**. Задание 29 №**[**3049**](https://phys-ege.sdamgia.ru/problem?id=3049)

У самой поверхности воды в реке летит комар, стая рыб находится на расстоянии 2 м от поверхности воды. Каково максимальное расстояние до комара, на котором он еще виден рыбам на этой глубине? Относительный показатель преломления света на границе воздух — вода равен 1,33.

**Решение.**Рыба видит комара, если существует световой луч от него, который, переломившись на границе раздела воздух — вода, попадет ей в глаз. Вода — среда оптически более плотная чем воздух, поэтому угол преломления всегда меньше, чем угол падения. Так как комар находится над самой водой, максимальное расстояние между комаром и рыбой определяется предельным углом преломления, который можно найти при помощи закона преломления Снеллиуса:  Из рисунка видно, что расстояние между комаром и рыбой равно




Ответ: 3 м.

**2. Задание 29 №**[**3661**](https://phys-ege.sdamgia.ru/problem?id=3661)

На дифракционную решетку с периодом  нормально падает пучок света, состоящий из фотонов с импульсом  Под каким углом  к направлению падения пучка наблюдается дифракционный максимум второго порядка?

**Решение.**Углы, определяющие направления на дифракционные максимумы, при нормальном падении пучка на решетку удовлетворяют условию  где — длина волны света, 

Импульс фотона связан с его длиной волны  соотношением  где *h* — постоянная Планка. Из записанных соотношений находим:



Таким образом, 

Ответ: 

**3. Задание 29 №**[**3685**](https://phys-ege.sdamgia.ru/problem?id=3685)

Точечный источник света *S* находится в передней фокальной плоскости собирающей линзы на расстоянии  от ее главной оптической оси. За линзой в ее задней фокальной плоскости находится плоское зеркало (см. рис.). Построить действительное изображение  источника в данной оптической системе и найти расстояние между точками *S* и 



**Решение.**Лучи от точечного источника *S*, находящегося в фокальной плоскости собирающей линзы, после линзы образуют пучок параллельных лучей, идущих под таким углом  к главной оптической оси линзы, что  (здесь *F* — фокусное расстояние данной линзы).

Согласно закону отражения света, этот пучок отразится от плоского зеркала симметрично относительно перпендикуляра к зеркалу под тем же углом  и пойдет в обратном направлении, к линзе (см. рис.).



После преломления в собирающей линзе этот параллельный пучок света превратится в сходящийся и сформирует в передней фокальной плоскости изображение  источника в виде точки, расположенной симметрично с *S* относительно главной оптической оси, то есть также на расстоянии  см от неё. Таким образом, искомое расстояние 

Ответ: 

**4. Задание 29 №**[**3691**](https://phys-ege.sdamgia.ru/problem?id=3691)

Школьник на уроке физики получил вогнутое полусферическое зеркало радиусом *R* и лазерную указку, дающую узкий параллельный пучок света с длиной волны  Он пустил луч света от указки параллельно главной оптической оси зеркала  на расстоянии *х* от неё (см. рисунок). Затем школьник так подобрал расстояние *х*, что луч, отразившись от зеркала один раз, отклонился от оси  на максимальный угол  и вышел за пределы зеркала. Чему при таком отражении равен модуль изменения импульса каждого фотона лазерного луча?

**Решение.**Построим, согласно закону отражения света, ход крайнего луча при однократном его отражении от зеркала (см. рис.). Угол падения луча на зеркало равен углу  между лучом и радиусом зеркала, проведенным в точку А падения этого луча. Угол отражения также равен  и крайний отраженный луч должен, очевидно, касаться края полусферического зеркала в точке В.

Треугольник ОАВ в силу равенства OA = OB = *R* является равнобедренным,  При этом





Угол отклонения крайнего луча  Таким образом, луч лазерной указки в результате отражения отклоняется от главной оптической оси зеркала на максимальный угол 

При отражении света от зеркала импульс фотона  поворачивается на угол  а модуль импульса фотона не меняется и остаётся равным  Следовательно, вектор изменения импульса фотона  является основанием равнобедренного треугольника с боковыми сторонами длиной *p* и углом  при основании. Поэтому искомый модуль изменения импульса фотона равен



Ответ: 

**5. Задание 29 №**[**4220**](https://phys-ege.sdamgia.ru/problem?id=4220)

Точечный источник мощностью *Р* = 1 мВт излучает импульсно монохроматический свет с длиной волны  = 600 нм равномерно во всех направлениях (такой источник называется изотропным). На каком расстоянии *r* от него концентрация фотонов (то есть число фотонов в единице объема) равна  Объем сферического слоя радиусом *r* и толщиной  равен 

**Решение.**Энергия одного фотона равна  где  — частота, *h* — постоянная Планка, а  — длина волны света.

За время  источник излучает  фотонов, разлетающихся изотропно во все стороны со скоростью света 

На расстоянии *r* от источника в тонком сферическом слое объёмом  концентрация фотонов будет равна



Таким образом, искомое расстояние равно




Ответ: 2 м.

**6. Задание 29 №**[**5747**](https://phys-ege.sdamgia.ru/problem?id=5747)

При исследовании спектра ртути с помощью дифракционной решётки и гониометра (прибора для точного измерения углов дифракции света) было обнаружено, что в спектре 3-го порядка вблизи двойной жёлтой линии ртути со средней длиной волны  = 578 нм видна сине-фиолетовая линия 4-го порядка. Оцените её длину волны 

**Решение.**Главные дифракционные максимумы решётки наблюдаются при условии *d*sinφ = *mλ*, где *d* — период решётки, φ — угол дифракции, *m* — порядок дикфракционного максимума, *λ* — длина волны света, падающего на решётку.

По условию вблизи одного и того же угла φ в спектре наблюдаются главные максимумы 3-го порядка для жёлтой линии и 4-го порядка сине-фиолетовой линии:  откуда  нм, что близко к табличному значению длины волн для сине-фиолетовой линии в спектре ртути: *λ* = 436 нм.

Ответ: 434 нм.

**7. Задание 29 №**[**6436**](https://phys-ege.sdamgia.ru/problem?id=6436)

Лазер испускает световой импульс с энергией *W* = 3 Дж и длительностью τ = 10 нс. Свет от лазера падает перпендикулярно на плоское зеркало площадью *S* = 10 см2. Какое среднее давление окажет свет на зеркало?

**Решение.**1. При отражении от зеркала импульс фотонов изменяется на  где ν — частота света, излучаемого лазером; *h* — постоянная Планка; *с* — скорость света в вакууме.

2. Пусть *N* — число фотонов, излучённых лазером, тогда *W* = *Nh*ν.

3. Модуль силы, действующей на зеркало  Давление света на зеркало:




Ответ: 

**8. Задание 29 №**[**6471**](https://phys-ege.sdamgia.ru/problem?id=6471)

Лазер испускает световой импульс с энергией *W* = 12 Дж. Свет от лазера падает перпендикулярно на плоское зеркало площадью *S* = 10 см2. Определите длительность импульса τ, если среднее давление света на зеркало равно *p* = 1 кПа.

**Решение.**1. При отражении от зеркала импульс фотонов изменяется на  где ν — частота света, излучаемого лазером; *h* — постоянная Планка; *с* — скорость света в вакууме.

2. Пусть *N* — число фотонов, излучённых лазером, тогда *W* = *Nh*ν.

3. Модуль силы, действующей на зеркало  Давление света на зеркало:



откуда находим длительность импульса света:



Ответ: 

**9. Задание 29 №**[**6945**](https://phys-ege.sdamgia.ru/problem?id=6945)

Мальчик, занимавшийся весной на улице выжиганием по дереву при помощи фокусировки солнечного света лупой, случайно забрызгал деревянную поверхность, и на ней появились капли воды объёмом *V* = 1 мм3. Сколько времени займёт испарение одной такой капли, если солнечная постоянная равна *С* = 1,4 кВт/м2, диаметр лупы *D* = 5 см, начальная температура капель близка к 0 °С и весь сфокусированный лупой свет поглощается каплей?

*Справка*: Солнечная постоянная – это энергия излучения Солнца, попадающая в единицу времени на единицу площади при нормальном падении солнечного света.

**Решение.**Удельная теплоемкость воды равна *с*в = 4200 Дж/(кг·К), удельная теплота парообразования воды равна λ = 2 300 000 Дж/кг, плотность воды равна ρ = 1000 кг/м3.

Подсчитаем энергию, необходимую для нагревания и испарения капли:

E = ρ*V*[*c*в · (100 − 0) + λ] = 1000 · 10−9 · (4200 · 100 + 2 300 000) = 10-6 · 2,72 · 106 = 2,72 Дж.

Мощность излучения, падающего на каплю, равна той, что попадает на линзу:



Время испарения капли, таким образом, равно 

Ответ: *t* ≈ 1,0 с.

**10. Задание 29 №**[**7372**](https://phys-ege.sdamgia.ru/problem?id=7372)

Аквариум имеет прозрачные вертикальные стенки: три плоские (боковые и заднюю) и одну цилиндрическую (переднюю), с радиусом *R* = 0,8 м. В него налита вода с показателем преломления *n* = 4/3. Мальчик, глядя на маленькую рыбку в аквариуме по горизонтали, перпендикулярно цилиндрической стенке, видит рыбку (точнее, её изображение) на расстоянии *b* = 16 см от этой стенки (см. рисунок). На каком расстоянии a от этой стенки будет видна рыбка, если мальчик будет смотреть на неё сквозь поверхность воды по вертикали, сверху вниз?

**Решение.**Построим ход лучей от рыбки вблизи радиуса *ОD*, направленного перпендикулярно цилиндрической поверхности к наблюдателю вне аквариума (см. рис.). Из закона преломления света следует, что луч *AD*, идущий от рыбки перпендикулярно поверхности, не преломляется, а луч *AC*, идущий от рыбки вблизи этого перпендикуляра, на расстоянии *x* от него, и составляющий с радиусом *OC* поверхности малый угол α, отклоняется после преломления от данного радиуса на малый угол β, причём β /α = *n*. Точка *В* пересечения продолжения этого луча и первого луча *AD*, перпендикулярного поверхности аквариума, даёт положение изображения рыбки, которое мальчик видит через цилиндрическую стенку аквариума, глядя снаружи, причём расстояние *b = BD*.

Пусть радиус *ОС* поверхности, проведённый в точку *C* на расстоянии *x* от первого перпендикуляра, составляет с ним малый угол γ (см. рис.). Тогда луч, идущий от рыбки в эту точку, составляет с этим перпендикуляром, как внешний угол треугольника *ОАС*, малый угол α + γ, а угол между продолжением преломленного луча и перпендикуляром, то есть внешний угол треугольника *ОВС*, — малый угол β + γ.

В силу малости всех углов можно написать соотношение: *x* = *a*(α + γ) = *b*(β + γ), откуда  Отношение γ/β находим по теореме синусов для треугольника *ОBС* в пределе малых углов β и γ:*ОB = R – b*, *BC* ≈ *BD* = *b*, так что  Таким образом, рыбка будет видна сверху на расстоянии от передней цилиндрической стенки аквариума, равном




Ответ: 20 см.

**11. Задание 29 №**[**7902**](https://phys-ege.sdamgia.ru/problem?id=7902)

На расстоянии *b* от собирающей линзы находится точечный источник света, расположенный на высоте *Н* от главной оптической оси. В фокальной плоскости линзы расположен экран с маленькой щелью *А* на расстоянии *h* от главной оптической оси. Изобразите ход луча *SA* и определите, на каком расстоянии *х* от плоскости линзы этот луч пересечёт главную оптическую ось.

*F* = 20 см,

*h* = 4 см,

*b* = 70 см,

*H* = 5 см.

**Решение.**Построим изображение источника  используя свойства тонкой линзы: луч, идущий параллельно оптической оси, после преломления в линзе проходит через её фокус; луч, идущий через середину линзы, не преломляется. Луч *SA* после преломления в линзе также пройдёт через точку  (см. рисунок).

Теперь вычислим, где он пересекает оптическую ось. Луч преломляется в линзе на расстоянии *y* от оптической оси. Из подобия треугольников находим, что



По формуле тонкой линзы находим положение :





Из подобия треугольников находим, что




Ответ: ход луча изображён на рисунке, 

**12. Задание 29 №**[**8026**](https://phys-ege.sdamgia.ru/problem?id=8026)

Тонкая палочка *АВ* длиной *l* = 10 см расположена параллельно главной оптической оси тонкой собирающей линзы на расстоянии *h* = 15 см от неё (см. рисунок). Конец *А* палочки располагается на расстоянии *а* = 40 см от линзы. Постройте изображение палочки в линзе и определите его длину *L*. Фокусное расстояние линзы *F* = 20 cм.

**Решение.**1. Построение изображения  предмета *АВ* в линзе показано на рисунке.

2. Так как точка *А* находится на расстоянии 2*F* от линзы, то её изображение  также находится на расстоянии 2*F* от линзы, и расстояние от точки  до главной оптической оси равно *h*.

3. Длина изображения 



4. Из формулы тонкой линзы  получим:



5.  откуда 

6. Окончательно получим: 

Ответ: 

**13. Задание 29 №**[**8881**](https://phys-ege.sdamgia.ru/problem?id=8881)

Параллельный пучок света от ртутной лампы нормально падает на дифракционную решётку с периодом *d* = 5 мкм. За решёткой находится объектив с фокусным расстоянием *F* = 25 см, а в его фокальной плоскости, параллельной решётке, — экран, на котором наблюдается линейчатый спектр лампы. Каково расстояние *Δl* на экране между жёлтой линией с длиной волны *λ*1 = 578 нм в спектре порядка *m*1 = 3 и синей линией с длиной волны *λ*2 = 436 нм в спектре порядка *m*2 = 4?

**Решение.**1. Вначале построим ход параллельных лучей от источника, идущих через дифракционную решётку и линзу до экрана, где наблюдается спектр порядка *m* (для какой-то одной спектральной линии ртути с длиной волны ).

2. Согласно основному уравнению  для углов отклонения света с длиной волны  решёткой с периодом *d*, после неё в порядке *m* получается параллельный пучок света, идущий под таким углом  что 

3. Этот пучок после тонкой линзы с фокусным расстоянием *F* > 0, согласно правилам построения изображений в ней, собирается в точку в фокальной плоскости линзы (см. рисунок), отстоящую от оптической оси линзы на расстояние

4. Выражая  через получаем 

5. Таким образом, искомое расстояние между линиями на экране равно  и составляет 

Ответ: 

**14. Задание 29 №**[**8962**](https://phys-ege.sdamgia.ru/problem?id=8962)

Параллельный пучок света с длиной волны *λ* = 600 нм и концентрацией фотонов *n* = 1014 м-3 нормально падает на идеальное зеркало, равномерно освещая всю его поверхность, площадь которой равна *S* = 1 м2. Чему равен модуль силы *F* давления этого светового пучка на зеркало?

**Решение.**1. Каждый фотон в пучке света имеет энергию  и импульс  Поскольку  импульс фотона равен 

2. При нормальном падении света на идеальное зеркало знак импульса меняется на противоположный, так что каждый фотон передаёт зеркалу импульс 

3. По второму закону Ньютона сила равна скорости изменения импульса p тела: 

4. За единицу времени ( = 1 с) от зеркала отразятся все фотоны, находящиеся в цилиндре с высотой, равной скорости света *с* и площадью основания *S*, и движущиеся в направлении зеркала, так что  и



Ответ: 

**15. Задание 29 №**[**9106**](https://phys-ege.sdamgia.ru/problem?id=9106)

На горизонтальном столе лежит квадратная плоскопараллельная пластина со стороной *a* = 5,2 см и толщиной *d* = 1 см, изготовленная из стекла с показателем преломления *n* = 1,5. Боковые вертикальные поверхности пластины зачернены и поглощают свет. Школьник с разных сторон направляет узкий световой луч от мощной лазерной указки на пластину под углом α = 30º к вертикали и наблюдает на потолке комнаты пятна света, многократно отражённого от пластины. Какое максимальное число *N* таких пятен он сможет увидеть, если наиболее удачно выберет направление падения светового луча?

**Решение.**Нарисуем ход лучей, отражённых от пластины (см. рис.). В результате многократных отражений от верхней и нижней поверхностей пластины в плоскости падения первичного луча от лазерной указки образуется система параллельных отражённых лучей, идущих также под углами  к вертикали.

Найдём расстояние *b* между соседними отражёнными лучами на поверхности пластины. Из рисунка следует, что *b* = 2*d* · tg*β*, где угол β преломления лучей, согласно закону Снеллиуса для преломления света, может быть определён из соотношения sin*β* = sin*α* / *n*. Из написанных уравнений получаем, что  , и число отражённых лучей будет максимально, если плоскость падения исходного луча совпадает с диагональной плоскостью пластины, имеющей ширину  а первый луч отражается вблизи угла пластины. Таким образом, на диагонали квадрата может уложиться целое число отрезков длиной *b*, равное ![ дробь, числитель — L, знаменатель — b \approx [10,4] = 10.]() Число отражённых лучей при этом будет на один больше: *N* = 10 + 1 = 11.

Ответ: *N* = 11.

**16. Задание 29 №**[**9168**](https://phys-ege.sdamgia.ru/problem?id=9168)

На оптической оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием *F* = 10 см слева от неё на расстоянии *a* = 3*F*/2 = 15 см находится точечный источник света *S*. За линзой справа от неё на расстоянии *F* = 10 см расположено плоское зеркало, перпендикулярное оси линзы. На каком расстоянии от источника находится его изображение *S*' в данной оптической системе?

К решению приложите рисунок с изображением хода лучей от *S* до *S*'.