$  jism  $m_1$  jismdan itariladi (2-rasm). Agar  $|m_1| = |m_2|$  bo'lsa ularning orasidagi masofa o'zgarmay qolaveradi, bunda tezlanishlar teng va o'zgarmas bo'ladi. Bu holat "qochuvchan harakati" ("run away motion") deb nomlangan.

Agar  $|m_1|$  son  $|m_2|$  qiymatdan ancha katta bo'lsa (masalan, manfiy massali electron yoki proton Yer sirtiga tushayotgan holat)  $\vec{Y}_1$  tezlanishni hisobga olmasa ham bo'ladi va  $m_2$  massali jism musbat massali jism kabi  $\vec{Y}_2$  tezlanish oladi.

$m_1 < 0$  va  $m_2 < 0$  bo'lgan holat ham diqqatga sazovor. Bu hol uchun (4) va (5) tenglamalarni  $m_1 = -|m_1|$  va  $m_2 = -|m_2|$  kabi belgilab olishlar orqali qayta tuzib olsak,  $\vec{Y}_1$  tezlanish (6) tenglama kabi va  $\vec{Y}_2$  tezlanish esa

$$\vec{Y}_2 = - G \frac{m_1}{r^2} \vec{u} \quad (8)$$

kabi ifodalanishini topamiz. Bundan  $m_1$  massali jism  $-\vec{u}$  yo'nalishda,  $m_2$  massali jism esa  $+\vec{u}$  yo'nalishda tezlashishini payqash qiyin emas. Demak, ikkita manfiy massali jism bir-biridan itariladi (3-rasm).



1-rasm. Ikkita musbat massali jismlar bir-birlariga tortishishadi.



2-rasm. Musbat massali jism manfiy massali jismga tortiladi, ammo manfiy massali jism esa musbat massali jismdan itariladi.



3-rasm. Ikkita manfiy massali jism bir-biridan itariladi.

### TAHLILLAR VA NATIJALAR

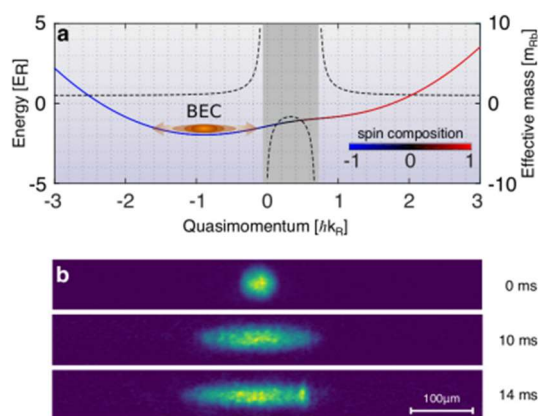
Manfiy massa effekti hodisasi tajribalarda ham kuzatilgan. 2017-yil Vashington Universiteti olimlari quyidagi tajribani amalga oshirishdi: ular rubidiy  $^{105}_{87}Rb$  atomlarini absolyut nolga yaqin temperaturalariga sovutib, Bose-Eynshteyn kondensati deb ataluvchi modda agregat holatini hosil qilishdi, ya'ni bu bilan manfiy massa uchun sharoit hosil qilishdi. Satyendra Bose va Albert Eynshteyn tomonidan bashorat qilingan Bose-Eynshteyn kondensati holatida zarralar juda sekin harakat qiladi va kvant mexanikasi tamoyillariga amal qilib, o'zini to'liqin kabi tutadi. Ular, shuningdek, energiyani yo'qotmasdan o'qadigan o'ta oquvchanlikda bo'lib birgalikda harakatlanishadi. Tadqiqotda zarralarni sekinlashtirish va sovutish bilan birga issiq va katta energiyali zarrachalarni sovuq zarrachalardan uzoqlashtirish uchun lazerlar qo'llanildi.

Lazerlar go'yoki atomlarni o'lchami yuz mikrondan kichik bo'lgan idishga solib qo'ydi. Bu vaqtda o'ta oquvchan rubidiy doimiy massaga egadir. Idishni sindirish rubidiyning shoshilib chiqib ketishiga imkon beradi va markazdagi rubidiy tashqariga qarab kengayadi.

Manfiy massani olish uchun ushbu tajribada ikkinchi marta lazer dastasi hosil qilindi, bunda lazer yordamida atomlar ortga qaytarildi va ularning spini yo'nalishi o'zgartirildi. Bu vaziyatda rubidiy atomlari tashqi kuchga qarama-qarshi yo'nalishda harakatlana boshlaydi! Bu manfiy massa effekti! Ya'ni rubidiy atomlari shunday holatga tushadiki, ularga bir joyga yig'ilishi uchun lazer bilan ta'sir etganda, ular ko'rinmas devorga urilgandek ortga tarqab ketishadi.

Manfiy massa  $WS_2$  kristalida bo'yicha izlanishlarda va yana ko'pgina tajribalarda hosil qilingan.

Manfiy massa effekti uchun nazariyalar ishlab chiqilgan va tajribalarda bu effekt kuzatilgan bo'lsa-da, qandaydir hali fanga noma'lum bo'lgan haqiqatlar bilan hali tanish bo'lmaganimiz uchun ko'plab savollarga javob topishga ojiz qolmoqdamiz. Masalan, dastlab Koinotdagi katta manfiy massa bilan sodir bo'lganligi yuzasidan ishonarli fikrlar hali yo'q. Massaga bog'lig fizikaviy kattaliklarni qayta ko'rib chiqish zarurati ham mavjud.



4-rasm. a) Boze-Eyneshteyn kondensatidagi manfiy massa effekti, bunda rangli chiziqlar manfiy massa holatini chegaralaydi; b) tajribaning 0, 10 and 14 ms vaqtlaridagi rubidiy holati [9].

## XULOSALAR

Yuqoridagi ma'lumotlardan manfiy massa tushunchasi fizikada juda qiziq va g'ayritabiiy hodisalar ohilishiga xizmat qilmoqda. Ayni vaqtda dunyoning turli buxaklarida manfiy massa effekti yoki unga bog'liq turli sohalar bo'yicha ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Manfiy massa effekti fazo-vaqt nazariyasini takomillashtirish, yorug'lik tezligidan katta tezliklar nazariyasini ishlab chiqish, metamateriallar kabi o'ziga xos moddalar xossalarini to'liqroq o'rganish va hali fanda ma'lum bo'lmagan qirralarini ochish uchun juda muhim katalizator

vazifasidagi unsurlardan biri ekanligini so'nggi ilmiy yangiliklardan bilib olishimiz mumkin.

Shuningdek, manfiy massa effektini bir qator masalalarni yechish qo'llash mumkin deb hisoblaymiz. Jumladan, quyidagi muammoli masalalarni hal etishda bu effekt xossalari haqidagi faktlar asqotishi mumkin:

- O'ta oquvchanlik tabiatini fizikaviy nuqtayi nazardan batafsil bayon etishda;

- O'ta o'tkazuvchanlikning zamonaviy nazariyalarini ishlab chiqishda;

- Boze-Eyneshteyn kondensati dinamikasini o'rganishda;

- Umumiy va nisbiylik nazariyasini yorug'lik tezligidan katta tezlikdagi harakatlar bilan kengaytirish nazariyalarida;

- Navyer-Stoks tenglamalar kabi massa va zichlikga bog'liq bo'lgan klassik fizika tenglamalarni yechish va ularning fizikaviy mohiyati ochib berishda.

- Umuman olganda, manfiy massa effektini chuqur tahlil etish orqali yangidan yangi yutuqlar erishish ilm-fan oldidagi muhim vazifalardan biri bo'lib turibdi.

#### ADABIYOTLAR.

[1]. [https://en.wikipedia.org/wiki/Negative\\_mass](https://en.wikipedia.org/wiki/Negative_mass).

[2]. Farnes, J.S., 2018. A unifying theory of dark energy and dark matter: Negative masses and matter creation within a modified  $\Lambda$ CDM framework. *Astronomy & Astrophysics*, 620, p. A92.

[3]. Bondi, H., Rev. Mod. Phys., 29, 423 (1957).

[4]. Michael S. Morris, Kip S. Thorne, and Ulvi Yurtsever. Phys. Rev. Lett. 61, 1446.

[5]. Bormashenko E, Legchenkova I. Negative Effective Mass in Plasmonic Systems. Materials (Basel). 2020 Apr 17;13(8):1890. doi: 10.3390/ma13081890. PMID: 32316640; PMCID: PMC7215794.

[6]. Bormashenko E, Legchenkova I, Frenkel M. Negative Effective Mass in Plasmonic Systems II: Elucidating the Optical and Acoustical Branches of Vibrations and the Possibility of Anti-Resonance Propagation. Materials (Basel). 2020 Aug 9;13(16):3512. doi: 10.3390/ma13163512. PMID: 32784869; PMCID: PMC7476018.

[7]. <https://www.physlink.com/education/askexperts/ae305.cfm>.

[8]. Kannan, Rajaswathi & Muruganandam, Paulsamy. (2023). Negative mass effects in spin-orbit coupled spin-1 Bose-Einstein Condensates.

[9]. Khamehchi, M. & Hossain, Khalid & Mossman, Maren & Zhang, Yongping & Busch, Thomas & Forbes, Michael & Engels, Peter. (2016). Negative-Mass

Hydrodynamics in a Spin-Orbit–Coupled Bose-Einstein Condensate. *Physical Review Letters*. 118. 10.1103/PhysRevLett.118.155301

[10]. <https://phys.org/news/2017-04-physicists-negative-mass>.

[11]. Wurdack, M., Yun, T., Katzer, M. *et al.* Negative-mass exciton polaritons induced by dissipative light-matter coupling in an atomically thin semiconductor. *Nat Commun* **14**, 1026 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-36618-6>

[12]. <https://steemit.com/steemstem/@jent/negative-mass>.