

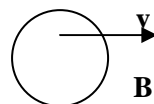
УДК 531/534

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ДВИЖУЩИХСЯ ТЕЛ

Дегтярева Е.Р., Юшкевич Р.С., Куликова И.Ю.

В статье рассматривается взаимодействие тел при различных скоростях и делается вывод о несправедливости постулата о постоянстве скорости света относительно любой системы отсчета. Дается также понятное с точки зрения классической механики объяснение зависимости длины и времени от скорости

Рассмотрим абсолютно упругое столкновение двух шаров одинаковой массы. Будем рассматривать процессы при малых скоростях, чтобы не учитывать релятивистскую зависимость массы от скорости. Массы шаров **A** и **B** обозначим со-



ответственно m_0 и m , причем $m_0 = m$. Разные обозначения вводим для того, чтобы различать, что относится к действующему шару, а что к воспринимаемому действию (рисунок).

Вначале рассмотрим случай, когда шар **B** покоится относительно наблюдателя, его скорость $v=0$, а шар **A** движется со скоростью v_0 в сторону шара **B** так, что произойдет лобовой удар. После столкновения весь импульс шара **A** перейдет к шару **B**, иначе говоря, шары обменяются скоростями. По закону сохранения импульса имеем: $m_0 v_0 + m \cdot 0 = m v_0 + m_0 \cdot 0$. От-

данный и полученный импульсы будут равны $m_0 v_0 - m_0 \cdot 0 = m v_0 - m \cdot 0$. Рассмотрим отношение импульса, полученного шаром **B**, к импульсу шара **A**, который он имел до взаимодействия, относительно наблюдателя. Назовем это отношение коэффициентом передачи импульса и обозначим k

$$k = \frac{m v_0 - m \cdot 0}{m_0 v_0} = 1$$

т.к.

$$m_0 = m \text{ и } v = 0$$

Заметим, что $k=1$ при условии, что $v=0$, т.е. шар **B** до взаимодействия относительно наблюдателя покоился.

Рассмотрим это же взаимодействие шаров для случая, когда наблюдатель относительно системы шаров движется со скоростью $-v$, при этом получим, что ско-

рость шара **B** будет равна v , а шара **A** увеличится на v , но обозначим ее также v_0 . Взаимодействие шаров не изменится, они обменяются скоростями. Импульс, отданный шаром **A**, будет равен импульсу, полученному шаром **B**

$$m_0 v_0 - m_0 v = m v_0 - m v$$

Коэффициент передачи импульса будет:

$$k = \frac{mv_0 - mv}{m_0 v_0} = \frac{mv_0 \left(1 - \frac{v}{v_0}\right)}{m_0 v_0} = 1 - \frac{v}{v_0}; (m=m_0)$$

Если наблюдатель, который движется относительно системы шаров, примет постулат, согласно которому скорость шара **A** относительно шара **B** будет равна v_0

независимо от скорости шара **B**, то импульс шару **B** будет передаваться также как и при $v=0$. Получим

$$m_0 v_0 = mv_0 \left(1 - \frac{v}{v_0}\right)$$

$$m_0 = m \left(1 - \frac{v}{v_0}\right)$$

отсюда

$$m = \frac{m_0}{1 - \frac{v}{v_0}}$$

$m=m_0$ при $v_0=0$, $m \rightarrow \infty$ при $v \rightarrow v_0$

Используем уравнение равномерного движения $\ell_0 = v_0 \cdot \Delta t_0$ для постулируемой скорости и

$$\ell = (v_0 - v)\Delta t = v_0 \left(1 - \frac{v}{v_0}\right)\Delta t -$$

для относительной скорости. Сравним ℓ и ℓ_0 для случая, когда $\Delta t = \Delta t_0$

$$\frac{\ell}{\ell_0} = \frac{v_0 \left(1 - \frac{v}{v_0}\right)\Delta t}{v_0 \Delta t} = 1 - \frac{v}{v_0},$$

отсюда

$$\ell = \ell_0 \left(1 - \frac{v}{v_0}\right).$$

Если скорость v_0 постоянна, то мы получим зависимость длины ℓ от скорости шара **B**. При $v=0$; $\ell=\ell_0$, а при $v=v_0$; $\ell=0$.

Аналогично сравним время, необходимое для прохождения пути $\ell=\ell_0$

$$\frac{\ell_0}{\ell} = \frac{v_0 \Delta t_0}{v_0 \left(1 - \frac{v}{v_0}\right)\Delta t},$$

после сокращения получим

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{1 - \frac{v}{v_0}}.$$

Этот результат можно рассматривать, как зависимость промежутков времени от скорости движения.

Обратимся теперь к взаимодействию с высокими скоростями. Пусть на частицу действует электромагнитная волна. Примем массу частицы равной массе кванта

волны. Рассмотрим случай, когда скорость частицы \mathbf{v} перпендикулярна направлению на источник волн. В этом случае применим вывод о поперечном эффекте Доплера. Если источник излучает волны частотой ν_0 , то частица будет принимать волны частотой $\nu = \nu_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$. Помножим эти

частоты на $\frac{h}{c}$, где h – постоянная Планка, а c – скорость света, и получим импульс излучаемой волны и импульс волны, принимаемой частицей, а, значит, и импульс, получаемый частицей

$$\frac{h}{c} \nu_0 = m_0 c \quad \text{и} \quad \frac{h}{c} \nu = \frac{h}{c} \nu_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = m_0 c \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Отношение импульсов даст коэффициент передачи импульса

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

$k=1$ при $\mathbf{v}=\mathbf{0}$ и только в этом случае весь импульс волны, излучаемой источником, будет получен частицей. При $\mathbf{v} \neq \mathbf{0}$ импульс волны будет лишь частично передаваться частице.

Закон сохранения импульса требует знака равенства при обмене импульсами. Общепринятое мнение о том, что квант волны при определенных условиях есть частица фотон, который является неделимым и не может отдавать часть своего им-

пульса, требует, чтобы импульс кванта излучаемой волны был равен импульсу поглощенного кванта.

При рассмотрении поперечного эффекта Доплера мы получили отношение составляющей скорости света, направленной на источник света, к скорости света $\frac{\sqrt{c^2 - v^2}}{c}$. После его преобразования

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

получили коэффициент передачи импульса k . Значит, коэффициент передачи импульса есть отношение скоростей. Но признанный постулат о постоянстве скорости света запрещает это. Остается одно – перенести этот коэффициент в равенстве импульсов к другой величине. Импульс кванта излучаемой волны не подлежит сомнению, т.к. он может быть измерен через частоту, излучаемых источником волн. Скорость

волны постоянная величина, скорость частицы \mathbf{v} также существует, если частица движется. Остается только ни в чем не повинная масса частицы. Обозначим ее через m и запишем равенство импульсов $m_0 c = m c \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$, сократим на c и получим

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

У нас получилась релятивистская формула зависимости массы тела от его скорости.

Используем уравнение равномерного движения

$$l_0 = c\Delta t_0$$

для скорости света, излучаемого источником, которая устанавливается постулатом, и

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

для скорости, с которой свет воспринимается приемником.

Сравним эти пути для случая, когда $\Delta t = \Delta t_0$. Чтобы не было сомнений относительно хода времени, отсчитывать его

будем по числу колебаний в волне. Равное число колебаний, значит, и равное время.

Сравнение проведем делением левых и правых частей равенств

$$\frac{l}{l_0} = \frac{c \cdot \Delta t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{c \cdot \Delta t_0} \text{ получаем } l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Аналогично сравним время прохождения светом расстояния $l=l_0$

$$\frac{l}{l_0} = \frac{c \cdot \Delta t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{c \cdot \Delta t_0}$$

после сокращения получаем

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Последние два вывода релятивистская теория рассматривает: первый, как сокращение расстояний при движении со скоростью v , второй, как изменение хода времени в зависимости от скорости.

Теперь проведем те же рассуждения, но используя уже прямой эффект Доплера. Частица массой m , равной массе кванта электромагнитной волны m_0 , движется вдоль направления, по которому распространяется волна, например, удаляясь от

источника волн. Применяем выводы о частоте волны при прямом эффекте Доплера.

Источник излучает волну частотой ν_0 , а частица принимает эту же волну частотой $\nu = \nu_0 \left(1 - \frac{v}{c}\right)$. Умножаем эти час-

тоты на $\frac{h}{c}$ и получаем импульсы излучаемой волны и полученный частицей

$$\frac{h}{c} \nu_0 = m_0 c \text{ и } \frac{h}{c} \nu = \frac{h}{c} \nu_0 \left(1 - \frac{v}{c}\right) = m_0 c \left(1 - \frac{v}{c}\right)$$

Определяем коэффициент передачи импульса

$$k = \frac{m_0 c \left(1 - \frac{v}{c}\right)}{m_0 c} = 1 - \frac{v}{c}$$

Снова в угоду закону сохранения импульса, принятому мнению о неделимости кванта – фотона и постулату о постоянстве скорости света записываем равенство

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

откуда

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

Получили зависимость массы от скорости.

Как и в предыдущих случаях получим зависимость длины от скорости. Применим уравнение равномерного движения

$$l_0 = c \Delta t_0$$

для скорости света относительно источника, равной c и

$$l = (c - v) \Delta t = c \cdot \Delta t \left(1 - \frac{v}{c}\right)$$

для скорости света относительно частицы – приемника равной $c-v$.

Делением сравним пути, определяемые этими уравнениями, за время $\Delta t = \Delta t_0$

$$\frac{l}{l_0} = \frac{c \cdot \Delta t \left(1 - \frac{v}{c}\right)}{c \cdot \Delta t_0} = 1 - \frac{v}{c}, \text{отсюда } l = l_0 \left(1 - \frac{v}{c}\right)$$

То же самое проделаем для сравнения промежутков времени Δt и Δt_0 , необходимых для прохождения светом одного и того же пути $l=l_0$

$$c \Delta t \left(1 - \frac{v}{c}\right) = c \cdot \Delta t_0$$

откуда

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{1 - \frac{v}{c}}$$

Мы получили уравнения, показывающие зависимость длины и промежутков времени от скорости движения приемника v .

Как в случае взаимодействия шаров, так и в случае, вытекающем из прямого эффекта Доплера, коэффициент передачи импульса содержит скорость v в первой степени. Отсюда следует, что изменение

направления скорости на противоположное, т.е. замену v на $-v$, вызовет характер изменения массы, длины и хода времени от скорости. Для массы получаем

$$m = \frac{m_0}{1 + \frac{v}{c}}$$

встречном движении кванта света и частицы, принимающей свет, ее масса будет уменьшаться. Аналогичные изменения произойдут и с длиной, и промежутками времени.

Используем метод уравнивания импульсов излучаемого и поглощаемого

Приравнивая излучаемый и поглощаемый импульсы, получаем соответственно:

$$\frac{h_0 v_0}{c} = \frac{h v_0}{c} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\frac{h_0 v_0}{c} = \frac{h v_0}{c} \left(1 - \frac{v}{c}\right)$$

После сокращения имеем:

$$h_0 = h \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \text{ или } h = \frac{h_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$h_0 = h \left(1 - \frac{v}{c}\right) \text{ или } h = \frac{h_0}{1 - \frac{v}{c}}$$

Получили зависимость $h(v)$ такую же, как и $m(v)$.

Мы рассмотрели три случая взаимодействия: столкновение шаров, взаимодействие кванта с частицей, движущейся перпендикулярно направлению на источник излучения, и с частицей, движущейся вдоль направления на источник излучения. Взаимодействие шаров рассматривалось лишь для того, чтобы показать несостоятельность выводов, основанных на постулате о постоянстве скорости. В примере с шарами использовались малые скорости так, что и массу, и длину, и промежутки времени можно измерить и убедиться в противоречии с действительностью.

Подведем итоги наших рассуждений.

1. Опыт Физо и эффект Доплера свидетельствуют о постоянстве скорости света относительно источника света и зави-

симости скорости света относительно приемника от относительной скорости источника и приемника.

2. Постулат о постоянстве скорости света является основой релятивистской теории. Причиной его появления, видимо, является отсутствие других объяснений

незыблемости закона сохранения импульса при поглощении кванта света приемником и сохранении при этом целостности кванта.

3. Ранее нами было установлено, что коэффициент передачи импульса есть отношение скорости света относительно приемника к скорости света относительно источника. Введение постулата о постоянстве скорости света вынудило переносить этот коэффициент на отношение масс, длин и отрезков времени, а мы еще для разнообразия перенесли его и на постоянную Планка.

Выразим импульсы излучаемого и поглощаемого квантов через постоянную Планка h и частоту ν . Пусть импульс излучаемого кванта будет $\frac{h_0 \nu_0}{c}$, а поглощаемого кванта будет $\frac{h \nu}{c}$.

исходя из эффекта Доплера, для поперечного: $\frac{h \nu}{c} = \frac{h \nu_0}{c} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ и для продольного: $\frac{h \nu}{c} = \frac{h \nu_0}{c} \left(1 - \frac{v}{c}\right)$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики т.3, 1972 г., «Наука».

2. Воронцов-Вельяминов Б.А. Астрономия 10, 1983 г., «Просвещение».

ABOUT INTERACTION OF MOVING OBJECTS

Degtyareva E.R., Yushkevich R.S., Kulikova I.Yu.

Interaction tel is considered in article under different velocity and is done conclusion about unfairness of the postulate about constancy of the velocities of the light comparatively any reference system. It is given also comprehensible with standpoint classical mechanical engineers explanation to dependencies of the length and time from velocity.