



6-MAVZU. INERSIAL VA NOINERSIAL SANOQ TIZIMLAR.

1. Inertsial sanoq tizimlar. Galiley almashtirishlari
2. Noinertsial sanoq tizimlar. Inersiya kuchlari.
3. Eynshteynning nisbiylik nazariyasi.
4. Lorens almashtirishlari. Relyativistik mexanikada tezliklarni qo‘shish. Lorens almashtirishlariga nisbatan harakat tenglamasining invariantligi.

1. Inersial sanoq tizimlari. Galiley almashtirishlari

«Inersial tizim» (nemischadan: *Inertial system*) termini 1885 yilda Lyudvig Lan tomonidan taklif etilgan bo‘lib, Nyuton qonunlari uchun o‘rinli bo‘lgan koordinatalar tizimini anglatadi. Nisbiylik nazariyasi paydo bo‘lishi bilan bu tushunchani «Inersial sanoq tizimlari» deb umumlashtirildi.

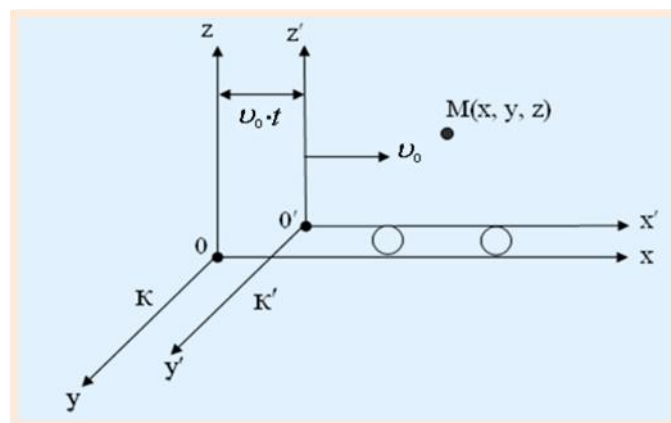
Inersial sanoq tizimlari, inersiya qonunlari o‘rinli bo‘lgan sanoq tizimi bo‘lib, jismga hech qanday kuchlar ta‘sir etmasa, u tinch yoki to‘g‘ri chiziqli tekis harakatini saqlab qoladi. Inersial sanoq tizimiga nisbatan tezlanish bilan harakatlanayotgan sanoq tizimi noinersial bo‘lib, unda inersiya qonunlari bajarilmaydi.

Bir inersial sanoq tizimidan boshqasiga o‘tganda Nyutonning klassik mexanikasida fazoviy koordinatalar va vaqt uchun Galiley almashtirishlari, relyativistik mexanikada esa Lorens almashtirishlari o‘rinli bo‘ladi.

Galileyning nisbiylik prinsipi klassik mexanika uchun o‘rinli bo‘lib quyidagicha ifodalanadi: tizim qo‘zg‘almas yoki to‘g‘ri chiziqli tekis holatda bo‘lishidan qat’iy nazar inersial sanoq tizimlarida fizik jarayonlar bir xil kechadi.

Jismning harakati va tinch holati biz kuzatayotgan sanoq tizimlariga nisbatan nisbiy tushunchalardir.

Bir-biriga nisbatan tekis va to‘g‘ri chiziqli harakat qilayotgan sanoq tizimlarining birida Nyuton qonunlari bajarilsa, bunday sanoq tizimlari **inersial sanoq tizimlari** deb ataladi.



1 - rasm. Bir-biriga nisbatan tekis va to‘g‘ri chiziqli harakat qilayotgan inersial sanoq tizimlari

Oddiy misolda bir inersial tizimdagi nuqta koordinatalaridan ikkinchi tizimdagi koordinatalarga o'tish formulalarini keltirib chiqarishga harakat qilamiz. Shartli tinch holatda bo'lgan K sanoq tizimiga nisbatan OX o'qi bo'ylab $v_0 = const$ tezlik bilan harakatlanayotgan K' sanoq tizimini olamiz (1- rasm). $t = 0$ momentda ikki sanoq tizimi bir-birining ustiga tushadi.

t vaqtdan so'ng K – tizimdagi qandaydir M nuqtaning koordinatalari $M(x, y, z)$ bo'lsin.

K' – sanoq tizimida esa, bu nuqtaning koordinatalari

$$x = x' - v_0 t, \quad y = y', \quad z = z', \quad (6.1)$$

$$K' \rightarrow K$$

Natijada,

$$x = x' + v_0 t, \quad y = y', \quad z = z', \quad t = t' \quad (6.2)$$

(6.2) ifodaga ega bo'lamiz. Har ikki tizimda vaqt bir xil o'tadi. $t = t'$

Bular Galileyning koordinatalarni almashtirish ifodalari yoki klassik mexanikaning koordinatalarni almashtirish ifodalari deb ataladi.

(6.2) ifodalardan t vaqt bo'yicha hosila olamiz:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{dx'}{dt} + v_0; \quad \frac{dy}{dt} = \frac{dy'}{dt}; \quad \frac{dz}{dt} = \frac{dz'}{dt},$$

$$v_x = v'_x + v_0; \quad v_y = v'_y; \quad v_z = v'_z$$

yoki vektor ko'rinishda:

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{v}_0. \quad (6.3)$$

(6.3) ifoda klassik mexanikada tezliklarni qo'shish ifodasi hisoblanadi.

Bir sanoq tizimidan ikkinchi sanoq tizimiga o'tishda koordinatalarni almashtirish (6.1) ifoda bilan, tezliklarni almashtirish esa (6.3) ifoda bilan amalga oshiriladi.

(6.3) ifodadan t vaqt bo'yicha hosila olsak:

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{dv'}{dt}; \quad \vec{a} = \vec{a}' \quad (6.4)$$

(6.4) ifodaga ega bo'lamiz. Barcha sanoq tizimlarida tezlanish bir xil bo'lib, bir inersial sanoq tizimidan ikkinchi sanoq tizimiga o'tish invariant bo'ladi.

2. Noinersial sanoq tizimlari. Inersiya kuchlari

Noinersial sanoq tizimi - tezlanish bilan harakatlanayotgan sanoq tizimidir, Nyutonning ikkinchi qonuni ham, noinersial sanoq tizimlarida bajarilmaydi. Noinersial sanoq tizimlarida moddiy nuqtaning harakat tenglamasi shaklan anayutonning ikkinchi qonuniga mos kelishi uchun, inersial sanoq tizimlarida ta'sir etuvchi odatdagi kuchlarga, qo'shimcha ravishda inersiya kuchlarini kiritish kerak bo'ladi.

Noinersial sanoq tizimlarida jismlarda yopiq tizim (inersiya kuchlari doim tashqi kuch hisoblanadi) bo'lmasligini e'tiborga olsak, ularda impuls, impuls moment va energiyaning saqlanish qonunlari bajarilmaydi.

$$\text{Инерция кучи – Кориолис кучидир} \quad \vec{F} = 2m[\vec{g}' \cdot \vec{\omega}] \quad (6.5)$$

$$v = g' + \omega R$$

g' - aylanayotgan sanoq tizimiga nisbatan tezlik

g - aylanmayotgan sanoq tizimiga nisbatan tezlik

ω - aylanayotgan sanoq tizimining burchak tezligi

$$F_{\text{inersiya}} = ma_n = m \cdot \frac{g^2}{R} = m \cdot \frac{(g' + \omega R)^2}{R} = m \cdot \frac{g'^2 + 2g'\omega R + \omega^2 R^2}{R} =$$

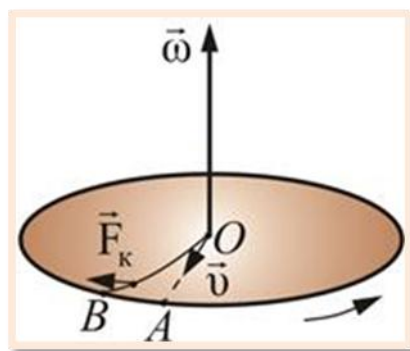
$$= m \cdot \frac{g'^2}{R} + 2m \cdot g' \cdot \omega + m \cdot \omega^2 R$$

$F = m \cdot \frac{g'^2}{R}$ - aylanuvchi sanoq tizimiga nisbatan jismga ta'sir etuvchi kuch

$F_K = 2m \cdot g' \cdot \omega$ - Koriolis kuchi.

$F_{m.q.} = m \cdot \omega^2 R$ - markazdan qochma kuch

Koriolis kuchini paydo bo'lishini quyidagi misolda ko'rish mumkin. Vertikal o'q atrofida aylanuvchi gorizontol holatda joylashgan disk olamiz. Diskda OA to'g'ri chiziq chizamiz.



Sharchani g tezkik bilan O dan A qo'yib yuboramiz. Agar disk aylanmayotgan bo'lsa, sharcha OA bo'yicha harakatlanadi. Agar ko'rsatilgan strelka bo'ylab diskni harakarga keltirsak, sharcha OB egri chiziq bo'ylab harakatlana boshlaydi, tezlik ham diskka nisbatan o'z yo'nalishini tezda o'zgartiradi. Shunday qilib aylanayotgan tizimga nisbatan sharcha, xuddi unga ta'sir etuvchi F_K kuch sharchaning harakat yo'nalishiga nisbatan perpendikulyar bo'lganidek harakat qiladi.

Koriolis kuchi faqat aylanuvchi sanoq tizimida harakatlanuvchi jismlarga ta'sir etadi va jismning harakat tezligi yo'nalishiga ko'ndalang yo'nalgan bo'ladi.

Inertsiya kuchining xususiyatlari:

- Inertsial sanoq tizimlarida inertsiya kuchlari mavjud emas.
- Bir tezlanuvchan tizimdan ikkinchisiga o'tishga nisbatan inertsiya kuchlari invariant emas.

- Inertsiya kuchlari Nyutonning uchinchi qonuniga bo'ysunmaydi.
- Noinertsial sanoq tizimida bo'lgan istalgan jismga ta'sir qiluvchi inertsiya kuchi – tashqidir.
- Inertsiya kuchi moddiy nuqta massasiga proporsionaldir.
- Inertsiya kuchlari ostidagi moddiy nuqtalarning harakati tashqi kuch maydonlaridagi harakatlariga o'xshashdir.

3.Eynshteyn postulatlarini.

Eynshteynning maxsus nisbiylik-relyativistik nazariyasi ikkita postulatga asoslangan:

1.Nisbiylik prinsipi: barcha inersial sanoq tizimlari teng huquqlidir, bu tizimlarda tabiat hodisalari bir xilda o'tadi va qonunlar bir xil ifodalanadi.

Boshqacha qilib aytganda, barcha fizikaviy hodisalar turli inersial sanoq tizimlarida bir xil sodir bo'lib, mexanik, elektromagnit, optik va shu kabi tajribalar yordamida, berilgan inersial sanoq tizimining tinch turganligini yoki to'g'ri chiziqli tekis harakatlanayotganligini aniqlab bo'lmaydi.

2.Yorug'lik tezligining invariantlik prinsipi: yorug'likning vakuumdagi tezligi barcha inersial sanoq tizimlarida bir xil bo'lib, manba va kuzatuvchining nisbiy harakat tezligiga bog'liq emas.

Maxsus nisbiylik nazariyasining birinchi postulati Galileyning nisbiylik prinsipiga muvofiq keladi va uni yorug'likning tarqalish qonunlariga joriy etib, umumlashtiradi.

Ammo ikkala postulatning bir vaqtdagi tabiiy Galiley almashtirishlariga ziddir.

Bu ikkala postulat barcha eksperimental dalillar bilan tasdiqlangani uchun, bu ziddiyat postulatlar orasida emas, balki postulatlar bilan Galiley almashtirishlari orasida mavjuddir. Chunki Galiley almashtirishlarini yorug'lik tezligiga yaqin tezlikdagi harakatlarga tatbiq etib bo'lmaydi. Eynshteyn shunday almashtirishlarni topdiki, bu almashtirishlar maxsus nisbiylik nazariyasining ikkala postulatiga ham, Galiley almashtirishlariga ham muvofiq keladi.

4.Lorens almashtirishlari. Relyativistik mexanikada tezliklarni qo'shish. Lorens almashtirishlariga nisbatan harakat tenglamasining invariantligi.

Bir inersial tizimdan boshqasiga o'tganda, Eynshteyn postulatlarini hisobga olgan holda, 1904 yilda Lorens almashtirish formulalarini taklif etdi.

Yorug'lik tezligiga yaqin tezliklar uchun Lorens quyidagi ifodalarni oldi:

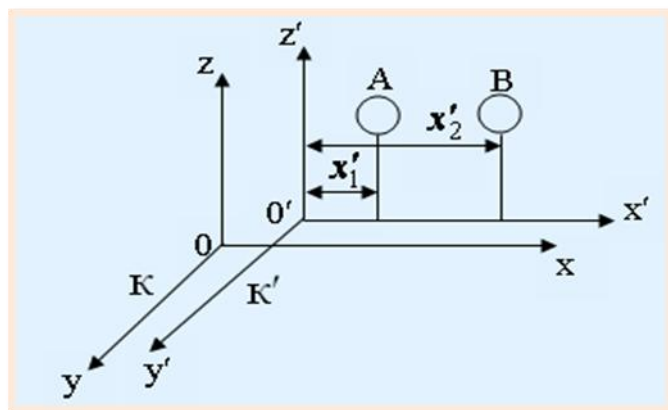
$$x = \frac{x' + v_0 t'}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}, \quad y = y', \quad z = z', \quad t = \frac{t' + \frac{v_0 x'}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}. \quad (6.6)$$

Bu ifodalar mashhur **Lorens almashtirishlari** ifodalaridir.

Lorens almashtirishlarining bir necha natijasini keltiramiz:

Bir vaqtdalikning nisbiyligi. Biror bir tizimning har xil nuqtalarida bir vaqtda sodir bo'layotgan hodisalar, boshqa tizimda bir vaqtda sodir bo'lmashligi mumkin.

2 -rasmda K' sanoq tizimida, koordinatalari $x'_1 \neq x'_2$ bo'lgan



2- rasm. Bir-biriga nisbatan tekis va to'g'ri chiziqli harakat qilayotgan sanoq tizimlarida sodir bo'ladigan hodisalarning vaqt momentlari

A va B nuqtalarda bir vaqtda $t'_1 = t'_2$ ikkita lampa yorishgan bo'lsin.

K – sanoq tizimida t_1 va t_2 vaqt momentlari (6.6) ifodaga binoan quyidagicha bo'ladi:

$$t_1 = \frac{t'_1 + \frac{v_0 x'_1}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}} \quad \text{va} \quad t_2 = \frac{t'_2 + \frac{v_0 x'_2}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}$$

$$t'_1 = t'_2 \quad \text{va} \quad x'_1 \neq x'_2$$

bo'lgani uchun

$$t_1 \neq t_2,$$

ya'ni K – sanoq tizimida ikkita lampa har xil vaqtlarda yorishadi.

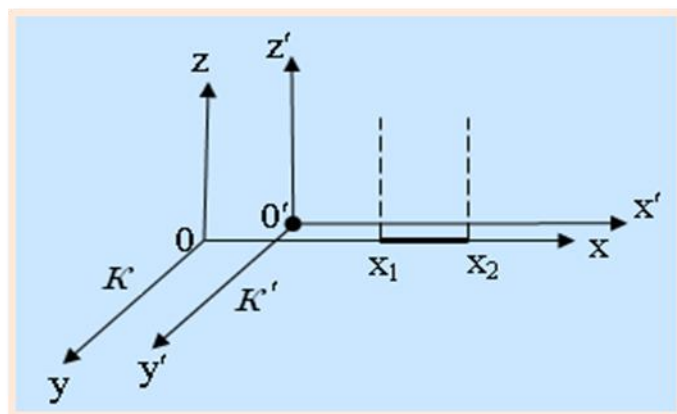
Uzunlikning(masofaning) nisbiyligi. K sanoq tizimida OX o'qi bo'ylab koordinatalari x_1 va x_2 bo'lgan sterjen yotgan bo'lsin (3-rasm).

K sanoq tizimida sterjenning uzunligi $l_0 = x_2 - x_1$ bo'ladi.

K tizimda esa $l = x'_2 - x'_1$, bu yerda $t'_1 = t'_2$.

(6.6) ifodadagi Lorens almashtirishlariga asosan:

$$l_0 = x_2 - x_1 = \frac{x'_2 + v_0 t'_2}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}} - \frac{x'_1 + v_0 t'_1}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}} = \frac{l}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}$$



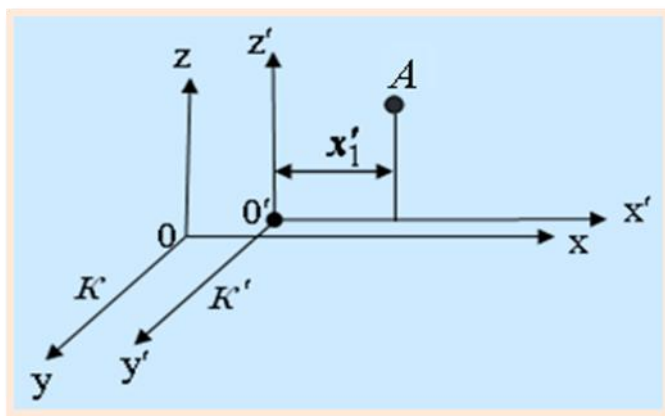
3- rasm. Bir-biriga nisbatan harakatda bo'lgan sanoq tizimida uzunlik o'lchamining o'zgarishi

yoki
$$l = l_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}.$$

Sterjen tinch holatda bo‘lgan K – sanoq tizimiga nisbatan v_0 – tezlik bilan harakatlanayotgan K' – sanoq tizimida sterjenning uzunligi $\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}$ marta kichikdir.

Tizimning v_0 – tezligi, yorug‘lik tezligiga yaqinlashishi bilan, sterjenning uzunligi nolga tenglashadi va uning haqiqiy uzunligi yoqola boradi.

Vaqt oraliqlarining nisbiyligi. K' tizimda koordinatalari $x'_1 \neq x'_2$ bo‘lgan A – nuqtada lampa t'_1 – vaqtda yorishib, t'_2 – momentda o‘chadi (4 - rasm).



4- rasm. Bir-biriga nisbatan harakatda bo‘lgan sanoq tizimida vaqtning o‘zgarishi

K' –tizimda lampaning yonish vaqti quyidagiga teng:

$$\Delta t' = t'_2 - t'_1.$$

Lorensalmashtirishlaridan foydalanib K – tizimda yonish vaqtini ifodalab ko‘ramiz:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{t'_2 + \frac{v_0}{c^2} x'_2}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}} - \frac{t'_1 + \frac{v_0}{c^2} x'_1}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}} = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}};$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}; \quad \Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}.$$

Hodisa sodir bo‘layotgan tizimning tezligi yorug‘lik tezligiga yaqinlashishi bilan K – tizimda yonish vaqti cheksizlikka intiladi va o‘z ma‘nosini yo‘qotadi.

Tezliklarni qo‘shish imkoniyati. (6.3) va (6.6) ifodalardan foydalanib tezliklarni qo‘shishning relyativistik ifodasini keltirib chiqarish mumkin. Yuqoridagi ifodalarning hosilalarini keltiramiz:

$$dx = \frac{dx' + v_0 dt'}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}; \quad dt = \frac{dt' + \frac{v_0}{c^2} dx'}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}};$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{dx' + v_0 dt'}{dt' + \frac{v_0}{c^2} dx'} \quad v_x = \frac{v'_x + v_0}{1 + \frac{v_0}{c^2} v'_x}$$

Yoki

$$v'_x = \frac{v_x - v_0}{1 - \frac{v_0}{c^2} v_x}$$

Shunga o'xshash

(6.7)

$$v_y = \frac{v'_y \cdot \sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}{1 + \frac{v'_x v_0}{c^2}}; \quad v_z = \frac{v'_z \cdot \sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}{1 + \frac{v'_x v_0}{c^2}}$$

(6.7) ifoda tezliklarni qo'shishni relyativistik ifodalari.

Massaning nisbiyligi. Klassik mexanikaga asosan, jismning massasi o'zgarmasdir. Ammo zarrachalar tezligining ortishida o'tkazilgan tajribalarda massaning tezlikka bog'liqligi kuzatilgan:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (6.8)$$

bu yerda m_0 – tinch holatda turgan elektronning massasi; m – relyativistik massa deb ataladi.

Nyutonning klassik dinamikasiga asosan: $\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt}$.

Moddiy nuqta relyativistik dinamikasining asosiy qonunini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\vec{F} = \frac{d}{dt} \left(\frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot \vec{v} \right) \quad (6.9)$$

Moddiy nuqtaning relyativistik impulsI:

$$\vec{P} = m\vec{v} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot \vec{v} \quad (6.10)$$

Energiyaning relyativistik ifodasi.

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (6.11)$$

$$E_0 = m_0 c^2 \quad - \text{ tinchlikdagi energiya} \quad (6.12)$$

$$E_k = E - E_0 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}} - m_0 c^2 \quad - \text{ kinetik energiya} \quad (6.13)$$

Relyativistik invariantlik

$$p = m \mathcal{G} \quad (6.14)$$

$$E_0 = m c^2 \quad (6.15)$$

(6.15) ifoda Lorens almashtirishlariga nisbatan invariant hisoblanadi. Yana bir muhim to'la energiya va impulsni bog'lovchi munosabatni aniqlaymiz.

$$p = \frac{E}{c^2} \mathcal{G} \quad (6.16)$$

$$P = \frac{m_0 \mathcal{G}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (6.17)$$

$$p^2 = \frac{m_0^2 \mathcal{G}^2}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (6.18)$$

$$\mathcal{G}^2 = \frac{p^2 c^2}{p^2 + m_0^2 c^2} \quad (6.19)$$

$$p^2 = \frac{p^2 E^2}{(p^2 + m_0^2 c^2) c^2} \quad (6.20)$$

$$E = c \sqrt{p^2 + m_0^2 c^2} \quad (6.21)$$

$$\frac{E^2}{c^2} - p^2 = m_0^2 c^2 = \text{inv} \quad (6.22)$$

Shunday qilib, energiya va impulsni bog'lovchi invariant ifoda olindi.

Xulosa: energiya va impuls relyativistik mexanikada doimo saqlanib qolmaydi.

Lorens almashtirishlari – ikkita inertsial sanoq tizimlarida qandaydir hodisaning koordinatalari va vaqtini bog'lovchi tenglamalardir. Galiley almashtirishlaridan farqli bo'lib Lorents almashtirishlari maxsus nisbiylik postulatlariga zid emas.

Maxsus nisbiylik nazariyasining ahamiyati shundaki, u katta tezliklarda juda aniq natijalar olish imkoniyatini beradi. Undan ham muhimrog'i, maxsus nisbiylik nazariyasi bizni dunyoqarashimizni o'zgarishiga olib keldi. Qachonlardir absolyut deb hisoblangan fazo va vaqt, nisbiy va o'zaro bog'liq ekanligi aniqlandi. Massa va energiya to'g'risidagi tushunchamiz ham o'zgardi. Yana boshqa relyativistik xususiyatlari, bular vaqtning sekinlashuvi, uzunlikning kamayishi va massaning ortishidir. Bundan tashqari maxsus nisbiylik nazariyasida tezliklarni qo'shish klassik mexanikadan farq qiladi.

Mavzu bo'yicha nazorat uchun testlar.

1. $0.8c$ tezlik bilan harakatlanayotgan jismning massasi(kg) nimaga teng. Jismning tinchlikdagi massasi 6 kg .

- A)* 10 B) 6 C) $4,8$ D) $3,6$

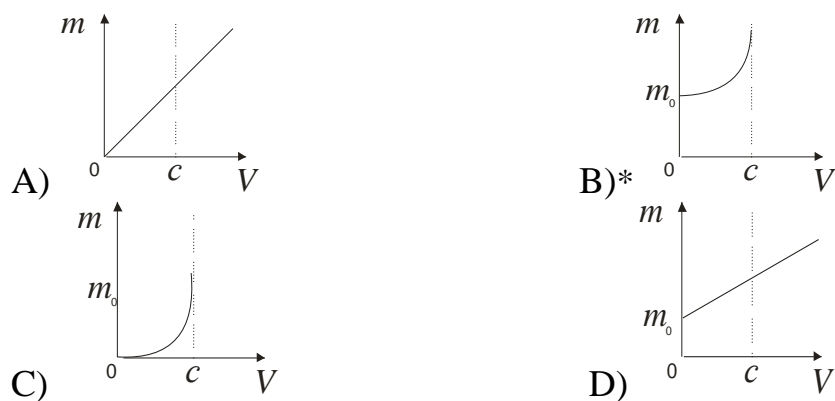
2. $9 \cdot 10^{13}\text{ J}$ tinchlikdagi energiya qanday jismning massasiga to'g'ri keladi?

- A) 10 g B)* 1 g C) 100g D) 1 kg

3. "Nisbiylik nazariyasi" termini kim tomonidan taklif etilgan:

- A) Galiley B) Eynshteyn C) Nyuton D) * Plank

4. Maxsus nisbiylik nazariyasida massaning tezlikka bog'liqligi qaysi grafikda keltirilgan?



5. Maxsus nisbiylik nazariyasining tajribaviy asosi sifatida kimning tajribasi olingan

- A) Nyuton B) Frenel C) * Maykelson D) Yung

6. Sizni chetlab $0.6c$ tezlik bilan raketa uchib o'tdi. Uning uzunligi sizga 60 m bo'lib ko'rindi. Raketaning haqiqiy uzunligi ... (m) ga teng.

- A) 36 B) 100 C) 48 D)* 75

7. Formulalardan qaysi biri maxsus nisbiylik nazariyasida zarrachaning kinetik energiyasini ifodalaydi?

$$A) W_k = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{g}{c}\right)^2}} \qquad B) * W_k = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{g^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

$$C) W_k = \frac{m g^2}{2} \qquad D) W_k = m_0 c^2$$

8. Raketa Yerdagi kuzatuvchiga nisbatan $g = 0.8c$ tezlik bilan harakatlanmoqda. Agar raketadagi soat bo'yicha 12 oy o'tgan bo'lsa, Yerdagi kuzatuvchining soati bo'yicha necha oy o'tgan?

- A) 8 B) 9 C)* 20 D) 10

9. Raketa Yerdagi kuzatuvchiga nisbatan $g = 0.6c$ tezlik bilan harakatlanmoqda. Agar raketadagi soat bo'yicha 8 oy o'tgan bo'lsa, Yerdagi kuzatuvchining soati bo'yicha necha oy o'tgan?

- A) 8 B) 9 C)* 10 D) 11

10. Sizni chetlab $0.8c$ tezlik bilan raketa uchib o'tdi. Uning uzunligi sizga $60m$ bo'lib ko'rindi. Raketaning haqiqiy uzunligi ... (m) ga teng.

- A) 36 B)* 100 C) 48 D) 75

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Д.Джанколи. ФИЗИКА. М.,Мир, 1989, т.2.
2. Савельев И. В. Курс физики. М.: Лань, 2011, т. 1.
3. Сивухин Д. В. Общий курс физики. — М., 2005., Т. I. Механика
4. Q.P.Abduraxmanov, O'.Egamov. FIZIKA. Darslik. Toshkent. 2015 y.
5. Q.P.Abduraxmanov, V.S.Xamidov, N.A.Axmedova. FIZIKA. Darslik. Toshkent. 2018 y.

Internet resurslari

1. <https://znaniya.com/task/6660193#readmore>
2. <http://www.falstad.com/mathphysics.html>