

Accelerator or Energyzer?

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені ТАРАСА ШЕВЧЕНКА
ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Prof. Oleksandr
Slobodyanyuk

Department of Physics
Taras Shevchenko University of Kyiv,
Ukraine

**Київський національний університет
імені Тараса Шевченка
фізичний факультет**

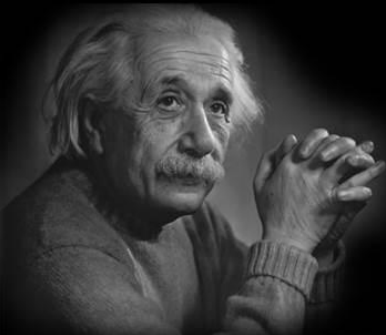
Прискорювач чи енерджайзер?

(взаємозв'язок імпульсу, маси та енергії в СТВ)

Проф. О. В. Слободянюк
slobod@univ.kiev.ua

***Ми повинні бути вдячними Богу за те,
що він створив світ так,
що все просте – правда, а все
складне – неправда.
Григорій Сковорода***

**GOD DOES NOT
PLAY DICE.**



Albert Einstein
German Theoretical-Physicist
(1879-1955)

QuoteHD.com

***Gott würfelt nicht
Albert Einstein***

***God doesn't play dice
with the world
Albert Einstein***

Декілька простих питань:

- Що робить прискорювач заряджених частинок?
- Прискорює частинки.
- Що означає – прискорює?
- Збільшує їх швидкість.
- Чи це дійсно так?
- Не зовсім....
- Чому?

Декілька простих питань:

- **Що повинен робити енерджайзер?**
- Збільшувати енергію частинок.
- **Чи збільшується при цьому їх швидкість?**
- Так.
- **Чи літають крокодили?**
- Так. Літають.
- **Але дуже, дуже низенько..**

Чи коректно записана формула?



Яку з формул обрати?



$$E=mc^2$$

$$E_0=mc^2$$

$$E=m_0c^2$$

$$E_0=m_0c^2$$

Яку з формул обрати?

1. $E=mc^2$

2. $E_0=mc^2$

3. $E=m_0c^2$

4. $E_0=m_0c^2$

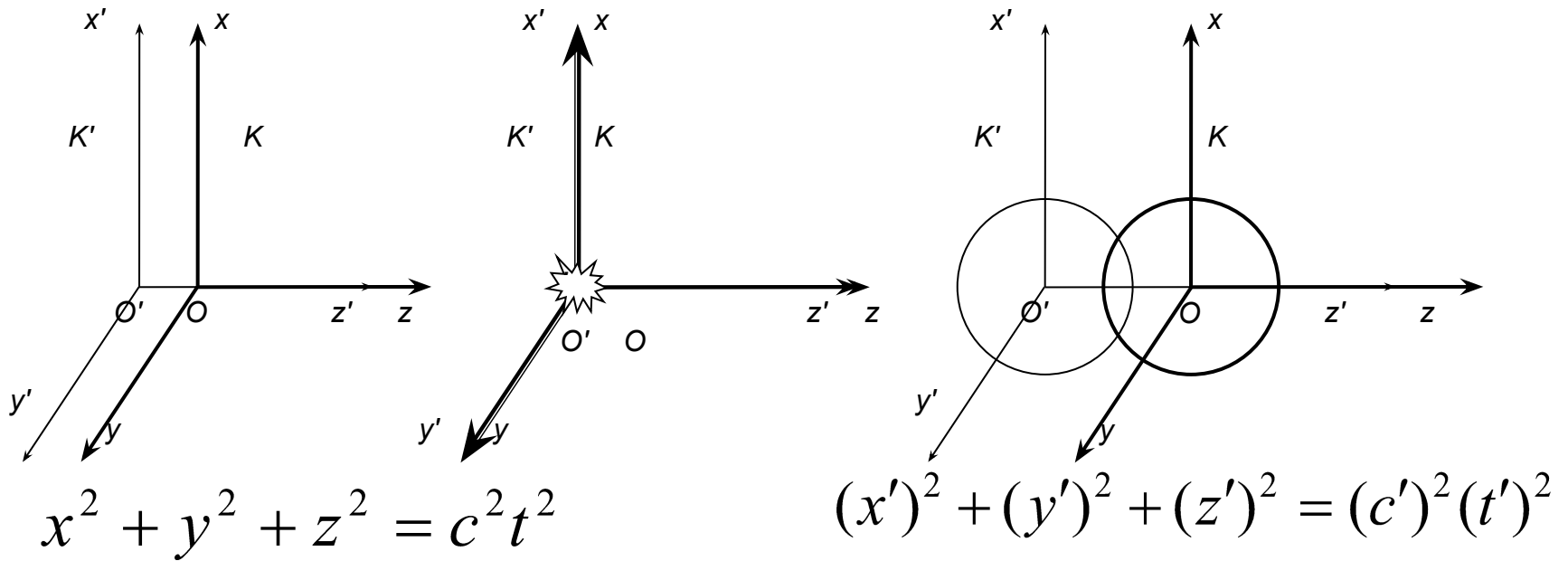
Постулати Ньютона та постулати Айнштейна

- Ньютон:
 1. існування інерціальних систем відліку (ІСВ);
 2. принцип відносності механіки;
 3. принцип далекодії - взаємодії поширюється миттєво).
- Айнштейн:
 0. існування інерціальних систем відліку (ІСВ);
 1. принцип відносності електродинаміки;
 2. принцип близькодії - швидкість поширення взаємодії скінченна і дорівнює швидкості поширення світла.

Постулати Ньютона та постулати Айнштейна

- Існування інерціальних систем відліку (ІСВ)
- Ньютон: принцип відносності механіки
Айнштейн: + принцип відносності електродинаміки
- Ньютон: принцип далекодії
Айнштейн: принцип близькодії (швидкість поширення взаємодії скінченна і дорівнює швидкості поширення світла)

СТВ: Перетворення Лоренца



$$x' = x, \quad y' = y, \quad z' = \frac{z - Vt}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}, \quad t' = \frac{t - \frac{V}{c^2}z}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

Перетворення Лоренца і Галілея

$$L(\beta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} & \frac{i\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} \\ 0 & 0 & \frac{-i\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} & \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \end{bmatrix} \quad G(v) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -V \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Інтервал

$$S_{12}^2 = c^2 t_{12}^2 - l_{12}^2$$

$$S_{12} = \sqrt{c^2 (t_2 - t_1)^2 - (x_2 - x_1)^2 - (y_2 - y_1)^2 - (z_2 - z_1)^2}$$

Наслідки перетворень Лоренца

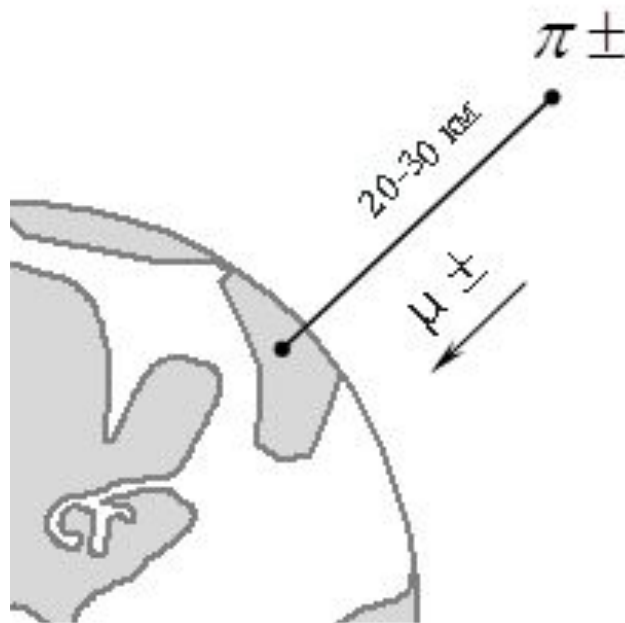
Скорочення просторових інтервалів

$$l = l_0 \sqrt{1 - \beta^2}$$

Уповільнення часу

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

$$S_{12}^2 = c^2 t_{12}^2 - l_{12}^2$$



Релятивістська формула додавання швидкостей

$$v_3 = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}$$

ЯКЩО $v_1 = v_2 = \frac{c}{2}$, ТО $v_3 = \frac{4}{5}c < c$

ЯКЩО $v_1 = v_2 = c$, ТО $v_3 = c$.

Абсолютно непружне лобове зіткнення двох однакових частинок

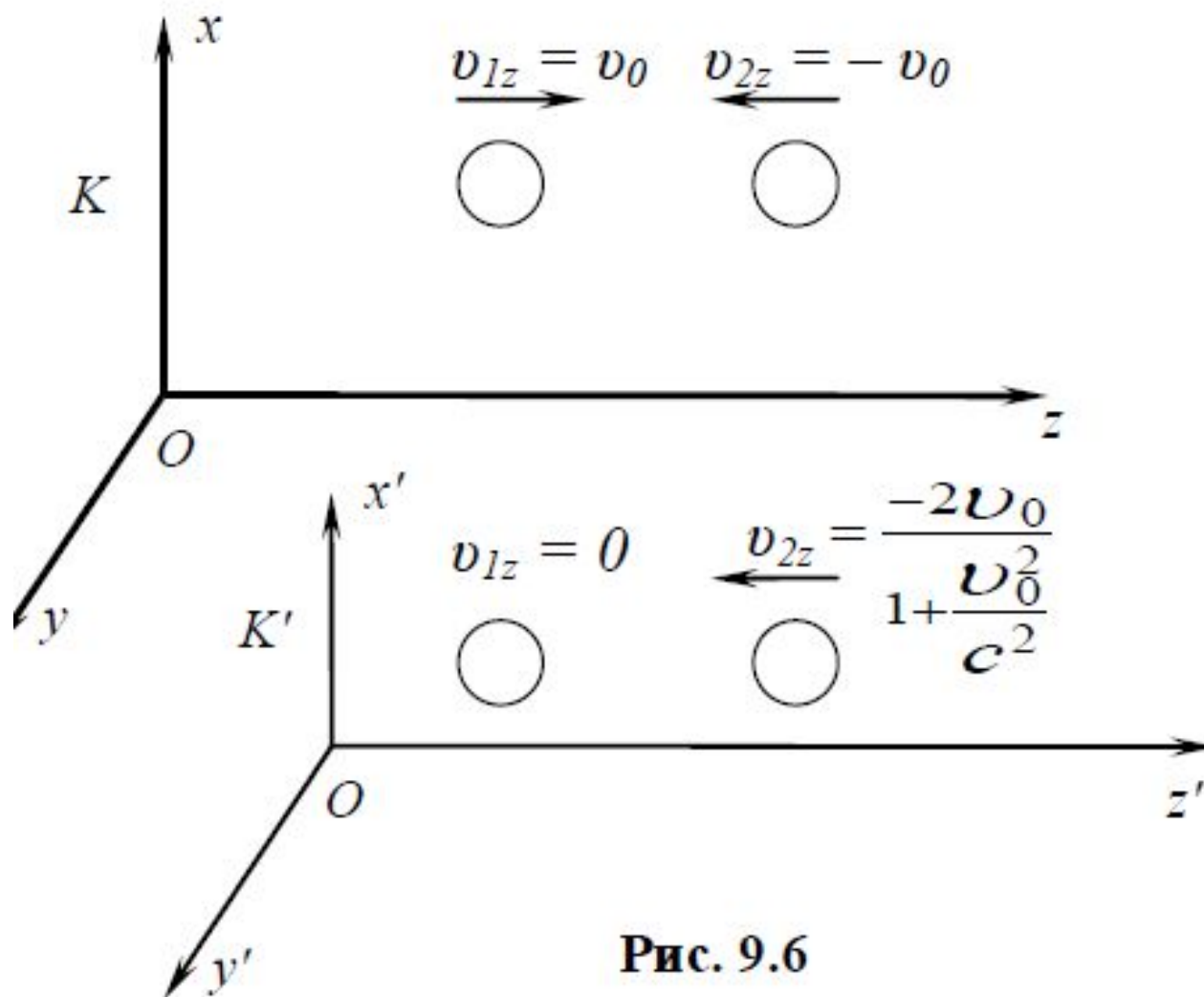


Рис. 9.6

Абсолютно непружне лобове зіткнення двох однакових частинок

Закон збереження імпульсу в системі відліку K:

$$p_{1z} + p_{2z} = \tilde{p}_{1z} + \tilde{p}_{2z}$$

$$P_z = p_{1z} + p_{2z} = m(v_0 - v_0) = 0 = \tilde{p}_{1z} + \tilde{p}_{2z} = \tilde{P}_z$$

$$2m\tilde{v}_z = 0 \quad \text{звідки} \quad \tilde{v}_z = 0$$

Закон збереження імпульсу в системі відліку K' дає:

$$\tilde{P}'_z = 2m\tilde{v}'_z = -2mv_0 \quad \text{звідки} \quad \tilde{v}'_z = -v_0$$

Абсолютно непружне лобове зіткнення двох однакових частинок

Швидкості частинок у системі відліку K' до і після зіткнення можна також знайти, застосувавши релятивістську формулу перетворення швидкостей, а потім знову використати ньютонівський вираз для знаходження імпульсів частинок у системі відліку K' :

Сумарний імпульс до зіткнення:

$$P'_z = p'_{1z} + p'_{2z} = m v'_{1z} + m v'_{2z} = \frac{-2m v_0}{1 + \frac{v_0^2}{c^2}}$$

а після зіткнення:

$$\tilde{P}'_z = 2m \tilde{v}'_z = -2m v_0.$$

Висновок:

Для імпульсів системи двох частинок знайдених у такий спосіб, а саме, із застосуванням релятивістського закону додавання швидкостей та ньютонівської формули для імпульсу частинки, закон збереження імпульсу не виконується:

$$\frac{-2m v_0}{1 + \frac{v_0^2}{c^2}} \neq -2m v_0 !$$

Релятивістський вираз для імпульсу

Імпульс частинки у вигляді

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

буде інваріантним відносно перетворень Лоренца і законом збереження імпульсу у його звичній формі можна буде користуватися при будь-яких швидкостях $U < c$

Взаємозв'язок імпульсу, маси та енергії в СТВ

Виявляється, що так само як просторовий відрізок і проміжок часу між двома подіями кожен окремо не залишаються незмінними при переході від однієї ІСВ до іншої, величини імпульсу і енергії частинки також не залишаються незмінними кожна окремо при переході від однієї ІСВ до іншої.

Натомість вони пов'язані співвідношенням:

$$E^2 - p^2 c^2 = m^2 c^4$$

де
$$p = \frac{vE}{c^2}$$

Взаємозв'язок імпульсу, маси та енергії в СТВ

При переході від ІСВ до ІСВ компоненти вектора імпульсу частинки та енергія частинки перетворюються за формулами перетворень Лоренца:

$$p'_x = p_x,$$

$$p'_y = p_y,$$

$$p'_z = \frac{p_z - \frac{V}{c^2} E}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

$$E' = \frac{E - V p_z}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

Взаємозв'язок імпульсу, маси та енергії в СТВ

Аналогічно до того, як записують довжину 4-вектора (x, y, z, ct) у вигляді

$$S_{12}^2 = c^2 t_{12}^2 - l_{12}^2$$

довжину 4-вектора $(p_x, p_y, p_z, \frac{E}{c})$

можна записати як $\frac{E^2}{c^2} - p^2$

$$\frac{E^2}{c^2} - p^2 = m^2 c^2$$

Взаємозв'язок імпульсу, маси та енергії в СТВ

Із основних співвідношень:

$$E^2 - p^2 c^2 = m^2 c^4 \quad \text{та} \quad \vec{p} = \frac{\vec{v} E}{c^2}$$

для безмасових частинок, $m=0$

$$p = \frac{E}{c},$$

а для масивних частинок, $m \neq 0$

$$\vec{p} = \frac{m \vec{v}}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad \text{та} \quad E = \frac{m c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

Взаємозв'язок імпульсу, маси та енергії в СТВ

При $v=0$

$$E_0 = mc^2$$

$$E_k = E - E_0 = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\beta^2}} - mc^2 = mc^2[(1-\beta^2)^{-\frac{1}{2}} - 1]$$

При малих швидкостях

$$\beta = \frac{v}{c} \ll 1$$

$$E_k = mc^2[(1-\beta^2)^{-\frac{1}{2}} - 1] \approx mc^2[(1 + \frac{1}{2}\beta^2 - 1)] = mc^2 \frac{v^2}{2c^2} = \frac{mv^2}{2}$$

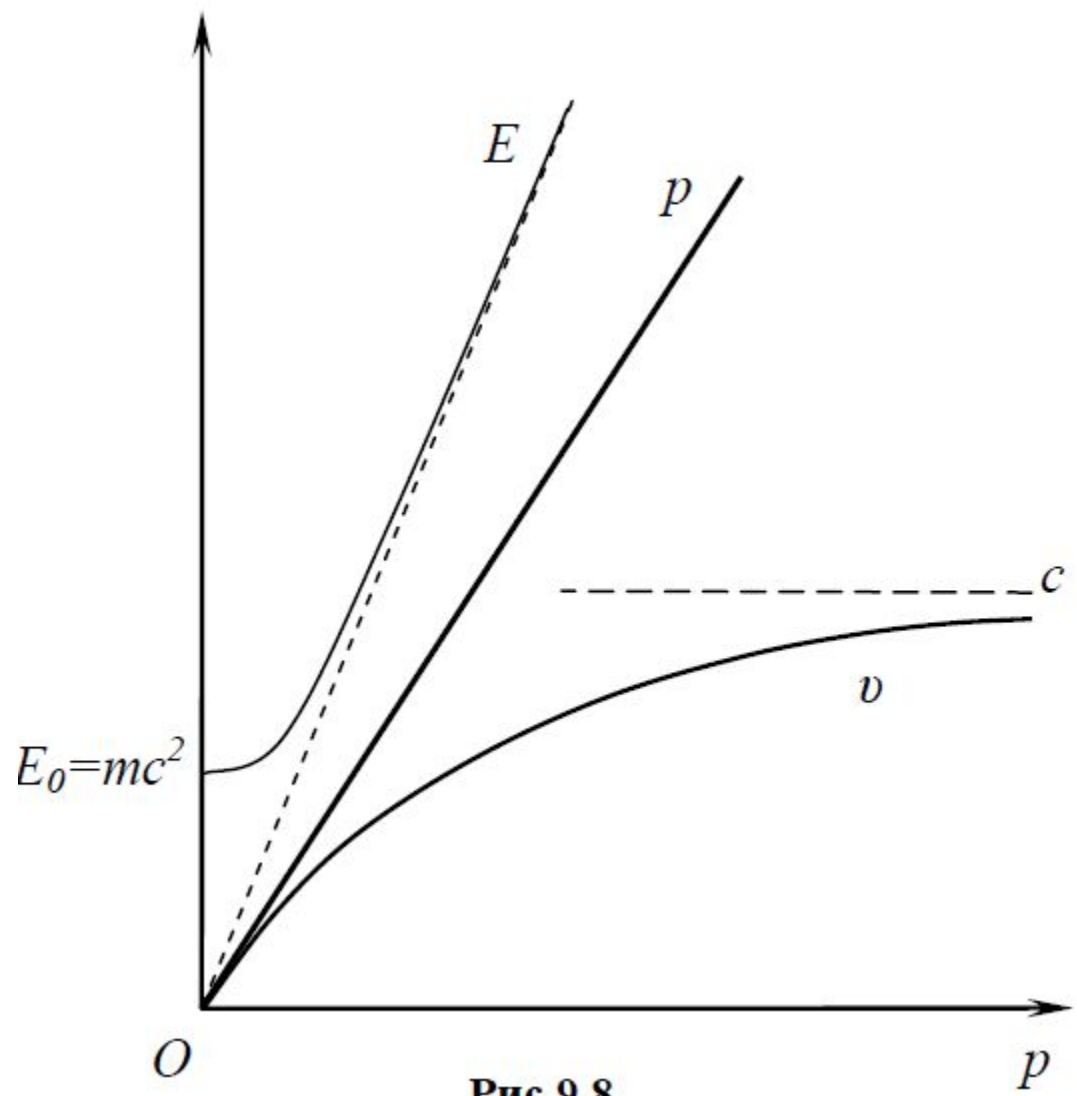


Рис.9.8

Висновок

Хоча велетенські машини, розміри яких сягають декількох кілометрів, а для своєї роботи вони потребують потужності, яку в середньому споживає велике місто, за звичкою продовжують називати *прискорювачами*, їх **основною задачею є** не надання ще більшої швидкості зарядженим частинкам, яка переважно відрізняється від швидкості світла **менше, ніж на 10^{-8} %**, а **надання частинкам якомога більшої енергії.**

Декілька простих питань:

1. Чи літають крокодили?

- Так. Літають.
- **Але дуже, дуже низенько..**

2. Чи прискорює прискорювач частинки?

- Так. Прискорює.
- **Але дуже, дуже слабенько..**

Декілька простих питань:

- Що повинен робити енерджайзер?
- Збільшувати енергію частинок.
- Чи збільшується при цьому їх швидкість?
- Так.
- Чи літають крокодили?
- Так. Літають.
- Але дуже, дуже низенько..

Прискорювач чи енерджайзер?

Має місце введення в оману платників податків....

Хіба це прискорення?

За кожен додатковий см/с треба заплатити 1 M\$...

Назву треба привести назву у відповідність із суттю справи...

На рекламному “новоязі”: мерчандайзер, освіжайзер...

Отже

Енерджайзер!



КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені ТАРАСА ШЕВЧЕНКА
ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Thank you for your kind attention!

Імпульс, маса та енергія системи частинок. Дефект маси. Приклади.

Див. с. 435-439 у доданому файлі

Слободянюк_Механіка_9_for Problems XX.doc

Приклади перетворення енергії спокою на кінетичну енергію і навпаки: анігіляція частинок і античастинок, народження частинок, реакції ділення та синтезу ядер, хімічні реакції.

Див. с. 439-442 у доданому файлі

Слободянюк_Механіка_9_for Problems XX.doc

**Імпульс, маса та енергія системи частинок.
Дефект маси. Приклади.**

Эффект Комптона

Light-matter interaction

Low-energy phenomena:

Photoelectric effect

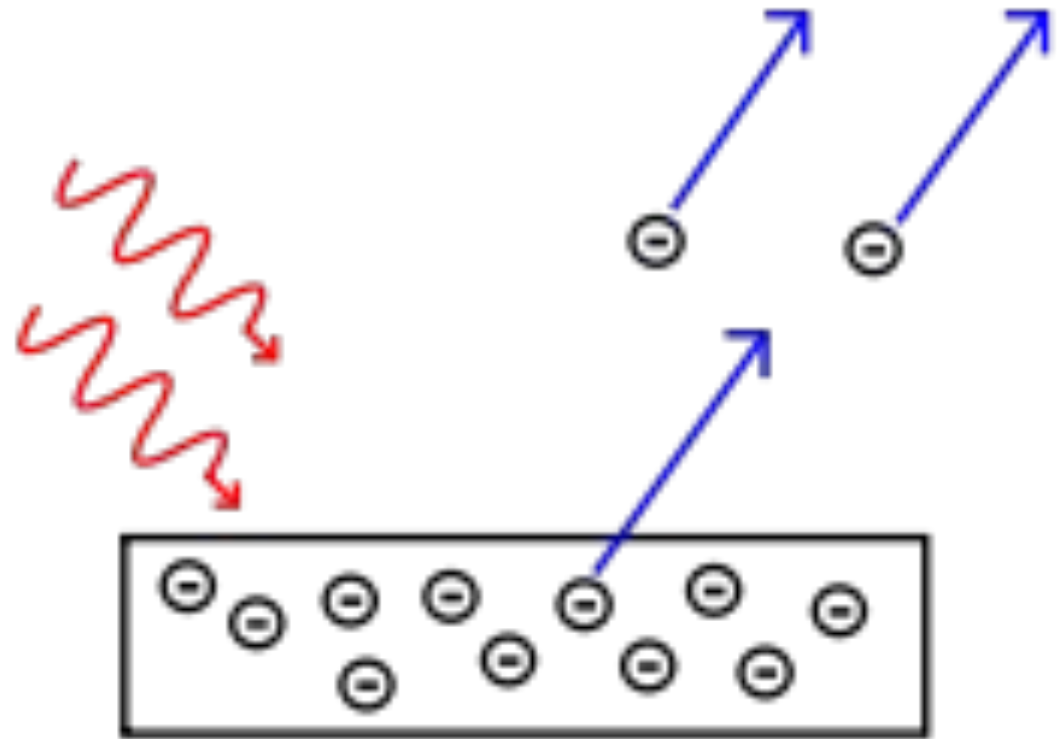
Mid-energy phenomena:

Thomson scattering

Compton scattering

High-energy phenomena:

Pair production



Эффект Комптона

Light–matter interaction

Thomson scattering is the elastic scattering of electromagnetic radiation by a free charged particle, as described by classical electromagnetism.

It is just the low-energy limit of Compton scattering: the particle kinetic energy and photon frequency are the same before and after the scattering.

Ефект Комптона

From Wikipedia, the free encyclopedia:

- Комптонівське розсіювання — явище **непружного розсіювання фотонів** на вільних заряджених частинках, наприклад, електронах (українська).
- Эффе́кт Ко́мптона - **некогерентное рассеяние фотонов** на свободных электронах (русский).
- Compton scattering is the **inelastic scattering** of a photon by a charged particle, usually an electron. It results in a decrease in energy (increase in wavelength) of the photon (which may be an X ray or gamma ray photon), called the Compton effect

Эффект Комптона

Физическая энциклопедия, т.2, стр.431:

Комптон рассмотрел упругое рассеяние фотона на свободном покоящемся электроны (что является хорошим приближением для рассеяния фотонов рентг. лучей на атомных электронах лёгких атомов). При рассеянии фотон передаёт электрону часть энергии и импульса, что соответствует уменьшению частоты (увеличению длины волны) рассеиваемого света. Из законов сохранения энергии и импульса он получил ф-лу для сдвига длины волны:

$$\Delta\lambda \equiv \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \vartheta), \quad (*)$$

где λ , λ' — длины волн до и после рассеяния, ϑ — угол рассеяния, m_e — масса электрона. Параметр $h/m_e c$ наз. *комптоновской длиной волны* электрона и равен $2,4 \cdot 10^{-10}$ см. Из кинематики процесса легко также определить энергию и импульс электрона отдачи.

Ефект Комптона: Пружне чи непружне розсіяння? Де правда?

Правда тут:

Комптон рассмотрел упругое рассеяние фотона на свободном покоящемся электроне (что является хорошим приближением для рассеяния фотонов рентг. лучей на атомных электронах лёгких атомов). При рассеянии фотон передаёт электрону часть энергии и импульса, что соответствует уменьшению частоты (увеличению длины волны) рассеиваемого света. Из законов сохранения энергии и импульса он получил ф-лу для сдвига длины волны:

$$\Delta\lambda \equiv \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \vartheta), \quad (*)$$

где λ , λ' — длины волн до и после рассеяния, ϑ — угол рассеяния, m_e — масса электрона. Параметр $h/m_e c$ наз. *комптоновской длиной волны* электрона и равен $2,4 \cdot 10^{-10}$ см. Из кинематики процесса легко также определить энергию и импульс электрона отдачи.

Ефект Комптона - це пружне розсіяння

Див. доданий файл

Compton_scattering_2016_0114