

VI-БӨЛІМ. КВАНТ ЖӘНЕ АТОМ ФИЗИКАСЫ

I-ТАРАУ. САЛЫСТЫРМАЛЫ ТЕОРИЯ

1. САЛЫСТЫРМАЛЫ ТЕОРИЯ ЭЛЕМЕНТТЕРІ

Әртүрлі санақ жүйелерінде механикалық құбылыстарды қарастыра отырып, Галилей келесі тұжырымға келді: кез келген өзара қатысты бір қалыпты қозғалған инерциялық санақ жүйелерінде, бірдей бастапқы шарт-тарда, барлық механикалық құбылыстар бірдей өтеді. Бұл қағида **Галилейдің салыстырмалылық принципі** деп аталады.

Бірақ, осы Галилейдің саластырмалылық принципі электромагниттік толқындар үшін орындалмайды.

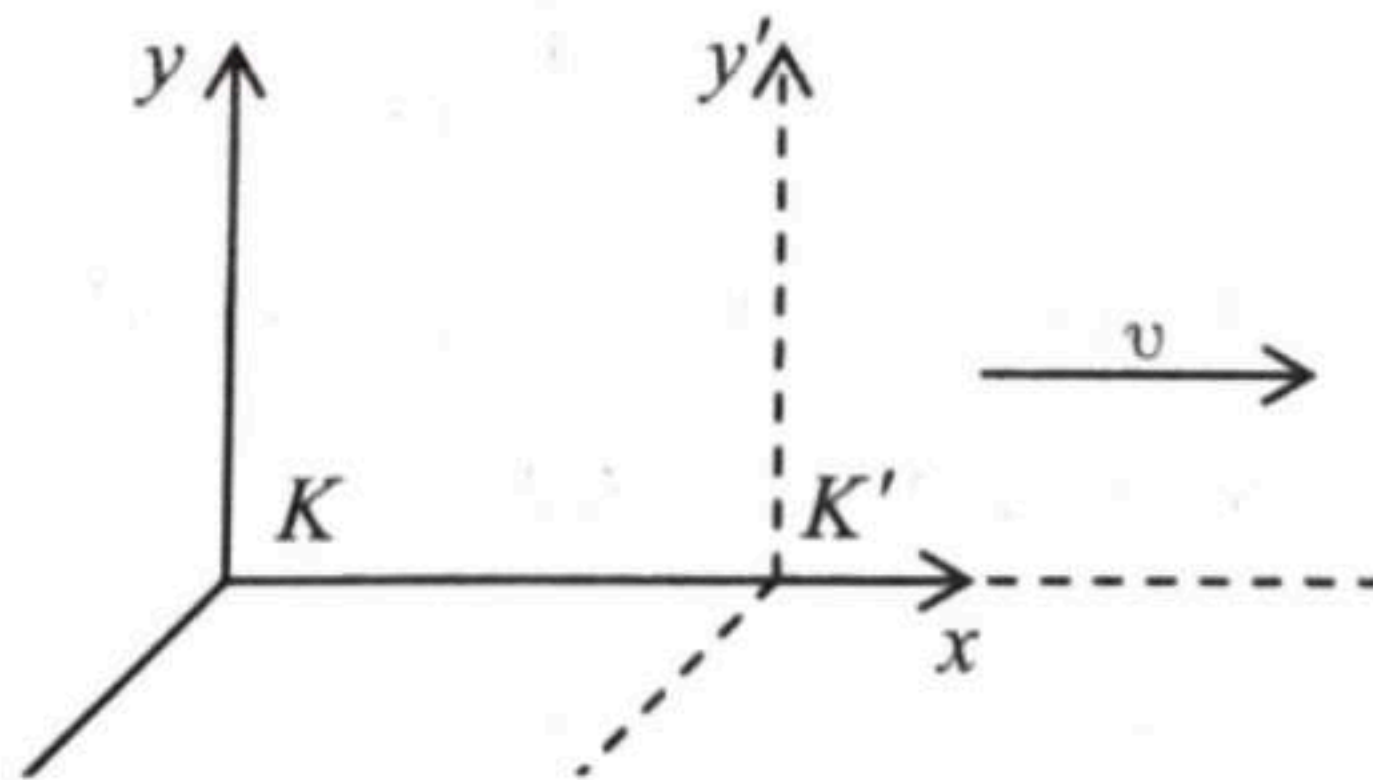
1905 жылы Альберт Эйнштейн өзінің **арнайы салыстырмалық теориясын** құрастырды. Бұл теорияның негізіне екі постулат алынған, ал олар тәжірибелік фактілерге сүйенеді.

1. *Салыстырмалылық принцип:* кез келген физикалық процесс әртүрлі инерциялық санақ жүйелерінде бірдей өтеді (бастапқы шарттары бірдей болғанда).
2. *Жарық жылдамдығының тұрақтылығы:* жарықтың вакуумдағы жылдамдығы жарық көзінің және бақылаушының жыл-дамдықтарына тәуелсіз.

Барлық физикалық құбылыстарға, оның ішінде электромагниттік құбылыстарға да арналған салыстырмалылық принцип – Эйнштейннің салыстырмалылық принципі деп аталады.

Салыстырмалылық принциптерді қабылдау классикалық физиканың кеңістік және уақыт туралы түсініктерін өзгертеді. Салыстырмалылық теориясы түсіндіретін, бірақ классикалық физикаға қайшы келетін құбылыстарды **релятивистік құбылыстар** немесе **релятивистік эффектiлер** деп атайды.

Егер дене жарық жылдамдығымен салыстырғанда кіші жылдамдықпен қозғал-са (K жүйесі), ол дене классикалық заңдар-ға бағынады. Дене жылдамдығы жарық жылдамдығына жақындағын кезде (K' жүйесі), релятивистік құбылыстар орын алады: дене ұзындығы қысқара бастайды, массасы арта бастайды және сол денемен байланысқан санақ жүйеде уақыт баяулай бастайды.



* K' санақ жүйесі, K тыныштықтағы санақ жүйесіне қатысты, v жылдамдықпен қозғалуда.

2. ҰЗЫНДЫҚТЫҢ РЕЛЯТИВИСТІК ҚЫСҚАРУЫ

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Символдар мен өлшем бірліктері:

l	K' жүйедегі ұзындық (м)
l_0	K жүйедегі ұзындық (м)
v	Дененің (жүйенің) жылдамдығы $\left(\frac{m}{c}\right)$
c	Жарық жылдамдығы $\left(\frac{m}{c}\right)$

3. МАССАНЫҢ РЕЛЯТИВИСТІК АРТУЫ

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Символдар мен өлшем бірліктері:

m	K' жүйедегі масса (кг)
m_0	K жүйедегі масса (кг)
v	Дененің (жүйенің) жылдамдығы $\left(\frac{m}{c}\right)$
c	Жарық жылдамдығы $\left(\frac{m}{c}\right)$

4. УАҚЫТТЫҢ РЕЛЯТИВИСТІК БАЯУЛАУЫ

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Символдар мен өлшем бірліктері:

τ	K жүйедегі екі оқиға арасындағы уақыт (с)
τ_0	K' жүйедегі екі оқиға арасындағы уақыт (с)
v	Дененің (жүйенің) жылдамдығы $\left(\frac{m}{c}\right)$
c	Жарық жылдамдығы $\left(\frac{m}{c}\right)$

* «егіздер парадоксы»: екі егіздің біреуі Жерде қалады, екіншісі ракетамен космоста үлкен жылдамдықпен қозғалады. Екеуі қайтадан кездескенде, Жерде қалған егізі екіншісінен жас жағынан үлкен болады (тез қартайды).

5. ЖЫЛДАМДЫҚТАРДЫ ҚОСУДЫҢ РЕЛЯТИВИСТІК ЕРЕЖЕСІ

$$v_{\text{rel}} = \frac{u + v}{1 + \frac{uv}{c^2}} \quad (\vec{u} \uparrow \uparrow \vec{v})$$

Символдар мен өлшем бірліктері:

u	Дененің K жүйесіндегі жылдамдығы $\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$
v	K' жүйенің жылдамдығы $\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$
v_{rel}	Дененің релятивисттік жылдамдығы $\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$
c	Жарық жылдамдығы $\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$

6. РЕЛЯТИВИСТІК ИМПУЛЬС

$$\vec{p} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Символдар мен өлшем бірліктері:

p	Дененің релятивисттік импульс $\left(\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$
m_0	K жүйеде дененің тыныштық массасы (кг)
v	Дененің жылдамдығы $\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$
c	Жарық жылдамдығы $\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$

Салыстырмалылық теориясына сәйкес, тұйық жүйеде кез келген жылдамдықпен қозғалған денелер үшін релятивистік импульс тұрақты болады.

7. БӨЛШЕКТІҢ ТЫНЫШТЫҚ ЭНЕРГИЯСЫ

$$E_0 = m_0 c^2$$

Символдар мен өлшем бірліктері:

E_0	Дененің тыныштық энергиясы (Дж)
m_0	Дененің тыныштық массасы (кг)
c	Жарық жылдамдығы $\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$

8. БӨЛШЕКТІҢ РЕЛЯТИВИСТІК ЭНЕРГИЯСЫ (ТОЛЫҚ ЭНЕРГИЯСЫ)

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Символдар мен өлшем бірліктері:

E	Дененің толық энергиясы (Дж)
m_0	Дененің тыныштық массасы (кг)
v	Дененің жылдамдығы $\frac{м}{с}$
c	Жарық жылдамдығы $\frac{м}{с}$

Бөлшектің кинетикалық энергиясы

$$E_k = (m - m_0)c^2 = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

1. Егер $\frac{v}{c} = 0.8$ болса, үлкен

жылдамдықта қозғалып бара жатқан дененің массасы тыныштықта тұрған дененің массасынан айырмашылығы қандай?

- A) Өзгермейді C) 1,67 есе артады
B) 1,67 есе кемиді D) 1,25 есе артады

Шешімі: Жауап С.

Релятивистік масса:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Осыдан,

$$\frac{m}{m_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - 0,8^2}} = 1,67$$

басқаша айтқанда, 1,67 есе артады.

2. Бөлшектің релятивистік массасы тыныштық массасынан 2 есе көп болғанда, оның жылдамдығы?

- A) $3 \cdot 10^8$ м/с C) $2 \cdot 10^8$ м/с
B) $2,8 \cdot 10^8$ м/с D) $2,6 \cdot 10^8$ м/с

Шешімі: Жауап D.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow 2m_0 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow$$

$$\frac{1}{4} = 1 - \frac{v^2}{c^2} \Rightarrow \frac{v^2}{c^2} = \frac{3}{4} \Rightarrow v = \frac{\sqrt{3}}{2} c \approx 2,6 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

3. $0,5c$ жылдамдықпен қозғалғанда, бөлшектің массасы неше есе көбейеді?

- A) 1,15 C) 1,6
B) 1,4 D) 1,9

Шешімі: Жауап А.

Релятивистік масса:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Осыдан,

$$\frac{m}{m_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(0,5c)^2}{c^2}}} = 1,15,$$

басқаша айтқанда, 1,15 есе артады

4. Белгісіз бір ғаламшар табылды. Егер оның Жермен салыстырғандағы жылдамдығы $0,99 \cdot c$ болса, ондағы 10 жылдың уақыты біздің Жерімізде қаншаға тең болады?

- A) 69 жыл C) 71 жыл
B) 67 жыл D) 75 жыл

Шешімі: Жауап С.

Релятивистік уақыт бойынша:

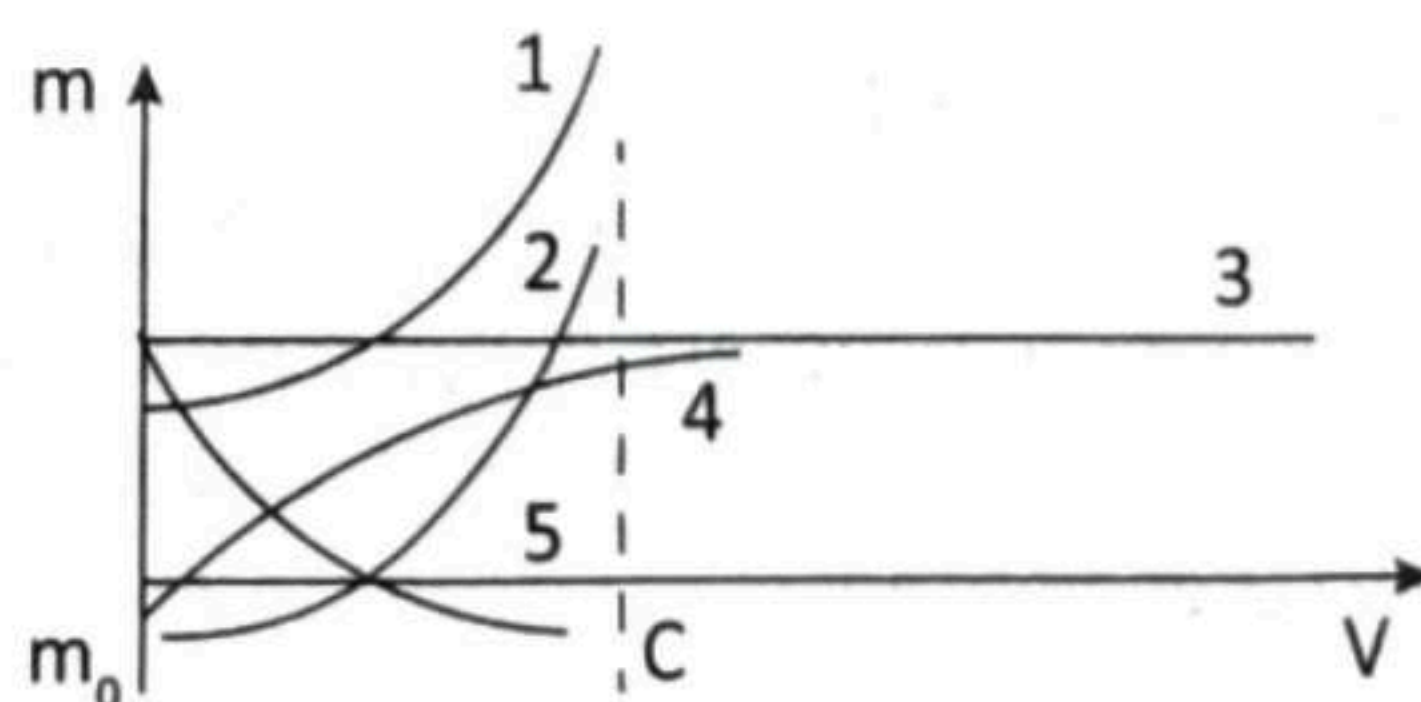
$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$\tau_0 = 10$ жыл.

Сондықтан

$$\tau = \frac{10 \text{ жыл}}{\sqrt{1 - \frac{(0,99c)^2}{c^2}}} \approx 71 \text{ жыл}$$

5. Берілген бес графиктерінің қайсысында дененің массасының релятивистік жылдамдыққа тәуелділігі дұрыс көрсетілген?



- A) 1 C) 2
B) 3 D) 4

Шешімі: Жауап А.

Тек 1 график жылдамдық артқан сайын дененің m массасын $m_0 \rightarrow m$ артуын дұрыс көрсеткен.

6. Егер орнықсыз бөлшек 0,99 с жылдамдықпен қозғалатын болса, оның Жерге қатысты тыныштықта тұрған инерциалды санақ жүйесінде өмір сүруінің ұзақтығы қанша есе артады?

- А) 1,67 есе артады
- В) 2,3 есе артады
- С) 7,1 есе артады
- Д) 1,25 есе артады

Шешімі: Жауап С.

Релятивистік уақыт бойынша: $\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

Осыдан $\frac{\tau}{\tau_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \approx 7,1$ есе артады.

7. Релятивистік қозғалыс кезінде дененің өлшемдері 2 есе кемиді. Массасының өзгерісін анықтаңыз.

- А) 2 есе кемиді
- В) 4 есе кемиді
- С) 2 есе артады
- Д) 4 есе артады

Шешімі: Жауап С.

Релятивистік өлшем ұзындығы:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

ал релятивистік масса: $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

Байқағаныңыздай, жылдамдық артқан сайын, дененің өлшемі неғұрлым азайған сайын, дененің массасы соғұрлым артады. Сондықтан дененің өлшемі 2 есе кемісе, массасы 2 есе артады.

8. Массасы m_0 бөлшектің бастапқы жылдамдығы 0-ден 0,9с-ға дейін артатын болса, оның релятивистік массасы қанша есе артады?

- А) 1,67 есе кемиді

В) 1,67 есе артады

С) 2,3 есе артады

Д) 2,3 есе кемиді

Шешімі: Жауап С.

Релятивистік масса: $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

Осыдан, $\frac{m}{m_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 2,3$ есе артады.

9. Бөлшектің релятивистік импульсі оның классикалық механика шегінде анықталған импульсінен 3 есе артық болатын болса, оның жылдамдығының қандай болғаны?

- А) 0,8с
- В) 0,9с
- С) 0,94с
- Д) 0,99с

Шешімі: Жауап С.

Релятивистік импульс: $P = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$. Есеп

шартынан $P = 3P_0$. Осыдан,

$$\frac{P}{P_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{3} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \Rightarrow v = c \sqrt{\frac{8}{9}} = 0,94c$$

10. Күн массасы $-1,99 \cdot 10^{30}$ кг. 1 жыл ішінде Күн $12,6 \cdot 10^{33}$ Дж энергия шығарады. Күн массасы 2 есе азаюы үшін қанша уақыт өтуі керек?

- А) $14,2 \cdot 10^{12}$ жыл
- В) $3,55 \cdot 10^{12}$ жыл
- С) $6,7 \cdot 10^{12}$ жыл
- Д) $7,1 \cdot 10^{12}$ жыл

Шешімі: Жауап Д.

m массасы мен E энергия бір-бірімен келесідей байланыста болады: $E = mc^2$ онда 1 жыл ішінде күннің жоғалтқан массасы $m = \frac{E}{c^2}$. Күн массасы 2 есе азаюы

үшін,

$$\frac{M}{2} = mt \Rightarrow t = \frac{M}{2m} = \frac{Mc^2}{2E}$$

Сондықтан $t = \frac{1,99 \cdot 10^{30} \cdot c^2}{2 \cdot 12,6 \cdot 10^{33}} = 7,1 \cdot 10^{12}$ жыл

11. Электрон 0,6 с жылдамдықпен қозғалады. Оның кинетикалық энергиясын анықтаңыз.

- А) $2,05 \cdot 10^{-14}$ Дж С) $2,05 \cdot 10^{-10}$ Дж
В) $2,05 \cdot 10^{-15}$ Дж D) $2,05 \cdot 10^{-12}$ Дж

Шешімі: Жауап А.

Релятивистік динамикада E_K кинетикалық энергия келесі қатынаспен анықталады:

$$E_K = (m - m_0)c^2.$$

Мұндағы $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$. Осыдан,

$$E_K = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(0,6c)^2}{c^2}}} - 1 \right) = 0,25 m_0 c^2 \Rightarrow$$

$$E_K = 0,25 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 2,05 \cdot 10^{-14} \text{ Дж.}$$

12. Егер бөлшектің толық энергиясы оның тыныштық энергиясынан 8 есе үлкен болатын болса, оның жылдамдығын анықтаңыз.

- А) $2,5 \cdot 10^8$ м/с С) $2,97 \cdot 10^8$ м/с
В) $2,84 \cdot 10^8$ м/с D) $2,61 \cdot 10^8$ м/с

Шешімі: Жауап С.

Релятивистік энергия: $E = mc^2$, мұндағы

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \text{ Есеп шартынан } E = 8E_0,$$

осыдан, $\frac{E}{E_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow \frac{1}{8} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \Rightarrow$

$$v = c \sqrt{\frac{63}{64}} = 0,992c, \vartheta = 0,992c = 2,97 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

13. Қозғалыстағы протонның релятивистік массасы оның тыныштық күйдегі массасынан 2 есе үлкен. Протонның кинетикалық энергиясын анықтаңыз.

- А) $1,5 \cdot 10^{-11}$ Дж С) $3 \cdot 10^{-10}$ Дж
В) $4,5 \cdot 10^{-10}$ Дж D) $1,5 \cdot 10^{-10}$ Дж

Шешімі: Жауап D.

Релятивистік динамикада E_K кинетикалық энергия келесі қатынаспен анықталады:

$$E_K = (m - m_0)c^2.$$

Мұндағы $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$

Есеп шартынан: $m = 2m_0.$

Осыдан,

$$E_K = (2m_0 - m_0)c^2 = m_0 c^2.$$

Сондықтан

$$E_K = 1,67 \cdot 10^{-27} \cdot c^2 = 1,5 \cdot 10^{-10} \text{ Дж}$$

14. Қозғалыстағы электронның массасы тыныштықтағы массасынан 3 есе артық болу үшін, электрон қандай ϑ жылдамдықпен қозғалуы керек?

- А) $\frac{1}{\sqrt{3}} c$ С) $\frac{\sqrt{2}}{3} c$
В) $\frac{2\sqrt{2}}{3} c$ D) $\frac{\sqrt{2}}{2} c$

Шешімі: Жауап В.

Релятивистік масса: $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$

Есеп шартынан, $m = 3m_0.$

Осыдан,

$$\frac{m}{m_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{3} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \Rightarrow v = c\sqrt{\frac{8}{9}} = \frac{2\sqrt{2}}{3}c.$$

ТЕСТ №5.1

1. Арнайы салыстырмалық теория дегеніміз – физиканың ... қарастыратын бөлімі:

- A) Ішкі ядролық процестерді.
- B) Жұлдыздар мен жұлдыздар жүйесін.
- C) Кеңістік пен уақыттың негізгі қасиеттерін
- D) Қатты денелердің құрылымын

2. Салыстырмалы теория бойынша:

- A) Механиканың салыстырмалылық принципі сақталмайды.
- B) Салыстырмалылық принципі сақталады және барлық құбылыстарға таралады.
- C) Электродинамикада салыстырмалық принципі сақталмайды.
- D) Оптикада салыстырмалылық принципі сақталмайды.

3. Арнайы салыстырмалылық теорияның бір постулатына сәйкес инерциялық санақ жүйесінде бірдей өтетін ...

- A) тек оптикалық құбылыстар (с – жарық жылдамдығы)
- B) тек термодинамикалық құбылыстар
- C) тек электродинамикалық құбылыстар
- D) кез келген физикалық құбылыстар

4. Салыстырмалық теорияда Ньютонның екінші заңы қай түрде дұрыс?

- A) $\vec{F} = m\vec{a}$
- C) $m = \frac{F}{a}$
- B) $\vec{F} = m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$
- D) $\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$

5. Салыстырмалық теориясындағы масса мен энергияның өзара байланыс формуласы:

A) $E = m_0c^2 + \frac{mv^2}{2}$

B) $E = h\nu$
C) $m = \frac{h\nu m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

D) $E = mc^2$

6. Дененің қозғалыс жылдамдығы $v \ll c$ болса, масса мен энергия арасындағы байланыс қалай болады? (m_0 – дененің тыныштық массасы, с – жарық жылдамдығы, v – дененің қозғалыс жылдамдығы)

- A) $E \approx m_0c^2$
- B) $E \approx m_0c^2 + \frac{m_0v^2}{2}$
- C) $E \approx m_0c^2(1 + \frac{v^2}{c^2})$
- D) $E \approx m_0c^2(1 - \frac{v^2}{c^2})$

7. Тыныштық массасы m_0 дененің жылдамдығы артқан кездегі массасы қай өрнекпен анықталады?

- A) $m = \frac{h}{\lambda c}$
- B) $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$
- C) $m = \frac{h\lambda}{c}$
- D) $m = m_0 + \frac{h}{\lambda c}$

8. Тыныштық массасы m_0 дененің релятивистік импульсі қай өрнекпен анықталады?

$$A) \vec{P} = m\vec{v}$$

$$B) \vec{P} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$C) \vec{F} = \frac{\Delta \vec{P}}{\Delta t}$$

$$D) \vec{P} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

9. Егер К санақ жүйесінде тыныштықта тұрған стерженьнің ұзындығы l_0 болса, онда K_1 санақ жүйесіне қатысты \vec{v} жылдамдықпен қозғалғанда оның l ұзындығы қандай болады?

$$A) l = \frac{l_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$C) l = l_0 + \Delta l$$

$$B) l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$D) l = \frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{l_0}$$

10. E_p Жердегі (тыныштықтағы) уақыт пен τ релятивистік уақыт арасындағы байланыс:

$$A) \tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$B) \tau = \tau_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$C) \tau = \frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{\tau_0}$$

$$D) \tau = \tau_0 c$$

11. Бірінші санақ жүйесінде \vec{v}_1 жылдамдықпен қозғалатын дене осы жүйеге қатысты \vec{v} жылдамдықпен қозғалып бара жатқан ($\vec{v} \uparrow \vec{v}_1$) екінші санақ жүйесінде қандай жылдамдықпен қозғалады?

$$A) v_2 = v_1 + v$$

$$B) v_2 = \frac{(v_1 + v)}{(1 + \frac{vv_1}{c^2})}$$

$$C) v_2 = \frac{(c + v)}{(1 + \frac{vv_1}{c^2})}$$

$$D) v_2 = \frac{(v_1 + v)}{2}$$

12. Салыстырмалылық теория бойынша дұрыс емес тұжырымды анықтаңыз.

A) ешқандай дене с жарық жылдамдығынан үлкен жылдамдықпен қозғала алмайды

B) жылдамдық артқан сайын, дене массасы артады

C) жылдамдық артқан сайын, уақыт баяулай түседі

D) жылдамдық артқан сайын, жалпы энергия кемиді

13. Зымыранның Жермен салыстырғандағы жылдамдығы $0,6 \cdot c$. Оның ішінде 10 жыл өткенде, Жердегі қанша уақыт өтеді?

A) 10 жыл

B) 15 жыл

C) 12,5 жыл

D) 13,6 жыл

14. Элементар бөлшек с жарық жылдамдықпен қозғалуда. Бақылаушы артынан v жылдамдықпен қуалауда. Бақылаушыға қатысты элементар бөлшектің жылдамдығы?

A) $c - v$

B) $c + v$

C) v

D) c

15. $0,6c$ жылдамдықпен қозғалатын электронның импульсін анықтаңыз.

$$A) 2,05 \cdot 10^{-22} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$$

$$B) 1,64 \cdot 10^{-22} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$$

$$C) 2,73 \cdot 10^{-22} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$$

$$D) 1,86 \cdot 10^{-22} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$$