

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.

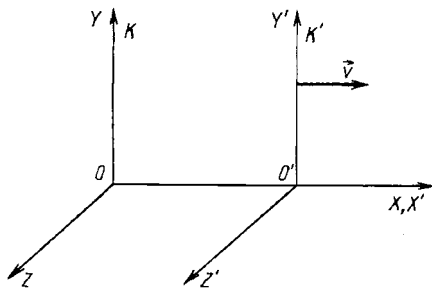
**910.** Монохроматический свет с длиной волны  $\lambda = 600$  нм падает нормально на дифракционную решетку с периодом  $d = 3$  мкм. Сколько главных максимумов можно наблюдать в дифракционной картине?

**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  $\tau_0$  – промежуток времени между двумя событиями, происходящими в одной и той же точке, неподвижной относительно системы  $K'$ , а  $\tau$  – 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  $\Delta m$  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;  $\Delta m$  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.