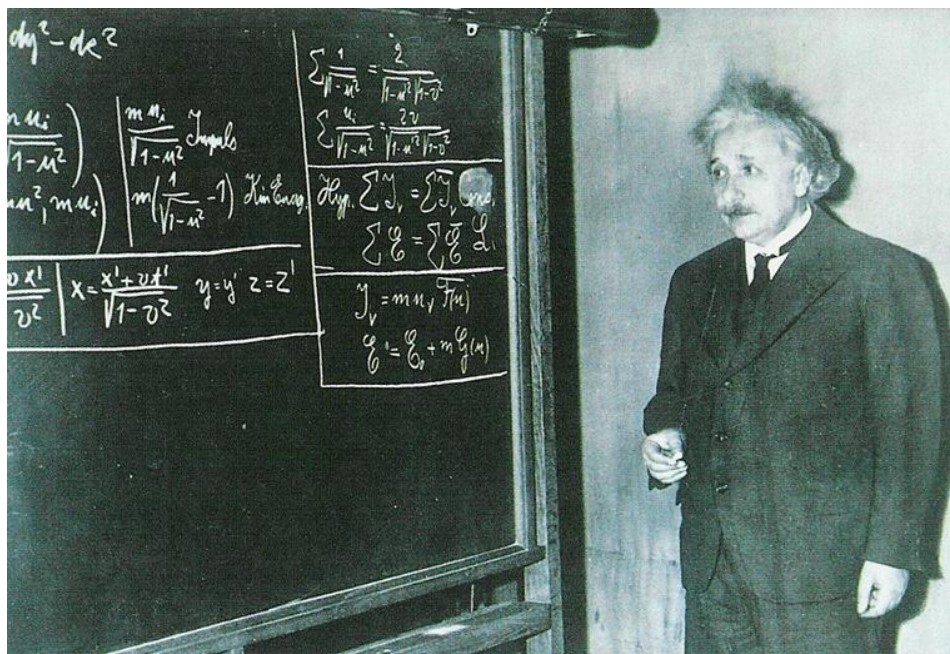


МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ ТА ПРОДОВОЛЬСТВА УКРАЇНИ
АГРАРНИЙ КОЛЕДЖ УПРАВЛІННЯ І ПРАВА
ПОЛТАВСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АГРАРНОЇ АКАДЕМІЇ



ЕЛЕМЕНТИ СПЕЦІАЛЬНОЇ ТЕОРІЇ ВІДНОСНОСТІ

Методика розв'язування задач

*Методичні рекомендації та задачі для самостійного розв'язування
для студентів та викладачів ВНЗ I-II рівня акредитації*

ПОЛТАВА 2013

Укладач: Худолій Іван Іванович - викладач фізики та астрономії
Аграрного коледжу управління і права Полтавської державної
аграрної академії

В посібнику викладені основні методики розв'язування задач з елементів спеціальної теорії відносності згідно шкільної програми, надаються базові фізичні формули та типові приклади задач з детальними поясненнями, малюнками та способами перевірки. Посібник містить достатню кількість задач до самостійної роботи і може бути корисним для студентів I курсів ВНЗ I-II рівня акредитації.

Розглянуто та схвалено

на засіданні циклової комісії

Протокол № ___ від «___» _____ 20__ року

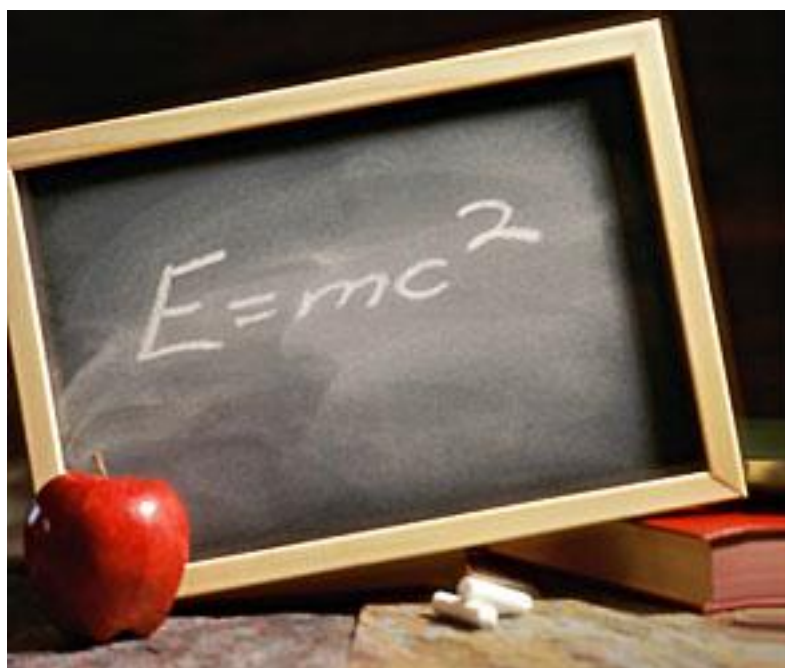
Голова циклової комісії _____

ЕЛЕМЕНТИ СПЕЦІАЛЬНОЇ ТЕОРІЇ ВІДНОСНОСТІ

ЗМІСТ

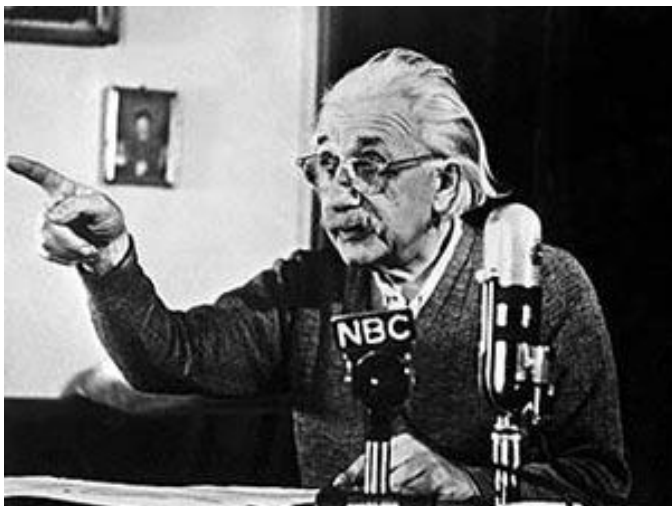
- 1 Методика розв'язування задач з елементів спеціальної теорії відносності
- 2 Приклади розв'язування задач з елементів спеціальної теорії відносності
- 3 Задачі для самостійного розв'язування

ЛІТЕРАТУРА



ЕЛЕМЕНТИ СПЕЦІАЛЬНОЇ ТЕОРІЇ ВІДНОСНОСТІ

1 Методика розв'язування задач з елементів спеціальної теорії відносності



У спеціальній теорії відносності (СТВ) розглядаються рухи тіл в інерціальних системах відліку з швидкостями, що наближаються до швидкості поширення світла в вакуумі. Механіка таких рухів називається ще релятивістською механікою. В СТВ простір і час не є абсолютними, незалежними один

від одного і від матеріальних об'єктів. Простір і час нерозривно зв'язані з матерією і її рухом. В основі СТВ лежать перетворення Лоренца, з яких випливає відностність відстаней і проміжків часу, а також з'являється можливість одержати релятивістський закон додавання швидкостей, залежність маси тіла від швидкості його руху відносно інерціальних систем відліку.

Якщо l_0 – довжина стержня відносно системи відліку, в якій стержень нерухомий, а l – довжина стержня відносно інерціальної системи, в якій цей стержень рухається, то

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

де v – швидкість руху стержня відносно другої системи відліку, або швидкість першої системи відносно другої; c – швидкість поширення світла в вакуумі.

Тривалість події τ в інерціальній системі, що рухається з швидкістю v відносно спостерігача, пов'язана з інтервалом часу τ_0 у нерухомій для спостерігача системі співвідношенням

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

Залежність маси тіла від його швидкості v :

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

де m_0 – маса спокою тіла.

Маса тіла пов'язана із зміною його енергії співвідношенням

$$\Delta E = C^2 \cdot \Delta m,$$

де ΔE - зміна енергії тіла;

Δm – зміна маси тіла.

Тіло, що перебуває відносно даної інерціальної сисетми в спокої, має повну енергію, що виражається формулою

$$E_0 = m_0 C^2$$

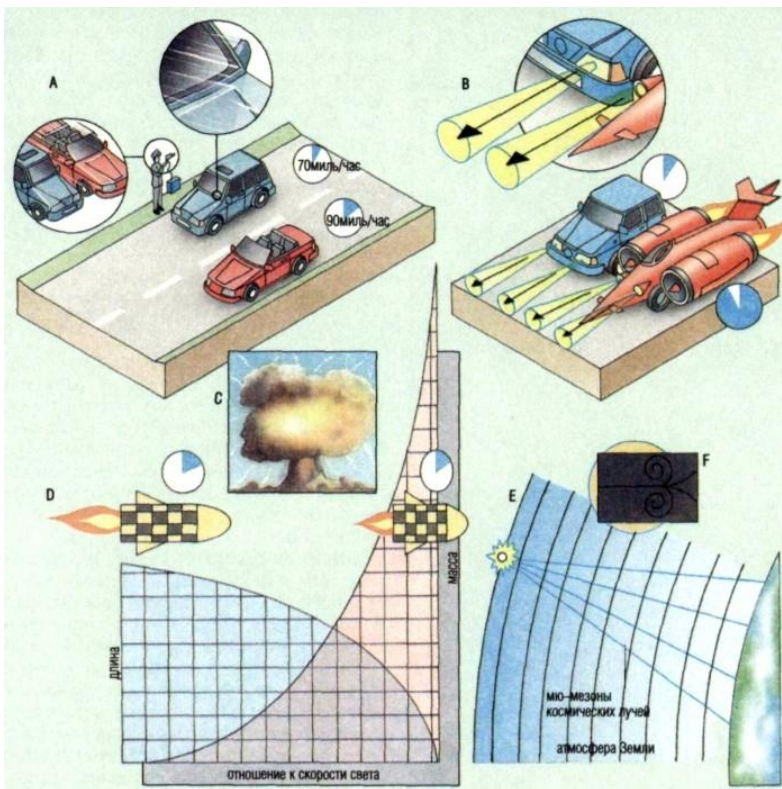
Повна енергія тіла при будь-якій швидкості його руху

$$E = m C^2 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{C^2}}} \cdot C^2.$$

Щоб знайти кінетичну енергію тіла при даній швидкості його руху, потрібно від повної енергії відняти енергію спокою

$$E_K = E - E_0 = \frac{m_0 C^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{C^2}}} - m_0 C^2.$$

Релятивістський закон додавання швидкостей



$$v_2 = \frac{v_1 + v}{1 + \frac{v_1 \cdot v}{c^2}},$$

де v_1 – швидкість тіла в рухомій системі координат (відносна швидкість руху);
 v – швидкість переносного руху тіла; v_2 – швидкість руху тіла відносно
нерухомої системи відліку.



2 Приклади розв'язування задач з елементів спеціальної теорії відносності

Задача 3.1 Електрон і протон рухаються назустріч один одному відносно нерухомого спостерігача з швидкостями $2 \cdot 10^8$ і $2,5 \cdot 10^8$ м/с. Знайти швидкість цих частинок одна відносно одної, виходячи з релятивістської і класичної формул додавання швидкостей. Результати порівняти.

Дано:	Розв'язання
$v_1 = 2 \cdot 10^8$ м/с	За релятивістською формулою додавання швидкостей, $v_p = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 \cdot v_2}{c^2}} = 2,6 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
$v_2 = 2,5 \cdot 10^8$ м/с	
$v_p - ? \quad v_k - ?$	

За класичною формулою Галілея $v_k = v_1 + v_2 = 4,5 \cdot 10^8$ м/с, тобто $v_k > c$, що неможливо.

Задача 3.2 Синхрофазотрон дає пучок протонів, швидкість яких дорівнює $0,99c$. Знайти: 1) масу протонів; 2) зменшення розмірів протонів у напрямі їх руху; 3) час, з точки зору земного спостерігача, який відповідає проміжку часу в 1с, виміряному годинником, зв'язаним з протоном; 4) кінетичну енергію протона. Маса спокою протона вважати такою, що дорівнює $1,67 \cdot 10^{-27}$ кг.

Дано:	Розв'язання
$m_0 = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг	1. За формулою $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ знаходимо $m = \frac{1,67 \cdot 10^{-27}}{\sqrt{1 - \frac{(0,99)^2 \cdot c^2}{c^2}}} = 1,19 \cdot 10^{-26} \text{ кг}; \quad \frac{m}{m_0} = 7,15.$
$\tau = 1$ с	
$v = 0,99c$	
$m - ? \quad l - ? \quad \tau_0 - ? \quad E_k - ?$	

Тобто маса протона зростає у 7,15 рази.

2. Знаходимо зміну розмірів протона з формули

$$\frac{l}{l_0} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}; \quad \frac{l}{l_0} = 0,14; \quad l = 0,14 \cdot l_0$$

3. Обчислимо інтервал часу для нерухомого відносно Землі спостерігача за формулою

$$\tau_0 = \tau \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}; \quad \tau_0 = 1 \cdot 0,14 = 0,14 \text{ с.}$$

4. Знаходимо кінетичну енергію протона як різницю повної енергії E_1 , що відповідає швидкості руху v і енергії E_0 спокою протона.

$$E_k = E_1 - E_0; \quad E_1 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad E_0 = m_0 c^2$$

$$E_k = 9,24 \cdot 10^{-10} \text{ Дж} = 5780 \text{ МеВ.}$$

Задача 3.3 Сонце щосекунди випромінює енергію, що дорівнює $1,08 \cdot 10^{20}$ кВт·год. Знайти зміну маси Сонця за цей час. Через скільки часу маса Сонця становитиме 0,9 маси на даний момент часу? Вважати випромінювання Сонця рівномірним, а його масу такою, що дорівнює $1,97 \cdot 10^{30}$ кг.



Дано:

$$\Delta E = 1,08 \cdot 10^{20} \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3,93 \cdot 10^{26} \text{ Дж}$$

$$M_0 = 1,97 \cdot 10^{30} \text{ кг}$$

$$t = 1 \text{ с}$$

$$M = 0,9 M_0$$

$$\Delta M = ? \quad \Delta t = ?$$

Розв'язання

1. Зміну маси Сонця за 1с знаходимо з формули

$$\Delta M = \frac{\Delta E}{c^2}; \quad \Delta M = \frac{3,93 \cdot 10^{26} \text{ Дж}}{9 \cdot 10^{16} \text{ м}^2 / \text{с}^2} = 4,37 \cdot 10^9 \text{ кг.}$$

2. Обчислимо інтервал часу, протягом якого маса Сонця стане рівною $0,9 M_0$, тобто Сонце втратить десятю частину своєї маси

$$\Delta t = \frac{0,1 \cdot 1,97 \cdot 10^{30}}{4,37 \cdot 10^9} = 4,5 \cdot 10^{19} \text{ c} = 1,42 \cdot 10^{12} \text{ років.}$$



3 Задачі для самостійного розв'язування

1. Маса рухомого електрона у 20 разів більша за його масу спокою. З якою швидкістю рухається цей електрон?

Відповідь: 0,997

2. При якій відносній швидкості руху тіла відбувається скорочення його довжини на 50%?

Відповідь: $0,865c = 2,6 \cdot 10^8 \text{ м/с}$

3. Швидкість руху мезона, що входить до складу космічних променів, становить $0,95c$. Який інтервал часу за годинником земного спостерігача відповідає одній секунді, виміряний годинником, пов'язаним з мезоном?

Відповідь: 0,316с

4. Знайти швидкість руху електрона, якщо його повна енергія у два рази більша за енергію спокою. Яка при цьому маса електрона?

Відповідь: $v = 0,86c = 2,6 \cdot 10^8 \text{ м/с}$; $m = 2m_0$.

5. На скільки (у нг) зміниться маса 1 кг льоду при плавленні? Питома теплота плавлення льоду $3,6 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.

Відповідь: 4 нг .

6. Загальна потужність випромінювання Сонця $3,6 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$. Визначити зменшення маси Сонця за 1 с. Відповідь дати в мегатоннах, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.

Відповідь: 4 Мт.

7. Пі-мезон, який рухається зі швидкістю 10^8 м/с , розпадається на два фотони, які летять у протилежних напрямках. Визначити відношення енергій фотонів (більше одиниці). $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.

Відповідь: 2.

ЛІТЕРАТУРА

1. С.У. Гончаренко. Конкурсні задачі з фізики. Вид-во “Техніка”. Київ – 1970, 460 с.
2. И.М. Гельфгат, Л.Э. Генденштейн, Л.А. Кирик. 1001 задача по физике. “Илекса” “Гимназия” Москва – Харьков 1997, – 350 с.
3. Н.И. Гольдфарб. Сборник вопросов и задач по физике. Изд-во “Высшая школа”, 1975, 368 с.
4. И.И. Воробьев, П.И. Зубков и др. Задачи по физике. Изд-во “Наука”, 1981, – 432 с.
5. Г.А. Бендриков, Б.Б. Буховцев и др. Задачи по физике для поступающих в вузы. Изд-во “Наука”, 1976, – 384 с.
6. Кашина С.И., Сезонов Ю.И. Сборник задач по физике: Учеб. пособие для подгот. отд. вузов, – М.: Высшая школа, 1983. – 207 с.
7. Коршак Е.В., Гончаренко С.У., Коршак Н.М. Методика розв’язування задач з фізики. Практикум. Видавництво “Вища школа”. Київ – 1976, 240 с.
8. Л.Г. Гурьев, А.В. Кортнев и др. Сборник задач по общему курсу физики. Изд-во “Высшая школа”. М. – 1972, 432 с.
9. Сборник задач по физике. Под редакцией С.М. Козела. М. “Наука”. 1990. – 352 с.
10. Л.П. Баканина, В.Е. Белонучкин и др. Сборник задач по физике. М. – “Наука”. 1971, – 414 с.
11. П.А. Знаменский и др. Сборник вопросов и задач по физике. М. Изд-во Министерства Просв. РСФСР, 1961, – 189 с.
12. А.П. Рымкевич, П.А. Рымкевич. Сборник задач по физике. М.: Просвещение, 1981, – 160 с.
13. Тесты. Физика. Киев. “Освіта” 1993, – 95 с.
14. В.Н. Ланге. Физические парадоксы и софизмы. М. “Просвещение”. 1978 – 176 с.

