

падающим нормально. Определить толщину воздушного зазора, образованного плоскопараллельной пластинкой и соприкасающейся с ней плосковыпуклой линзой в том месте, где в отраженном свете наблюдается четвертое темное кольцо.

909. Радиус третьего светлого кольца Ньютона в отраженном свете равен 0,80 мм. Установка для наблюдения колец освещается монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 400$ нм. Найти радиус кривизны линзы.

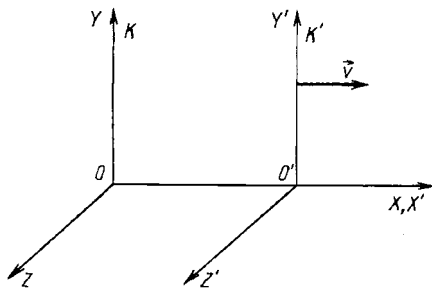
910. Монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 600$ нм падает нормально на дифракционную решетку с периодом $d = 3$ мкм. Сколько главных максимумов можно наблюдать в дифракционной картине?

911. Дифракционная решетка освещена нормально падающим монохроматическим светом. Главный максимум второго порядка наблюдается под углом $\varphi_1 = 10^\circ$. Под каким углом наблюдается максимум третьего порядка?

16. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Методические указания к решению задач

Необходимо иметь в виду, что в специальной теории относительности рассматриваются только инерциальные системы отсчета. В задачах обычно предполагается, что система K' движется со скоростью \vec{v} относительно системы K , причем оси OX и $O'X'$ совпадают, ось OY сонаправлена с осью $O'Y'$, а ось OZ — с осью $O'Z'$ (рис. 284).



Р и с. 284

Основные законы и формулы

Первый постулат специальной теории относительности (принцип относительности Эйнштейна): в любых инерциальных системах отсчета все физические явления при одних и тех же уровнях протекают одинаково.

Второй постулат специальной теории относительности (принцип постоянства скорости света): скорость света в вакууме одинакова во всех инерциальных системах отсчета и не зависит от движения источников и приемников света.

Релятивистское сокращение длины: если l_0 – длина стержня в системе K' , относительно которой он покоится и расположен вдоль оси $O'X'$, а l – длина этого стержня в системе K , относительно которой он движется со скоростью \vec{v} , то

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

где c – скорость света в вакууме: $c = 3 \cdot 10^8$ м/с. Поперечные размеры стержня не меняются.

Релятивистское замедление времени: если τ_0 – промежуток времени между двумя событиями, происходящими в одной и той же точке, неподвижной относительно системы K' , а τ – промежуток времени между этими же событиями в системе K , то

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

Релятивистский закон сложения скоростей:

$$u_x = \frac{u'_x + v}{1 + u'_x v/c^2},$$

где u_x – проекция скорости \vec{u} частицы в системе K на ось OX ; u'_x – проекция скорости \vec{u}' частицы в системе K' на ось $O'X'$; v – модуль скорости системы K' относительно системы K (см. рис. 284).

Зависимость импульса частицы от скорости:

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

где m – масса (масса покоя) частицы; \vec{v} – ее скорость.

Полная энергия (сумма кинетической энергии и энергии покоя) частицы

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

$$E_0 = mc^2.$$

Закон взаимосвязи массы и энергии: всякое изменение массы тела Δm сопровождается изменением энергии покоя:

$$\Delta E_0 = c^2 \Delta m.$$

Примеры решения задач

912. Тело движется с постоянной скоростью v относительно инерциальной системы отсчета K . При каком значении v продольные размеры тела уменьшатся в n раз для наблюдателя в этой системе? Вычислить v при $n = 1,5$. Скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Решение. Так как в системе K длина тела

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

и дано, что $l_0/l = n$, то $l_0 = nl$, следовательно,

$$l = nl \sqrt{1 - v^2/c^2}.$$

Отсюда

$$\frac{1}{n^2} = 1 - \frac{v^2}{c^2}, \quad v = c \sqrt{1 - \frac{1}{n^2}}.$$

При $n = 1,5$ получим $v = 2,3 \cdot 10^8$ м/с.

913. Вычислить модуль импульса электрона, движущегося со скоростью $v = 2,6 \cdot 10^8$ м/с. Масса электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Решение. Электрон имеет импульс, модуль которого

$$p = \frac{m_e v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

Подставив в эту формулу значения заданных величин и произведя вычисления, получим $p = 2,4 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с.

914. Вычислить изменение энергии покоя, соответствующее изменению массы на величину, равную массе покоящегося протона.

Решение. Согласно закону взаимосвязи массы и энергии,

$$\Delta E_0 = c^2 \Delta m,$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с; Δm равно массе протона $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг. В результате вычислений найдем $\Delta E_0 = 1,5 \cdot 10^{-10}$ Дж.

Задачи для самостоятельного решения

915. Линейка длиной $l_0 = 1$ м движется вдоль оси OX в инерциальной системе отсчета K (см. рис. 284) со скоростью $v = 0,8c$, где c – скорость света в вакууме. Какова длина этой линейки в системе K ?

916. Космический корабль движется мимо неподвижного наблюдателя со скоростью $v = 0,6c$, где c – скорость света в вакууме. Сколько времени пройдет по часам наблюдателя, если по часам, находящимся в корабле, прошло $\tau_0 = 100$ ч?

917. Найти полную энергию и кинетическую энергию релятивистской (движущейся со скоростью, близкой к скорости света) частицы, модуль импульса которой $p = 5,68 \cdot 10^{-19}$ кг · м/с, а масса $m = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг. Скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

918. Вычислить энергию покоя тела массой $m = 1$ кг. Скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

919. Космический корабль удаляется от Земли со скоростью $v_1 = 0,80c$, а затем с него стартует ракета в направлении от Земли со скоростью $v_2 = 0,80c$ относительно корабля (c – скорость света в вакууме). Определить скорость ракеты относительно Земли.

920. Две релятивистские частицы движутся навстречу друг другу вдоль одной прямой, параллельной оси OX , в системе K (см. рис. 284) со скоростями $v_1 = 0,70c$ и $v_2 = 0,80c$, где c – скорость света в вакууме. Определить относительную скорость этих частиц в системе K' , движущейся с первой частицей.