

Рассеяние частиц

Данный листок служит продолжением листков «Упругие взаимодействия» и «Неупругие взаимодействия». Здесь нас в основном интересуют ситуации нецентрального удара — как упругого, так и неупругого. Размеры соударяющихся тел во всех задачах несущественны. Таким образом, *рассеяние частиц* есть сокращение для *упругого или неупругого столкновения материальных точек, в общем случае нецентрального*.

Упругое рассеяние

[Овчинкин] → 4.82, 4.85, 4.87, 4.127, 4.128.

Переходим к рассмотрению ключевой задачи о рассеянии на покоящейся частице и о существовании предельного угла рассеяния в такой ситуации. Ввиду особой важности этой задачи мы будем решать её двумя способами: в ЛСО и в СЦМ.

ЗАДАЧА 1. Частица массой m_1 движется со скоростью \vec{v}_0 и упруго рассеивается на покоящейся частице массой m_2 . Обозначим через φ угол рассеяния, то есть угол между вектором \vec{v}_1 скорости первой частицы после рассеяния и вектором \vec{v}_0 . Работаем в ЛСО.

1) Пусть $m_1 < m_2$. Покажите, что угол рассеяния может принимать любое значение на промежутке $(0; \pi]$.

2) Пусть $m_1 = m_2$. Покажите, что угол рассеяния может принимать любое значение на промежутке $(0; \frac{\pi}{2})$.

3) Пусть $m_1 > m_2$. Покажите, что угол рассеяния может принимать любое значение на промежутке $[0; \varphi_{\max}]$, где $\varphi_{\max} = \arcsin \frac{m_2}{m_1}$.

Указание. Законы сохранения → квадратное уравнение → $D \geq 0$. Удобно ввести параметр $a = \frac{m_2}{m_1}$.

Как видите, решение в ЛСО является формально-алгебраическим (как типичное аналитическое решение задачи с параметром). А вот решение в СЦМ проясняет геометрический смысл получаемого результата! Но для начала вспомним, чем хороша СЦМ.

ЗАДАЧА 2. Частицы массами m_1 и m_2 движутся со скоростями \vec{v}_1 и \vec{v}_2 .

1) Покажите, что в СЦМ суммарный импульс частиц равен нулю.

2) Частицы упруго рассеиваются. Покажите, что в СЦМ векторы импульсов частиц поворачиваются на некоторый угол, оставаясь неизменными по абсолютной величине.

ЗАДАЧА 3. Решите задачу 1 в СЦМ.

Указание. Введите скорость \vec{v}_c центра масс и скорость \vec{u}_1 рассеянной частицы в СЦМ. Какую известную задачу из кинематики напоминает данная ситуация?

[Овчинкин] → 4.90, 4.91, 4.93, 4.110, 4.111, 4.129, 4.130, 4.131, 4.134, 4.135, 4.140, 4.141.

ЗАДАЧА 4. (*Всеросс., 2005, ОЭ, 10*) Небольшая шайба, движущаяся по гладкой горизонтальной поверхности, налетела на вторую шайбу, покоившуюся на той же поверхности. После абсолютно упругого удара шайб их скорости v_1 и v_2 оказались направлены под углом φ друг к другу. Найдите скорость v_0 первой шайбы до удара. Массы шайб не заданы, но известно, что они различны.

$$\cos \tau_a \tau_a \tau_a - \frac{\tau_a}{\tau_a} + \frac{1}{\tau_a} \sqrt{\Lambda} = 0_a$$

2) Покажите, что при условии (1) для угла рассеяния φ справедливо неравенство

$$\sin \varphi \leq \frac{m_2}{m_1} \sqrt{1 - \frac{m_1 + m_2}{m_2} \frac{Q}{E}}. \quad (2)$$

3) Объясните, в чём состоит обобщение задачи 1.

4) Покажите, что минимально возможному значению E отвечает нулевой угол рассеяния.

ЗАДАЧА 8. Получите формулу (2), решая задачу в СЦМ.

ЗАДАЧА 9. При каком условии возможно рассеяние под прямым углом?

$$\frac{E}{Q} - 1 > \frac{m_1}{m_2}$$

Минимально возможное значение энергии E , определяемое неравенством (1), называется *пороговой энергией*:

$$E_{\text{пор}} = \left(1 + \frac{m_1}{m_2}\right) Q. \quad (3)$$

Неупругое рассеяние на неподвижной мишени, при котором поглощается энергия Q , может произойти лишь в том случае, когда энергия налетающей частицы превышает пороговую.

Понятие пороговой энергии встретится нам и в дальнейшем — в листке «Ядерные реакции». Для лучшего уяснения этого понятия сделайте следующую простую задачу и сопоставьте её ответ с формулой (3).

ЗАДАЧА 10. Маленькая шайба массой m_1 движется по гладкой горизонтальной поверхности и начинает плавно въезжать на незакреплённую и изначально неподвижную горку массой m_2 (расположенную на той же поверхности). В верхней точке горки на высоте h имеется ямка. Какой должна быть минимальная энергия шайбы, чтобы она смогла оказаться в ямке?

$$v_{\text{ш}} \left(\frac{m_1}{m_2} + 1 \right) = \sqrt{2gh}$$

[Овчинкин] → 4.95, 4.96, 4.99, 4.108, 4.142.