ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ.

1. Эталон единицы силы света кандела представляет из себя полный (излучаю- щий волны всех длин) излучатель, поверхность которого площадью *S* = 0,5305 мм2 имеет температуру *t*затвердевания платины, равную 1063 ○С. Определить мощность *Р* излучателя.
2. Определить температуру*Т* абсолютно чёрного тела, если оно излучает с *S* = 1 см2 в минуту *W* = 2226 Дж.
3. Во сколько *k* раз возрастёт энергетическая светимость поверхности абсолютно чёр- ного тела, если повысить температуру тела от*Т* = 2100 К (температура нити уголь- ной лампы накаливания) до 1) *Т*1 = 2400 К (температура вольфрамовой нити вакуум- ной лампы) и до 2) *Т*2 = 2735 К (температура нити в газонаполненной лампе)?
4. На сколько надо повысить температуру абсолютно чёрного тела (полного излучате- ля) для того, чтобы интегральная энергетическая светимость его поверхности увели- чилась в *k* = 200 раз? Температура полного излучателя *t* = 527 ○C.
5. Определить мощность *Р*, необходимую для поддержания температуры расплавлен- ной платины*Т* = 2050 К неизменной, если площадь поверхности платины *S*= 1 см2. Расплавленную платину можно считать абсолютно чёрным телом и поглощением лучистой энергии от окружающих тел можно пренебречь.

Ответ: *Р* = 100 Вт.

1. До какой температуры*Т* необходимо было бы нагреть абсолютно чёрное тело для того, чтобы плотность потока энергии вблизи его поверхности совпадала бы с плот- ностью энергии в лазерном луче диаметром *d* = 1 мм? Мощность излучения лазера *Р*= 10 мВт.
2. Внутри полости, ограниченной зеркальной оболочкой, находится нагретое до тем- пературы*Т* небольшое абсолютно чёрное тело. Определить объёмную плотность *u*энергии равновесного теплового излучения, существующего в полости.
3. Полость, ограниченная зеркальной оболочкой, заполнена равновесным тепловым излучением, созданным абсолютно чёрным телом объёма, небольшого по сравнению с объёмом полости. Тело нагрето до*Т* = 500 К. Определить удельную теплоёмкость *сV*пространства полости, заполненного излучением.
4. В закрытом сосуде находится идеальный одноатомный газ с концентрацией молекул *n*= 1,9·1025м–3. При какой температуре*Т* объёмная плотность кинетической энергии молекул будет равна объёмной плотности энергии *u*равновесного теплового излуче- ния при этой же температуре?
5. Внутри полости, ограниченной зеркальной оболочкой, находится небольшое абсо- лютно чёрное тело. Полагая, что теплоёмкость тела не зависит от температуры, оце- нить, какую часть от внутренней энергии *U*тела составляет энергия *W*теплового из- лучения в полости. Для оценок принять температуру тела*Т* = 300 К, теплоёмкость тела *С* = 3000 Дж/К, объём полости *V* = 2 м3.
6. Определить поглощательную способность серого тела, если оно при температуре *t* = 727○Cс поверхности *S* = 10 см2испускает лучистый поток= 25 Вт. Лучистым потоком, падающим на тело от окружающих предметов, можно пренебречь. *Указание*: Серым телом называется такое тело, поглощательная способность которого не за- висит от длины волны.
7. Найти площадь*S*излучающей поверхности нити 25-ваттной лампы, если температура нити *Т* = 2450 К. Излучение нити составляет *р* = 30% излучения абсолютно чёрного тела при данной температуре. Потерямитепла, связанными с теплопроводностью, пренебречь.
8. При какой температуре *t*1интегральная энергетическая светимость поверхности се- рого тела с коэффициентом излучения = 0,656 равна энергетической светимости абсолютно чёрного тела, имеющего температуру *t* = 2127○C?

*Указание*: коэффициент излучения определяется отношением лучистого потока, испускае- мого данным телом, к лучистому потоку, испускаемому абсолютно чёрным телом при той же температуре и размерах поверхности, причём при измерении лучистого потока данного тела учитывается не только собственное тепловое излучение тела, но и отражение данным телом излучения окружающих тел.

1. Мощность *Р* излучения шара радиусом *R* = 10 см при некоторой постоянной темпе- ратуре*Т* равна 1 кВт. Найти эту температуру, считая шар серым телом с коэффици- ентом теплового излучения = 0,25.
2. Можно условно считать, что Земля излучает как серое тело, находящееся при тем- пературе*Т* = 280 К. Определить коэффициент теплового излучения Земли, если энергетическая светимость *Re*её поверхности равна 325 кДж/(м2ч).
3. Принимая коэффициент теплового излучения угля при температуре*Т* = 600 К рав- ным 0,8, определить 1) энергетическую светимость *Re*угля; 2) энергию *W*, излучае- мую с поверхности угля с площадью *S*= 5 см2 за время *t* =10 мин.
4. Вычислить лучистый поток , испускаемый кратером дуги с простыми углями, имеющим температуру*Т* = 4200 К. Диаметр кратера *d* = 7 мм. Излучение угольной дуги составляет приблизительно *р* = 80% излучения абсолютно чёрного тела при данной температуре.
5. Температура поверхности Солнца *Т*С= 6000 К. Полагая, что поглощательная способ- ность Солнца и Земли равна единице и что Земля находится в состоянии теплового равновесия, оценить её температуру *Т*З. Расстояние от Земли до Солнца*r* = 1,5108 км, радиус Солнца *R*C = 6,5105 км.
6. Вычислить температуру*Т* поверхности Солнца, принимая что Солнце излучает как абсолютно чёрное тело. На *S* = 1 см2 земной поверхностипадает лучистый поток = 8,1 Дж/мин (с учётом энергии, поглощаемой земной атмосферой). Расстояние от Земли до Солнца*r* = 1,5108км, радиус Солнца *R*C = 6,5105км.
7. Медный шарик диаметра *d* = 1,2 см поместили в откачанный сосуд, температура ко- торого поддерживается близкой к абсолютному нулю. Начальная температура ша- рика *Т*0 = 300 К. Считая поверхность шарика абсолютно чёрной, найти, через сколь- ко времени его температура уменьшится в = 2 раза. Удельная теплоёмкость меди *с* = 390 Дж/(кгК), плотность меди = 8,93 кг/м3.
8. Теплопроводящий шар по размеру равен Земле (*R* = 6400 км). Удельная теплоём- кость *с* = 200 Дж/кг·К, плотность= 5500 кг/м3. Начальная температура *Т*0 = 300 К.

Определить времяr, за которое шар остынет на ∆*Т* = 0,001 К. Шар считать абсолют-

но чёрным.

1. Тело с массой *m* = 10 г и поверхностью *S*= 200 см2, имеющее температуру

*Т*1 = 600 К, помещено в вакуум. Определить до какой температуры *Т*2 охладится тело за = 30 с, если поглощательная способность поверхности тела равна 0,4, а удель- ная теплоёмкость *с* составляет 330 Дж/(кгК). Лучистым потоком, падающим на тело вследствие излучения окружающих предметов, пренебречь.

1. Определить за какое время медный шар, помещённый в вакуум, охладится с *Т*1 = 500 К до *Т*2 = 300 К. Радиус шара *r* = 1 см, поглощательная способность поверх- ности шара = 0,8, удельная теплоёмкость меди *с* = 390 Дж/(кгК), плотность меди

= 8,93 кг/м3. Излучением, падающим на поверхность шара от окружающих предметов, пренебречь.

1. Считая, что тепловые потери обусловлены только излучением, определить, какую мощность *Р* необходимо подводить к медному шарику диаметром *d* = 2 см, чтобы при температуре окружающей среды *t*0 = 13 ○Cподдерживать его температуру рав- ной *t* = 17 ○C. Принять поглощательную способность меди = 0,6.
2. Определить силу тока *I*, протекающего по вольфрамовой проволокедиаметром *d*

= 0,8 мм, температура которой в вакууме поддерживается постоянной и равной *t*

= 2800 ○C. Поверхность проволоки принять в качестве серой с поглощательной спо- собностью = 0,343. Удельное сопротивление проволоки при данной температуре

= 0,9210Омсм. Температура окружающей проволоку среды *t* = 17 ○C.

1. Отношение интегральной энергетической светимости некоторого тела к интеграль- ной энергетической светимости абсолютно чёрного тела при той же температуре равно 0,36. Определить, во сколько *k*раз отличается истинная температура от радиа- ционной.

*Указание*. Радиационной температурой тела называется температураабсолютно чёрного те- ла, при которой интегральная энергетическая светимость абсолютно чёрного тела совпадает с интегральной энергетической светимостью тела.

1. Определить истинную температуру*Т* вольфрама, если его радиационная температура *ТR* = 2030 К и отношение интегральной энергетической светимости вольфрама к ин- тегральной энергетической светимости абсолютно чёрного тела при указанной тем- пературе равно 0,318 (см. задачу 26).
2. На какую длину волны приходится максимум излучения абсолютно чёрного тела, если температура тела *t* = 0 ○C? В какой области спектра лежит максимум излуче- ния?
3. На какую длину волны приходится максимум энергии излучения абсолютно чёр- ного тела при температуре: 1) *t*1 = 100 ○C; 2)*t*2 = 5000 ○C; 3) *t*3 = 10000 ○C?
4. Максимум излучения полного излучателя (абсолютно чёрного тела) приходится на длину волны = 0,58 мкм. Определить лучистый поток , испускаемый излучате- лем, если площадь его поверхности *S*= 4 см2.
5. Максимум излучения абсолютно чёрного тела приходится на длину волны

= 250 нм. На какую длину волны 1 придётся максимум излучения, если темпера- туру тела повысить на *t* = 50 ○C?

1. Вследствие изменения температуры абсолютно чёрного тела максимум спектраль- ной плотности (*r**T*)maxсместился с 1 = 2,4 мкм на 2 = 0,8 мкм. Как и во сколько раз изменилась энергетическая светимость *Re*тела и максимальная спектральная плот- ность энергетической светимости?
2. Чёрное тело находится при температуре *Т*1 = 3 кК. При остывании тела длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости, изменилась на = 8 мкм. Определить температуру *Т*2, до которой тело охладилось.
3. При увеличении термодинамической температуры чёрного тела в два раза длина волны m, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетиче- ской светимости (*r**T*)max, уменьшилась на = 400 нм. Определить начальную *Т*1 и конечную *Т*2 температуры.
4. Энергетическая светимость чёрного тела *Re* = 3,0 Вт/см2. Определить длину волны

m, отвечающую максимуму спектральной испускательной способности этого тела.

1. Принимая Солнце за чёрное тело и учитывая, что его максимальной спектральной плотности энергетической светимости соответствует длина волны m = 0,5 мкм, оп- ределить: 1) температуру*Т* поверхности Солнца; 2) энергию *W*, излучаемую Солн- цем за *t* = 10 мин; 3) массу *m*, теряемую Солнцем за это время за счёт излучения.
2. Температура чёрного тела*Т* = 2 кК. Определить: 1) спектральную плотность энерге- тической светимости (*r**T*) для длины волны = 600 нм; 2) энергетическую свети- мость *Re*в интервале длин волн от 1 = 590 нм до 2 = 610 нм. Принять, что средняя спектральная плотность энергетической светимости тела в этом интервале равна значению, найденному для длины волны = 600 нм.
3. Вычислить, во сколько раз увеличится энергетическая светимость абсолютно чёрно- го тела в небольшом интервале длин волн возле длины волны = 5 мкм при повы- шении температуры от *Т*1= 1000 К до *Т*2= 2000 К.
4. Температура абсолютно чёрного тела*Т* = 500 К. Вычислить энергетическую свети- мость *Re*, приходящуюся на спектральный интервал длин волн = 0,1 мкм, возле длины волны = 0,58 мкм. Найти энергетическую светимость *Re*, в таком же интер- вале длин волн возле длины волны, соответствующей максимуму спектральной плотности энергетической светимости тела.
5. Вычислить спектральную плотность *r**T* энергетической светимости абсолютно чёр- ного тела при температуре*Т* = 2400 К для длины волны 1 = 0,5 мкм и длины волны

2 = 5 мкм. Которое из этих двух вычислений можно сделать по формуле Вина, а ко- торое только по формуле Планка?

1. Излучение абсолютно чёрного тела, имеющего температуру*Т* = 2400 К, падает на светофильтр, который пропускает 90% излучения в области длин волн от 1 = 0,5 мкм до 2 = 0,4 мкм и совершенно не пропускает излучения с длинами волн вне ука- занной области. Вычислить, какую долю полного падающего потока пропускает светофильтр.
2. Вычислить спектральную энергетическую светимость тела *r**T* для длины волны

= 0,5 мкм при температуре*Т* = 2100 К, если спектральная поглощательная способ- ность *Т* при тех же температуре и длине волны равна 0,8.

1. Температура чёрного тела*Т* = 3000 К. Определить максимальную спектральную энергетическую светимость (*r**T*)max.
2. Для длины волны = 0,6 мкм спектральная энергетическая светимость равна спек- тральной энергетической светимости абсолютно чёрного тела, имеющего темпера- туру *Т*0= 3000 К. Вычислить температуру *Т* тела, если его спектральная поглоща- тельная способность *Т*для данной длины волны равна 0,5.
3. Оптическим пирометром, снабжённым фильтром, пропускающим излучение с дли- ной волны = 0,665 мкм, измерена яркостная температура тела. Определить истин- ную температуру *Т*1тела, если яркостная температура *Т*2 = 2600 К. Коэффициент из- лучения поверхности тела = 0,8.

*Указание.* Яркостной температурой тела называется такая температура, при которой абсо- лютно чёрное тело имеет при определённой длине волны ту же монохроматическую яр- кость излучения, что и данное тело. Связь между истинной температурой *Т*1 и яркостной температурой *Т*2 для серого тела с коэффициентом излучения выражается формулой *Т*1 = *С*2/(ln+ *C*2/*T*2), где *С*2постоянная в формуле распределения Планка, равная 1,4410мК.

1. Температура вольфрамовой пластинки *Т*1 = 2500 К. Вычислить яркостную темпера- туру *Т*2, которая будет определена для такой пластинки с помощью оптического пи- рометра с применением фильтра, пропускающим излучение с длиной волны = 0,467 мкм. Коэффициентизлучениявольфрама= 0,462.
2. Истинная температура вольфрамовой пластинки *Т*1 = 2400 К. Яркостная температура той же пластинки, измеренная оптическим пирометром с применением фильтра, пропускающего излучение с длиной волны = 0,665 мкм, *Т*2 = 2190 К. Вычислить

коэффициент излучения поверхности пластинки для данной длины волны и темпе- ратуры.

1. Найти число фотонов *n*, испускаемых с 1 см2 в 1 с с поверхности абсолютно чёрного тела, имеющего температуру*Т*= 6000 К, в интервале длин волн от 1 = 0,5 мкм до2 = 0,55 мкм.
2. Температура абсолютно чёрного тела*Т* = 4000 К. Определить число фотонов *n*, ис- пускаемых с 1 см2 в 1 с с поверхности тела в области длин волн, соответствующих максимальной спектральной энергетической светимости, в спектральном интервале

= 0,1 мкм.

1. Нить лампы накаливания излучает как абсолютно чёрное тело, имеющее температу- ру*Т* = 2400 К. Вычислить, сколько фотонов *n*испускается с 1 см2 поверхности нити в 1 с, если среднюю энергию кванта излучения можно считать равной 2,75 *kT*.
2. Точечный изотропный источник испускает свет с = 589 нм. Световая мощность источника *Р* = 10 Вт. Найти: 1) среднюю плотность потока *j*фотонов на расстоянии *r* = 2 м от источника; 2) расстояние *r*1 от источника до точки, где средняя концен- трация фотонов *n* = 100 см.
3. Определить эффективную температуру *Т*э лазерного луча, если лазер, работая в им- пульсном режиме, излучает*Е* = 1 МВт/см2 в интервале частот = 109 Гц. Длина волны лазера = 1 мкм. Эффективной температурой лазерного луча называется температура, до которой надо было бы нагреть абсолютно чёрное тело, чтобы оно излучало в той же спектральной области, что и лазер, одинаковую с ним энергию.
4. Мощность рубинового лазера, работающего в импульсном режиме, *Р* = 10 кВт в им- пульсе с площади *S* = 1 см2. Определить эффективную температуру *Т*э лазерного лу- ча, если длина волны излучения рубинового лазера = 694,3 нм, ширина полосы 

= 0,002 нм.

1. Найти температуру*Т* полностью ионизованной водородной плазмы плотностью ρ = 0,10 г/см3, при которой давление теплового излучения равно газокинетическому давлению частиц плазмы. Иметь в виду, что давление теплового излучения *р* = *u*/3, где *u*―объёмная плотность энергии излучения, и что при высоких температурах ве- щества подчиняются уравнению состояния идеальных газов. Молярная масса водо- рода µ = 2 г/моль.
2. На *S* = 1 см2 поверхности падает лучистый поток мощностью *Р* = 1 мкВт. Опреде- лить давление *р* света, если коэффициент отражения ρ = 0,8. Поверхность перпенди- кулярна лучам.
3. Вычислить световое давление на идеальную зеркальную поверхность, площадь ко- торой составляет *S* = 10 см2, если на неё падает лучистый поток *Р* = 0,9 Вт. Поверх- ность перпендикулярна лучам.
4. Энергетическая освещённость*Е*поверхности с коэффициентом отражения ρ = 0,62 равна 0,8 Вт/см2. Определить: 1) величину светового давления *р* на поверхность; 2) сколько процентов *x*1от полного давления составляет давление, связанное с отра- жёнными фотонами; 3) сколько процентов *x*2 полного давления составляет давление, связанное с поглощёнными фотонами.
5. Определить силу *F*светового давления солнечного излучения на поверхность земно- го шара, считая её абсолютно чёрной и не учитывая поглощения излучения в атмо- сфере Земли. Если бы атмосфера не поглощала, то *S* = 1 см2 земной поверхности, расположенный перпендикулярно лучам, получал бы около *Р* = 0,15 Дж/c. Радиус Земли *R* = 6400 км.
6. Колба электрической лампы представляет собой сферу радиусом *R* = 3.3 см. Часть стенки колбы изнутри посеребрена. Лампа потребляет мощность *Р* = 40 Вт, из кото- рых *x* = 85% затрачивается на излучение. Определить, во сколько раз давление газа в колбе *р* = 1,310−5 Па меньше светового давления на посеребрённую часть колбы.
7. В опытах П.Н.Лебедева, доказавшего существование светового давления, энергети- ческая освещённость соответствовала примерно *Е* = 1045 Вт/м2. Вычислить давле- ние *р*, которое должны были испытывать а) зачернённые и б) зеркальные лепестки измерительной установки.
8. Лазер излучил в импульсе длительностью τ = 0,13 мс пучок света с энергией *W* = 10 Дж. Найти среднее давление *р* такого светового импульса, если его сфокусировать в пятнышко диаметром *d* = 10 мкм на поверхность, перпендикулярную к пучку, с ко- эффициентом отражения ρ = 0,5.
9. Определить энергию *W* твёрдотельного лазера в импульсе длительностью τ = 100 нс, если лазерный луч площадью поперечного сечения *S* = 1 см2, падающий на распо- ложенную нормально к нему зеркальную пластинку, оказывает давление *р* = 6,6107 Па.
10. Длина волну излучения рубинного лазера λ = 694,3 нм. Лазер излучает в импульсе длительностью τ = 1 мс энергию *W* = 10 Дж. 1) Вычислить давление *р* лазерного лу-

ча, сфокусированного линзой на экран, расположенный перпендикулярно лазерному лучу в пятно, площадь которого *S*1 = λ2. Коэффициент отражения экрана ρ = 0,5. 2) Сравнить результат с давлением несфокусированного лазерного луча, площадь по- перечного сечения которого *S*1 =1 см2.

1. Вычислить давление *р* лазерного луча на зеркальную поверхность пластинки, рас- положенной перпендикулярно лазерному лучу. Мощность *Р* лазера в импульсе со- ставляет 1 МВт, площадь поперечного сечения лазерного луча *S* = 1 см2. Считать, что мощность лазера в импульсе постоянна.
2. На зеркальную поверхность площадью *S* = 10см2 падает под углом α = 450 пучок фо- тонов интенсивностью *N*= 1,0·1018фотон/c. Длина волны падающего света λ = 400 нм. Определить величину светового давления *р* на поверхность.
3. Давление *р* монохроматического света с длиной волны λ = 500 нм на зачернённую поверхность, расположенную перпендикулярно падающему излучению, равно 0,15 мкПа. Определить число *N* фотонов, падающих на поверхность площадью *S* = 40см2 за одну секунду.
4. Давление *р* монохроматического света с длиной волны λ = 600 нм на зачернённую поверхность, расположенную перпендикулярно падающему излучению, равно 0,1 мкПа. Определить: 1) концентрацию*n*фотонов в световом пучке; 2) число *N* фото- нов, падающих ежесекундно на *S* = 1м2 поверхности.
5. На идеально отражающую плоскую поверхность нормально падает монохроматиче- ский свет с длиной волны λ = 550 нм. Поток излучения Ф составляет 0,45 Вт. Опре- делить: 1) число *N* фотонов, падающих на поверхность за время *t* = 3 c; 2) силу дав- ления *F*, испытываемую этой поверхностью.
6. Плоская световая волна интенсивностью *I* = 0,1 Вт/см2падает под углом α = 300 на плоскую отражающую поверхность с с коэффициентом отражения ρ = 0,7. Исполь- зуя квантовые представления, определить нормальное давление *р*, оказываемое све- том на эту поверхность.
7. Оценить порядок величины диаметра *d* сферической космической частицы, для ко- торой сила притяжения к Солнцу уравновешивается силой светового давления сол- нечного излучения. Поверхность частицы можно считать абсолютно чёрной, а плот- ность частицы равной ρ = 7,8 г/см3. Принять, что Солнце излучает как абсолютно чёрное тело с температурой *Т*С = 6000 К. Масса Солнца *М*С = 1,97·1030 кг, радиус Солнца *R*C = 6,96·105км.

Индивидуальный график выполнения домашнего задания по теме “ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ”

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | Задачи | | | | |
|  | 70 | 68 | 20 | 67 | 69 |
|  | 18 | 40 | 25 | 63 | 61 |
|  | 36 | 2 | 39 | 7 | 58 |
|  | 11 | 3 | 61 | 30 | 67 |
|  | 42 | 26 | 20 | 11 | 38 |
|  | 37 | 14 | 47 | 64 | 60 |
|  | 57 | 56 | 68 | 35 | 26 |
|  | 13 | 22 | 34 | 50 | 37 |
|  | 49 | 53 | 42 | 45 | 54 |
|  | 68 | 46 | 14 | 8 | 12 |
|  | 12 | 41 | 36 | 23 | 2 |
|  | 14 | 63 | 42 | 31 | 10 |
|  | 67 | 3 | 64 | 51 | 13 |
|  | 25 | 38 | 16 | 22 | 55 |
|  | 46 | 35 | 33 | 25 | 51 |
|  | 16 | 17 | 69 | 24 | 43 |
|  | 55 | 12 | 64 | 26 | 41 |
|  | 45 | 14 | 23 | 19 | 7 |
|  | 61 | 37 | 12 | 33 | 15 |
|  | 36 | 20 | 2 | 30 | 38 |
|  | 69 | 36 | 59 | 67 | 1 |
|  | 68 | 69 | 20 | 65 | 60 |
|  | 52 | 20 | 62 | 31 | 50 |
|  | 23 | 1 | 68 | 13 | 5 |
|  | 65 | 42 | 33 | 67 | 57 |
|  | 47 | 41 | 64 | 5 | 69 |
|  | 65 | 68 | 52 | 50 | 12 |
|  | 11 | 21 | 44 | 20 | 28 |
|  | 34 | 1 | 5 | 61 | 26 |
|  | 27 | 57 | 53 | 60 | 44 |