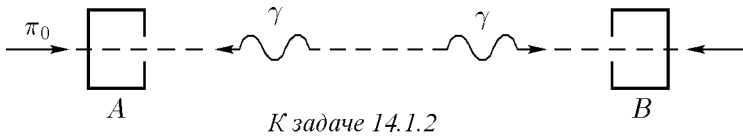


## Специальная теория относительности

### § 14.1. Постоянство скорости света. Сложение скоростей

14.1.1. Отражённый от самолёта радиосигнал вернулся к локатору через  $10^{-4}$  с. На каком расстоянии находился самолёт от локатора в момент отражения радиосигнала?

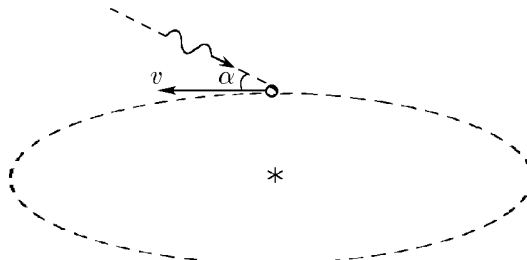
◇ 14.1.2. Через  $10^{-8}$  с после пролёта  $\pi^0$ -мезона через счётчик  $A$  счётчики  $A$  и  $B$  зафиксировали  $\gamma$ -кванты, которые возникли при распаде  $\pi^0$ -мезона:  $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$ . Расстояние между счётчиками равно 1 м. С какой скоростью двигался  $\pi^0$ -мезон?

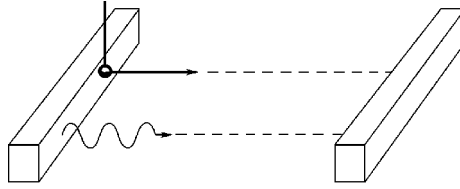


14.1.3. Под каким углом к горизонту виден светящийся предмет, движущийся горизонтально со скоростью  $\beta c$  в момент, когда он находится над наблюдателем?

◇ 14.1.4\*. По наблюдениям с Земли свет далёкой звезды падает на Землю под углом  $\alpha$  к направлению её движения, когда Земля приближается к звезде с наибольшей скоростью. На сколько изменится этот угол, когда скорость Земли изменит своё направление на противоположное?

◇ 14.1.5. С первой космической станции на вторую станцию, неподвижную относительно первой, были направлены одновременно испытатель-





К задаче 14.1.5

ный зонд и световой сигнал. Отразившись от второй станции, затем от первой, световой сигнал вернулся на вторую станцию, когда на неё прибыл космический зонд. Какую скорость зонда относительно станции зафиксируют наблюдатели на станциях? Какую относительную скорость зафиксирует аппаратура зонда?

**14.1.6\*.** Решите задачу 14.1.5 в случае, когда относительная скорость второй станции по наблюдениям с первой станции равна  $v$ . Какую относительную скорость имеет первая станция по наблюдениям со второй?

**14.1.7\*.** По линии, соединяющей две неподвижные друг относительно друга станции, со скоростью  $v$  относительно станций двигался космический корабль. «Станции находились на одинаковом расстоянии от нашего корабля, когда на них одновременно отразился наш световой сигнал, так как световые сигналы были отправлены одновременно на станции и вернулись они после отражения от станций тоже одновременно», — утверждает наблюдатель с корабля. Сотрудники же станции наблюдали, что сигналы отразились от станций в разное время. Как объяснить эти разногласия? Какую разницу во временах отражения наблюдали сотрудники станции, если расстояние между станциями (в их системе) равно  $l$ ? На каких расстояниях они фиксировали корабль в моменты отражений сигналов от станций?

**14.1.8.** Самолёт и ракета движутся по одной прямой и в одном направлении. Скорость самолёта равна  $\beta c$ . С самолёта испускаются световые импульсы через равные интервалы, которые, отразившись от ракеты, приходят на самолёт через интервалы, в  $k$  раз более длинные, чем интервалы испускаемых импульсов. Определите скорость ракеты относительно самолёта по наблюдениям с самолёта и по наблюдениям с Земли.

**14.1.9.** «...Космический объект приближался к Земле. Навстречу ему мчалась самая быстрая космическая лаборатория. „Какова скорость сближения объекта и лаборатории?“ — запросил с Земли генерал, руководитель встречи. „В системе Земли или нашей лаборатории?“ — отозвался оператор лаборатории. „Какая разница“, — ответил генерал. „Эти скорости уже отличаются на 0,01 %, — неслось из космоса. — Сейчас мы достигли скорости сближения ровно 100 000 км/с в нашей системе, и больше мы её не меняем“. „Как измеряете скорость?“ — спросил генерал. „Так же, как и вы, мы установили пассивную связь с объектом. Радарный импульс постоянно

курсирует между нами и объектом, отражаясь попеременно то от нашей лаборатории, то от объекта. Скорость сближения определяется по изменению времени возвращения импульса“. „Это верно, когда радарный импульс и удаляется, и приближается к лаборатории со скоростью, равной скорости света, — подумал генерал. — Тогда скорость приближения объекта определяется только отношением двух соседних времён. Но у них не так. Когда они догоняют отражённый импульс, скорость импульса с уменьшается на величину скорости лаборатории и на столько же увеличивается, когда импульс летит навстречу“. Неожиданно для себя генерал спросил у оператора: „Какая скорость сближения получилась бы у вас, если бы мы сообщили с Земли наблюдаемые нами скорости импульса по отношению к лаборатории и вы воспользовались бы этими величинами для расчёта скорости объекта по времени возвращения импульса? Наверняка ту же самую, что мы видели с Земли“. „Да, генерал,“ — со скоростью света полетел ответ на Землю. У генерала мелькнула мысль: „Лукавят физики. Просто не могут измерить скорость импульса. Нет масштаба. И принимают её равной скорости света. Отсюда — все несовпадения“. Этот отрывок из ещё не опубликованного научно-фантастического рассказа вызвал следующие вопросы. Насколько прав генерал? Чему равна скорость объекта и лаборатории в системе «Земля»?

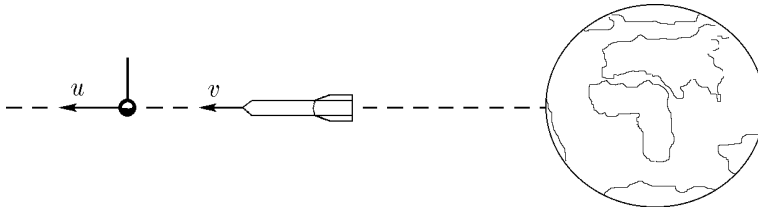
**14.1.10\*.** а) По наблюдениям с Земли скорости двух космических кораблей, летящих навстречу друг другу, равны  $v$  и  $u$ . Покажите, что относительная скорость одного корабля по наблюдениям с другого определяется формулой

$$v_1 = \frac{v + u}{1 + vu/c^2}.$$

◇ б) По наблюдениям с Земли космический корабль удаляется от неё со скоростью  $v$ . В направлении движения с корабля был выброшен зонд. По наблюдениям с корабля зонд движется относительно корабля со скоростью  $u$ . Докажите, что наблюдаемая с Земли скорость удаления зонда от Земли равна

$$\frac{v + u}{1 + vu/c^2}.$$

При решении задач используйте постоянство величины скорости света в разных системах отсчёта.

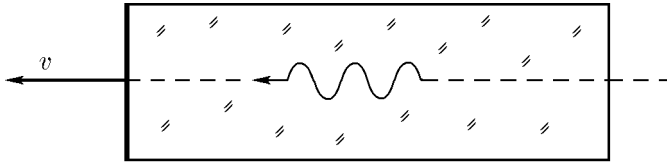


К задаче 14.1.10 б

**14.1.11.** На фотонной ракете, летящей со скоростью  $225\,000$  км/с относительно Земли, установлен ускоритель, разгоняющий электроны до скорости  $240\,000$  км/с относительно ракеты в направлении её движения. Какова скорость этих электронов в системе «Земля»?

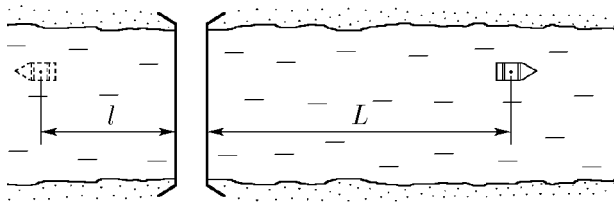
**14.1.12.** Найдите скорость распространения света относительно покоящегося наблюдателя, если луч света движется в среде с показателем преломления  $n$ , которая, в свою очередь, движется относительно наблюдателя со скоростью  $v$  в направлении распространения света.

◇ **14.1.13.** Стекланный брусок длиной  $l$  движется в продольном направлении со скоростью  $v$ . Передний торец бруска посеребрён. Сколько времени по часам неподвижного наблюдателя потребуется свету, входящему в брусок через задний торец, чтобы пройти по бруску, отразиться от посеребрённого торца и выйти из бруска? Коэффициент преломления стекла равен  $n$ .



К задаче 14.1.13

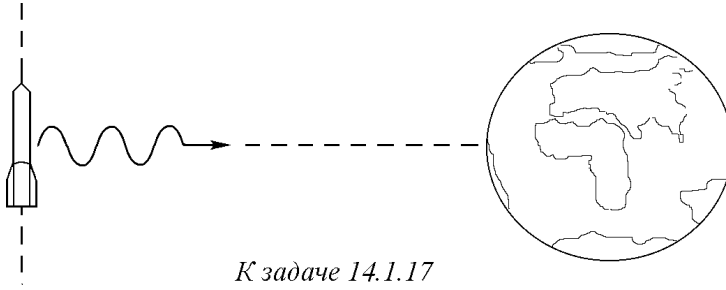
◇ **14.1.14\*.** Лодочник под мостом уронил в воду багор. Через время  $\tau$ , находясь на расстоянии  $L$  от моста, он обнаружил потерю и, повернув назад, догнал багор на расстоянии  $l$  от моста. Время и расстояния приведены в системе «берег». Какова скорость течения реки? Получите релятивистский ответ и из него нерелятивистское приближение.



К задаче 14.1.14

**14.1.15.** Движущееся ядро распадается на два одинаковых осколка. Скорость осколка в направлении движения равна  $v$ , скорость в противоположном направлении равна  $u$ . Определите скорость ядра.

**14.1.16.** Скорость заряженной частицы равна  $v$ . Определите, во сколько раз изменится скорость этой частицы после встречи с электрическим полем, движущимся навстречу частице со скоростью  $u$ , если после этой встречи частица отразилась в направлении движения поля?



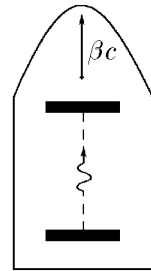
К задаче 14.1.17

◇ 14.1.17. Мимо Земли со скоростью  $v$  пролетает ракета. Посланный с Земли световой сигнал отразился от ракеты, когда она находилась от Земли на минимальном расстоянии  $l$ . Определите время возвращения сигнала на Землю по наблюдениям с Земли и с ракеты.

14.1.18. Если в какой-либо системе отсчёта фиксируются события, например радиоактивный распад, рассеяние частиц, отражение света от зеркала, то эти явления будут фиксироваться в любой системе отсчёта. Покажите, пользуясь этим, что отношение времён между событиями, происходящими в одном и том же месте для какой-либо системы, одинаково в любой системе отсчёта.

14.1.19. Покажите, что в движущейся со скоростью  $\beta c$  ракете поперечные размеры не меняются.

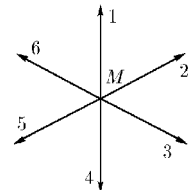
◇ 14.1.20. В ракете время измеряется световыми ходиками, состоящими из двух зеркал, расположенных на расстоянии  $l$  друг от друга. Число колебаний светового зайчика между этими зеркалами отсчитывает время в этой ракете. Как изменится ход этих часов по наблюдениям на станции, относительно которой ракета движется со скоростью  $\beta c$ ? Покажите, что если ось ходиков направлена вдоль скорости  $\beta c$ , то расстояние между зеркалами уменьшится в  $\gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$  раз?



К задаче 14.1.20

14.1.21. Во сколько раз изменится скорость частицы  $v$  при переходе в систему отсчёта, движущуюся со скоростью  $u$ , если  $v \perp u$ ?

◇ 14.1.22. На рисунке изображены векторы скоростей шести зайцев, выпущенных старым Мазаем, в системе отсчёта, неподвижной относительно Мазаю. Нарисуйте скорости зайцев и Мазаю в системе отсчёта, неподвижной относительно зайца 1, если зайцы разбегутся со скоростью



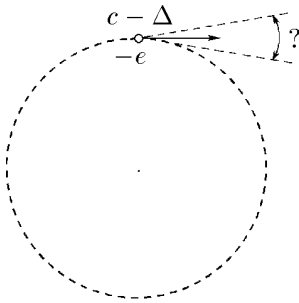
К задаче 14.1.22

14.1.23. Неподвижный радар испускает радиальные электромагнитные волны длиной  $\lambda$ . Изобразите эти волны для радара, движущегося со ско-

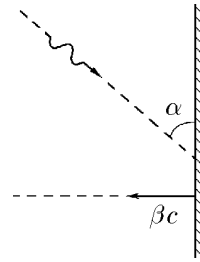
ростью  $v = 4c/5$ . Как изменится длина волны в направлении движения радара? В противоположном направлении? Под углом  $\pi/2$  к направлению движения?

**14.1.24\***.  $\pi^0$ -Мезоны, имеющие одинаковую скорость  $\beta c$ , распадаются на  $\gamma$ -кванты:  $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$ . Какая часть  $\gamma$ -квантов движется под углами к скорости  $\beta c$ , меньшими  $\pi/2$ ?

◇ **14.1.25\***. Двигаясь по круговой дорожке накопителя со скоростью, близкой к скорости света, электрон испускает свет в основном в направлении движения в области малого угла. Оцените этот угол, если скорость электрона на  $\Delta$  меньше скорости света,  $\Delta \ll c$ .



К задаче 14.1.25

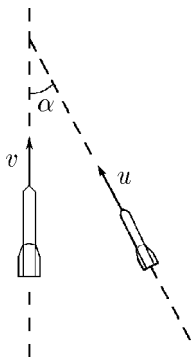


К задаче 14.1.26

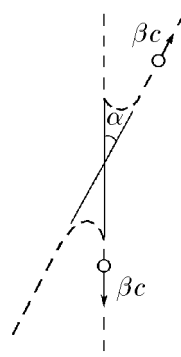
◇ **14.1.26\***. Зеркало движется со скоростью  $\beta c$  перпендикулярно своей плоскости. Под каким углом отразится от этого зеркала фотон, падающий на зеркало под углом  $\alpha$ ?

◇ **14.1.27**. Для встречи с космическим кораблём, летящим со скоростью  $v$ , под углом  $\alpha$  к направлению движения корабля запускается со скоростью  $u$  ракета связи. Определите скорость ракеты в системе отсчёта корабля.

◇ **14.1.28\***. Угол отклонения протона, имеющего скорость  $\beta c$ , при столкновении с другим протоном, летящим ему навстречу с той же скоростью,



К задаче 14.1.27



К задаче 14.1.28