***§ 18. Тепловое излучение***

В задачах данного раздела используются данные таблиц 5 п  
11 приложения.

1. Найти температуру **Т** печи, если известно, что излуче-  
   ние из отверстия в ней плошадью .$ = 6,1 см2 имеет мощность  
   **N** = 34,6 Вт. Излучение считать близким к излучению абсолютно  
   черного тела.

Решение:

Мощность излучения из отверстия печи определяется  
соотношением **N = R3S** — (1). Поскольку по условию  
излучение близко к излучению абсолютно черного тела, то  
по закону Стефана — Больцмана ft, = оТ4 — (2), где

<т = 5,67-10 8 Вт/(м2 К4) — постоянная Стефана — Больц-  
мана. Подставляя (2) в (1), получаем **N = oT4S**, откуда

**температура печи Т -**

***N\_***

***aS***

**= 1000 К.**

1. Какую мощность **N** излучения имеет Солнце? Излуче-  
   ние Солнца считать близким к излучению абсолютно черного  
   тела. Температура поверхности Солнца **Т** = 5800 К.

Решение:

Поскольку по условию излучение близко к излучению  
абсолютно черного тела, то мощность излучения Солнца

(см. задачу 18.1) выражается соотношением **N-aT4S** —  
(1), где **S = 4яК^** — (2) — площадь поверхности Солнца,  
**Rq** =6,96-108 м — радиус Солнца. Подставляя (2) в (1),  
получаем **N = 4лаТ4^** =3,9-1026 Вт.

1. Какую энергетическую светимость /?' имеет зат ви -  
   девший свинец? Отношение энергетических светимостей свш::;  
   и абсолютно черного тела для данной температуры **к -** 0.6.

Решение:

Затвердевающий свинец ведет себя как серое тело. I;закону Стефана — Больцмана для серого тела /?'- до/  
где **к** — отношение энергетических светимостей аб- -  
„потно черного и серого тел при данной температуре.  
коэффициент черноты, 7’= 600 К — температура плах. -  
ния свинца. Подставляя числовые данные, полу ;  
= 4.4 кВт/м\

1. Мощность излучения абсолютно черного т.

**N** = 34 кВт. Найти температуру **Т** этого тела, если известно, ч. о  
его поверхность **S** =0,6м2.

Решение:

Мощность излучения абсолютно черного тела (см. задачу  
18.1) выражается соотношением **N = оТiS -** 1000 К.

1. Мощность излучения раскаленной металлической по-  
   верхности Л" = 0,67 кВт. Температура поверхности Г = 250'"'К,  
   ее площадь 5 = 10 см2. Какую мощность излучения **N** имела 'л  
   эта поверхность, если бы она была абсолютно черной? На;': а  
   отношение **к** энергетических светимостей этой поверхности и  
   абсолютно черного тела при данной температуре.

Решение:

Если бы поверхность была абсолютно черной, то ее  
мощность излучения (см. задачу 18.1) была равна  
**N - oT lS =** 2,22 кВт. Отношение энергетических све; п-  
мостей поверхности и абсолютно черного тела при данной  
, **N'**

температуре равно **к -** — = 0,3.

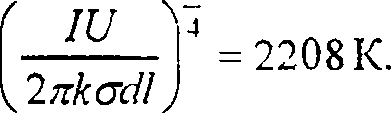
1. Диаметр вольфрамовой спирали в электрической лам-  
   почке **d =** 0,3мм, длина спирали / = 5см. При включении лам-  
   почки в сеть напряжением **U** 127 В через лампочку течет ток  
   / = 0,31 А. Найти температуру **Т** спирали. Считать, что по уста-  
   новлении равновесия все выделяющееся в нити тепло теряется в  
   результате излучения. Отношение энергетических светимостей  
   вольфрама и абсолютно черного тела для данной температуры  
   **к** = 0,31.

Решение:

Поскольку вольфрамовая спираль излучает как серое тело,  
то ее мощность излучения N' **= R[S** — (1), где по закону

Стефана — Больцмана **К'3=каТл** —(2) — энергетическая  
светимость серого тела, **S =** 2**mil** — (3) — площадь  
поверхности вольфрамовой спирали. Подставляя (2) и (3) в  
(1), получаем **N' = 2/ткаТАсН** — (4). С другой стороны,  
мощность тока N' **= IU** — **(5),** получаем **IU - 2nkaTAdl**,

откуда температура спирали **Т =**



1. Температура вольфрамовой спирали в 25-ваттной  
   электрической лампочке Г = 2450 К. Отношение ее энергети-  
   ческой светимости к энергетической светимости абсолютно  
   черного тела при данной температуре **к =** 0,3 . Найти площадь **S**излучающей поверхности спирали.

Решение:

Мощность излучения вольфрамовой спирали (см. задачу  
18.6) **N' = kcTAS** . Отсюда площадь излучающей поверх-  
„л „

ности спирали **S** = г = 0,4 см'.

***коТ***

г 1—-и

1. Найти солнечную постоянную **К.** т. е. количество лу-  
   чистой энергии, посылаемой Солнцем в единицу времени через  
   единичную площадку, перпендикулярную к солнечным лучам н

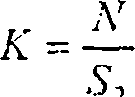
находящуюся на таком же расстоянии от пего, как и Зем  
Температура поверхности Солнца **Т** = 5800 К, Излучение Со.цщл  
считать близким к излучению абсолютно черного тела.

Решение:

Поскольку по условию излучение Солнца близко к in. -.-  
чению абсолютно черного тела, то по закону Стефан:.) —  
Больцмана его энергетическая светимость **R}** = **аТ'** — (■, i.  
Мощность излучения Солнца **N** = **RJSl — (2), i,jo  
5, =4/ТR[.** — (3) — площадь поверхности Солнца. Под-

ставляя (1) и (3) в (2), получаем **N = 4~aT4R^** — (4у  
Мощность, излучаемая Солнцем, падает на внутреннюю  
поверхность сферы, радиус которой равен среднею  
расстоянию от Солнца до Земли = 1.496- 10й м. Пло-  
щадь поверхности такой сферы равна 5, — (5). Но

**определению солнечной постоянной**



(б).

Подставляя (4) и (5) в (6). окончательно получаем

***crTRl***

с \_

**= 1,3 8 кВт/м'.**

1. Считая, что атмосфера поглотает 10% лучистой ч  
   тип. посылаемой Солнцем, найти мощность излучения \ , -

чаемую от Солнца горизонтальным участком Зсмти плот ! .ыо  
**S** = 0.5 га. Высота Солнца над горизонтом **<р -** 30° . Из.л -и?-дне  
Солнца считать близким к излучению абсолютно чертоге ю. .•

Решение:

Мощность излучения ,Y„ = **KS cos а**, где **а =-- <р** — л; ‘л

падения солнечных лучей, **К** —- солнечная постоя;!..^  
(см. задачу 18:8). По условию мощность излучения  
получаемая горизонтальным участком Земли, равна **0R** ' •

т. e. N = 0,9/С? cos^—- J . Подставляя числовые данные,  
получим **N** = 3.1-10й Вт.

1. Зная значение солнечной постоянной для Земли (см.  
   задачу 18.8), найти значение солнечной постоянной для Марса.

Решение:

Значение солнечной постоянной для Земли (см. задачу

18.8) определяется соотношением **К}**  — (1).

(гз)

Аналогично можно определить солнечную постоянную  
для Марса **Км =--■■** — (2), где (гм) = 2.279-1011 м —

Ы"

среднее расстояние от Солнца до Марса. Разделив (2) на

*к 0\** )"

(1), получим = —(-у, откуда солнечная постоянная

*к,*

ы

***\(ГМ) J***

для Марса **Км = Кг**

**- 0,59 кВт/.м'.**

1. Какую энергетическую светимость Л, имеет абсолют-  
   но черное тело, если максимум спектральной плотности его  
   энергетической светимости приходится на длину волны  
   Я = 484 нм?

Решение:

Согласно первому закон) Вина **лтТ = С1** — (1), где

С, =2,9-10“' м-К. По закону Стефана — Больцмана для  
абсолютно черною тела энергетическая светимость  
15- 526» 449

**R} -aTi** — (2). Из формулы (1) абсолютная температура  
**Т = ~** (3). Подставляя (3) в (2), окончательно получим

73,08 МВт/м2.

*1*

*\ Л1Ч* У

1. Мощность излучения абсолютно черного тема  
   Л'= 10 кВт. Найти площадь 5 излучающей поверхности тела,  
   если максимум спектральной плотности его энергетической све-  
   тимости приходится на длину волны **Л** = 700 нм.

Решение:

Мощность излучения абсолютно черного тела (см. задачу  
18.1) равна **N -aT4S** — (1). Из первого закона Вина (см.

задачу 18.11) абсолютная температура равна **Т = ^р-** —

**(2). Подставляя (2) в (1), получаем N = oS**

*'с'А*

**к Л» j**

**. отсюда**

площадь излучающей поверхности тела **S -** — х

*К*

*а*

= 6 см2.

1. В каких областях спектра лежат длины волн, соответ-  
   ствующие максимуму спектральной плотности энергетической  
   светимости, если источником света служит: а) спираль электри-  
   ческой лампочки (Г = 3000 К); б) поверхность Солнца  
   **(Т** = 6000 К); в) атомная бомба, в которой в момент взрыва раз-  
   вивается температура **Т** -10' К? Излучение считать близки'- к  
   излучению абсолютно черного тела.

*Q*

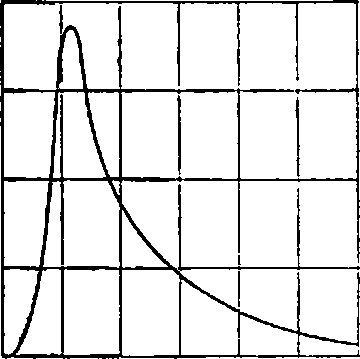
По первому закону Вина **ЛтТ** = С,, откуда **Лш -** , где

С, = 2,9-10'3м-К. а) Для спирали электрической лампочки,  
при 7j = 3000 К, Я, **-** 1,03 мкм — инфракрасная область, б) Для  
поверхности Солнца, при Т2 =6000К, Я, =483 нм —  
область видимого света, в) Для атомной бомбы в момент  
взрыва, при **Тъ -**101 К, Л, = 290 пм — область рентге-  
новских лучей.

- 18.14. На рисунке дана кривая зависимости спектральной  
плотности энергетической светимости абсолютно черного тела  
**гА** от длины волны Я при некоторой температуре. К какой  
температуре **Т** относится эта кривая? Какой процент  
излучаемой энергии приходится на долю видимого спектра при  
этой температуре?

Решение:

По графику найдем длину вол-  
ны, на которую приходится  
максимальная спектральная  
плотность энергетической све-  
тимости тела: Ят.„ \* 1,2 • 10'6 м.  
Согласно закону Вина  
Я„,лГ = 2,9'10^М’К, отсюда  
2 9-10'3



0 1 2 3 4 5

у = .**Г**.**’**.**.**... .. = 2400 К. Про-

1,2-10

цент излучаемой энергии, приходящейся на долю види-  
мого спектра, определяется тон долей площади, ограни-  
ченной кривой г, = /(л), которая отсекается ординатами,  
восстановленными по краям интересующего нас интер-  
вала. Пределы видимого спектра приблизительно от 400 до  
750 нм. При данной температуре па долю видимого  
излучения приходится около 3—5% всего излучения.

1. При нагревании абсолютно черного тела длина волн;.,;  
   . па которою приходится максимум спектральной плотнеем,  
   энергетической светимости, изменилась от 690 до 500 нм. Во  
   сколько раз увеличилась при этом энергетическая свегимосд.

Решение:

Из первого закона Вина **л.„Т** = С, имеем: **?ЛТХ -** С, — (It и  
**/.{Гу** = С, — (2). Приравнивая левые части уравнений (lj и  
(2), получаем /..7J =/.,72 или — = — — (3). По заксв

**Ту** л,

Стефана — Больцмана для абсолютно черного чела  
энергетическая светимость **R\_=aT4** — (4). Из форму-..:

lAy Я.,

**(4) имеем: ——**

**К: V**

***Т2)***

**— (5). Подставляя (3) в (5>.**

**окончательно получаем**

|  |  |
| --- | --- |
| Ли | О 1 |
|  | **)** |

= 3,63.

1. На какую длину волны Я приходится максимум  
   спектральной плотности энергетической светимости абсолюшо  
   черного тела, имеющего температуру, равную температуре  
   **t = 31°** человеческого тела, т. е. **Т** =310 К?

Решение:

Из первого закона Вина = С, имеем: **А„,**

*Т*

= 9.35 мкм.

1. Температура **Т** абсолютно черного тела изменидщь  
   при нагревании от 1000 до 3000 К. Во сколько раз увеличилась  
   при этом его энергетическая светимость **R31** На сколько изме-  
   нилась длина волны **Л,** на которую приходится максимум  
   спектральной плотности энергетической светимости? Во сколько  
   раз увеличилась его максимальная спектральная плотность энер-  
   гетической светимости **г.** ?

первого закона Вина (см. задачу 18.16) Я, =— = 2.9мкм и

*Q*

*С,*

**По закону Стефана — Больцмана для абсолютно черной**

**тела (см. задачу 18.15) =**

***R-.1***

***(гг* \**

**1 R**

**— или = S1. Ит  
81 R**

*л*

Я2 **~~~ -** 0.97 мк.м. Согласно второму закону Вина макси-

/■>

мальная спектральная плотность энергетической свети-  
мости возрастает пропорционально пятой степени  
абсолютной температурь: **=С2ТЬ** — (1), где

С, = 1,29-10-5 Вт/м3К5. Из формулы (1) имеем **гх** =С2Г|:' —  
(2) и ;s=C:7V — (3). Разделив (3) на (2), получаем

*И*

fziY

UJ

**= 243.**

1. Абсолютно черное тело имеет температуру  
   **Ту** =2900 К. В результате остывания тела длина волны, на кото-  
   рую приходится максимум спектральной плотности энергети-  
   ческой светимости, изменилась на ДЯ=9мкм. До какой темпе-  
   ратуры Г, охладилось тело?

**Решение:**

**Из первого закона Вина (см. задачу 18.16) Я**

*£,*

**(1)И**

С,

Я, = -2- — (2). Изменение длины волны, на которую прн-  
Я2

ходится максимум спектральной плотности энергети-  
ческой светимости, АЯ = Я, -Я, — (3). Подставляя (1) и

(2) в (3), получаем **А/.-~** - — . откуда **1\** =——

Г, ' Г, Л Л ■;('

= 290 К.

1. Поверхность тела нагрета до температуры **Т** = 100'  
   Затем одна половина этой поверхности нагревается  
   **АТ** = 100 К, другая охлаждается на Д7' = 100К. Во сколько

изменится энергетическая светимость **Rt**тела?

**поверхности**

Решение:

По закону Стефана — Больцмана для серого i  
**R\ = koT'** — (1). После нагревания и охлаждения эм  
готическая светимость нервом и второй пологи  
будет соответственно равна **= ксг{Т + АТ)\*** — (2)  
**R')2 = ko{f - АТ)1** — (3). При этом средняя энерк

ческая светимость станет равной (7?')



**Подставляя (2) и (3)**

***ко***

***(Т + АТ)4 +(Т- АТ'У***

В **(4). получ:  
— (5). Разделив (5)**

0)

*(К*

**находим -—**

*К*

***(Т + АТУ + (Т-АТУ* \_1062 *Т***

1. Какую мощность ,V надо подводит» к зачернена,  
   металлическому шарику радиусом **г = 2** см, чтобы поддержат  
   его температуру на Д7' = 27К выше температуры окружат а  
   среды? Температура окружающей среды **Т** = 293 К. Считан,. ■  
   тепло теряется только вследствие излучения.

Решение:

Мощность, необходимая для поддержания темпер.;:. ;  
равна **А = RtS** —(1). где **Rt** —энергетическая светим. •  
454**шарика,** S = 4лг2 **— (2) — площадь его поверхности. По-  
скольку по условию шарик зачерненный, то по закону  
Стефана — Больцмана Я,** - а(т **+** АТ)' **— (3). Подставляя  
(2) и (3) в (1), получаем /V =** 4гэ,2а[Г **+ A**T'f - **3 Вт.**

1. Зачерненный шарик остывает от температуры  
   Tj = 300 К до 73 = 293 К. Па сколько изменилась длина волны **Л ,**соответствующая максимуму спектральной плотности его  
   энергетической светимости?

Решение:

Изменение длины волны, соответствующей максимуму  
спектральной плотности энергетической светимости (см.

задачу 18.18), равно Ал = — = 0.24 мкм.

73 /,

1. На сколько уменьшится масса Солнца за **год  
   вследствие** излучения? За какое время г масса Солнца  
   **уменьшится** вдвое? Температура поверхности Солнца  
   **Т** = 5800 К. Излу чение Солнца считать постоянным.

Решение:

Мощность, излучаемая Солнцем, равна .V --- **RyS** — (1), где  
Яэ — энергетическая светимость Солнца, **S =** 4,тЯр — **(2)** —  
площадь его поверхности, Яс = 6,96 ■ 10Ч м — радиу с Солн-  
ца. По закону Стефана — Больцмана Я, = **аТА** — (3). Под-  
ставляя (2) и (3) в (1), получаем **N =** 4,тЯ(2сг7’4 — (4).  
Изменение энергии Солнца за счет излучения А)Г = А'г —  
(5). С друтой стороны, **AJV = с2Аш** — (6). где **с** = 3 • 10s м/с —  
скорость света, **Аш** — изменение массы Солнца. При-  
равнивая правые часш уравнений (5) и (6), получаем

455

(7). Подставляя (4) в (7), получаем Ат =

= 1,37-1017 кг. Если Дш= — Мс, где Мс = 1,989-1030 кг

*с*

**2 ~.4**

**масса Солнца, то г =**

*МГС2*

8 rtRloT\*

**= 7,06-1012 лет.**