

Задача 11-3 Принцип Гюйгенса, конус Маха, эффект Доплера, излучение Вавилова-Черенкова... и т.д.

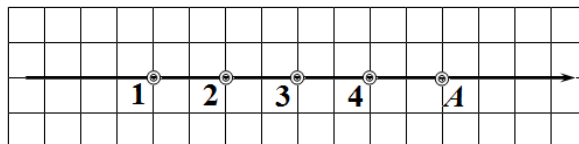
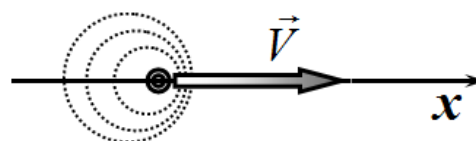
В данной задаче Вам необходимо рассмотреть и правильно описать ряд эффектов, связанных с испусканием волн движущимся источником.

Части 1,2,3 связаны между собой, поэтому приведенные данные используются во всех этих частях.

1. Принцип Гюйгенса.

Точечный источник, непрерывно испускающий звуковую волну с частотой ν_0 , движется равномерно и прямолинейно вдоль оси Ox в воздухе. Скорость звука в воздухе равна c .

1.1 Постройте (на отдельном бланке) фронты волн, испущенных источником в точках 1, 2, 3, 4, в момент времени, когда источник находится в точке A . Построение выполните для двух случаев

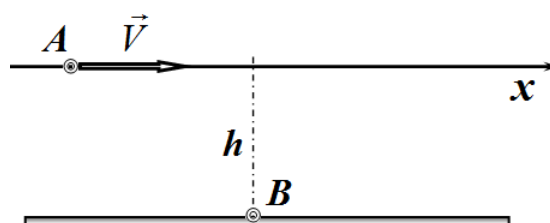


а) скорость источника $V_0 = \frac{c}{2}$; б) скорость источника $V_0 = 2c$.

2. Конус Маха.

Покажите, что при сверхзвуковой скорости источника ($V_0 > c$) за источником распространяется ударная волна, имеющая форму конуса, который называется конусом Э. Маха

Для этого рассмотрите следующую задачу. Пусть источник (самолет) A движется прямолинейно и равномерно с постоянной скоростью \vec{V} на постоянной высоте h . Неподвижный наблюдатель (или слушатель) B находится на поверхности Земли. Введем ось Ox , направленную вдоль траектории источника. Начало отсчета этой оси выберем над наблюдателем. Будем считать, что в момент времени $t = 0$ источник находится в точке $x = 0$.



2.1 В какой момент времени t , когда до наблюдателя дойдет звук, испущенный источником в момент времени τ ? Постройте схематические графики зависимости $t(\tau)$ для двух случаев (не забудьте рассмотреть отрицательные значения τ - самое интересное и важное именно в этой области!):

а) скорость источника $V_0 = \frac{c}{2}$; б) скорость источника $V_0 = 2c$.

2.2 Кратко опишите, что будет слышать наблюдатель в течение длительного промежутка времени в случае, когда $V_0 = 2c$. В какой момент времени наблюдатель впервые услышит звук от источника? Где в этот момент будет находиться источник?

2.3 Как построенные графики доказывают возникновение ударной волны при $V_0 = 2c$ и ее отсутствие при $V_0 = \frac{c}{2}$?

2.4 Пусть скорость источника $V > c$, найдите угол полураствора конуса ударной волны. Зависит ли этот угол от частоты волны, испускаемой источником.

3. Эффект Доплера.

Пусть источник звука, непрерывно испускающий звуковую волну с частотой ν_0 , движется равномерно и прямолинейно вдоль оси Ox в воздухе, со скоростью V меньшей скорости звука c .

3.1 С какой частотой будет слышать этот звук неподвижный наблюдатель, находящийся на оси Ox а) впереди источника; б) позади источника?

3.2 Рассмотрите ситуацию описанную в части 2 и на соответствующем рисунке. Опишите процедуру (осуществлять ее не надо – достаточно громоздко!), которая на основании полученных ранее соотношений, дает возможность найти зависимость частоты звука ν , воспринимаемого наблюдателем B от времени. Нарисуйте схематический график этой зависимости (хотя бы по трем точкам).

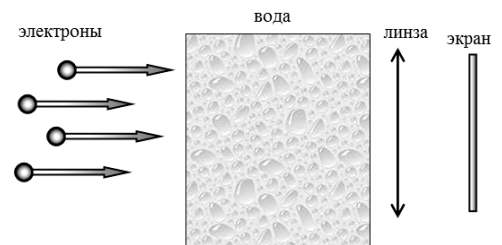
Часть 4 не связана с предыдущими частями.

4. Излучение Вавилова-Черенкова.

Если заряженная частица (например электрон) движется в прозрачной среде со скоростью, большей чем скорость света в этой среде, то она излучает свет (этот эффект называется эффектом Вавилова-Черенкова). За этой частицей возникает световой конус подобный конуса Маха ударной световой волны.

Теперь задача (допускается проведение промежуточных численных расчетов).

Широкий пучок ультрарелятивистских (т.е. движущихся со скоростями близкими к скорости света в вакууме $c = 3,0 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$) электронов попадает в слой воды. Считайте, что скорости всех электронов одинаковы и все они движутся параллельно друг другу. За слоем воды находится собирающая линза в фокальной плоскости которой расположен экран.



4.1. При какой минимальной полной энергии электронов E_{\min} начнется излучение Вавилова-Черенкова? Ответ дайте в электрон-вольтах.

4.2 Какую ускоряющую разность потенциалов должны пройти электроны, чтобы достичь полной энергии равной E_{\min} .

Показатель преломления воды $n = 1,33$. Масса электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} кг$, его заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19} Кл$.

4.3 Пусть все электроны имеют полную энергию равную $2E_{\min}$. Опишите световую картину (форму и размеры), которая будет наблюдаться на экране. Фокусное расстояние линзы $F = 10 см$

Бланк задачи 11-3

