**20. Закон Кирхгофа: взаимосвязь энергетической светимости и испускательной способности тел.**

     Тепловое излучение. В нагретых телах часть внутренней энергии вещества может превращаться в энергию излучения. Поэтому нагретые тела являются источниками электромагнитного излучения в широком диапазоне частот. Это излучение называют тепловым излучением.

      Эксперименты показывают, что тепловое излучение имеет непрерывный спектр. Это означает, что нагретое тело испускает некоторое количество энергии излучения в любом диапазоне частот или длин волн. Распределение энергии излучения тела по спектру зависит от температуры тела. При этом для всех тел с увеличением температуры максимум энергии излучения смещается в коротковолновый участок спектра, а общая энергия излучения возрастает. Так, если излучение батареи центрального отопления (http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml1.gifК) имеет пик энергии в диапазоне невидимого инфракрасного излучения, то раскаленная поверхность Солнца (http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml2.gifК) излучает значительную часть энергии в диапазоне видимого света, а при ядерном взрыве (http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml3.gifК) большая доля энергии взрыва уносится коротковолновыми рентгеновским и гамма- излучением.

      Если несколько нагретых излучающих тел окружить идеально отражающей, непроницаемой для излучения оболочкой (рис. 1.1), то по истечении некоторого промежутка времени в системе "излучающие тела + излучение в полости" установится термодинамическое равновесие. Это означает, что температуры всех тел выровняются, а распределение энергии между телами и излучением не будет изменяться со временем. Такое равновесное состояние системы устойчиво, то есть после всякого нарушения его, состояние равновесия вновь восстанавливается. Термодинамическое равновесие установится и в полости, стенки которой выполнены из любого реального материала и поддерживаются при некоторой неизменной температуре.

|  |
| --- |
| Рис.1.1 |
| Рис. 1.1. |

      Способность теплового излучения находиться в равновесии с излучающим телом отличает тепловое излучение от других видов излучения тел. Поэтому, такое излучение, находящееся в равновесии с излучающим телом, будем называть равновесным.

      Равновесному излучению можно приписать температуру тела, с которым оно находится в равновесии, распространив при этом законы равновесной термодинамики на тепловое излучение. Это означает, что для равновесного теплового излучения можно определить и рассчитать внутреннюю энергию, давление, энтропию и другие термодинамические характеристики, которые не будут изменяться со временем.

      Равновесное тепловое излучение однородно, то есть его плотность энергии одинакова во всех точках внутри полости, где оно заключено. Такое излучение изотропно и неполяризованно - оно содержит все возможные направления распространения и направления колебаний векторов http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml4.gifи http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml5.gif.

     Характеристики теплового излучения. Для описания спектрального состава теплового излучения рассмотрим энергию, излучаемую единицей поверхности нагретого тела в единицу времени в узком диапазоне частот от http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml6.gifдо http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml7.gif. Этот поток лучистой энергии http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml8.gif, испускаемый с единицы поверхности тела по всем направлениям, пропорционален ширине спектрального диапазона, то есть http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml9.gif. Энергию http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml10.gif, приходящуюся на единичный диапазон частот, называют спектральной испускательной способностью тела или спектральной плотностью энергетической светимости. Опыт показывает, что для каждого тела испускательная способность является определенной функцией частоты, вид которой изменяется при изменении температуры тела http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml11.gif. В дальнейшем для такой функциональной зависимости http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml12.gif, рассматриваемой при заданном значении температуры тела как некоторая функция частоты, будем использовать принятое в теории теплового излучения обозначение: http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml13.gif.

      Суммарный поток энергии излучения с единицы поверхности тела по всему диапазону частот

|  |  |
| --- | --- |
| Формула 1.1 | (1.1) |

     называется интегральной испускательной способностью тела или его энергетической светимостью. В системе СИ энергетическая светимость измеряется в Вт/м2, а спектральная испускательная способность имеет размерность Дж/м2.

      Испускательную способность тела можно представить и как функцию длины волны излучения http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml15.gif, которая связана с частотой http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml16.gifчерез скорость света в вакууме http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml17.gifпо формуле http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml18.gif. Действительно, выделяя потоки излучения, приходящиеся на интервал частот http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml19.gifи на соответствующий ему интервал длин волн http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml20.gif, и приравнивая их друг другу, находим, что

|  |  |
| --- | --- |
| Формула 1.2. | (1.2) |

     Отсюда получаем формулу связи между испускательными способностями по шкале частот и шкале длин волн

|  |  |
| --- | --- |
| Формула 1.3. | (1.3) |

     Знак "минус" у производной http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml23.gifв [(1.3)](http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/formulas/fml1.3.htm) формально опущен, так как он лишь показывает, что с возрастанием длины волны http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml24.gifчастота http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml25.gifубывает.

      Для описания процесса поглощения телами излучения введем спектральную поглощательную способность тела http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml26.gif. Для этого, выделив узкий интервал частот от http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml27.gifдо http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml28.gif, рассмотрим поток излучения http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml29.gif, который падает на поверхность тела. Если при этом часть этого потока http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml30.gifпоглощается телом, то поглощательную способность тела на частоте http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml31.gifопределим как безразмерную величину

|  |  |
| --- | --- |
| Формула 1.4 | (1.4) |

     характеризующую долю падающего на тело излучения частоты http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml33.gif, поглощенную телом.

      Опыт показывает, что любое реальное тело поглощает излучение различных частот по разному в зависимости от его температуры. Поэтому спектральная поглощательная способность тела http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml34.gifявляется функцией частоты http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml35.gif, вид которой изменяется при изменении температуры тела http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml36.gif.

      По своему определению поглощательная способность тела не может быть больше единицы. При этом тело, у которого поглощательная способность меньше единицы и одинакова по всему диапазону частот, называют серым телом.

      Особое место в теории теплового излучения занимает абсолютно черное тело. Так Г.Кирхгоф назвал тело, у которого на всех частотах и при любых температурах поглощательная способность равна единице. Реальное тело всегда отражает часть энергии падающего на него излучения (рис. 1.2). Даже сажа приближается по свойствам к абсолютно черному телу лишь в оптическом диапазоне.

|  |
| --- |
| Рис.1.2 |
| Рис. 1.2. 1 - абсолютно черное тело; 2 - серое тело; 3 - реальное тело |

      Абсолютно черное тело является эталонным телом в теории теплового излучения. И, хотя в природе нет абсолютно черного тела, достаточно просто реализовать модель, для которой поглощательная способность на всех частотах будет пренебрежимо мало отличаться от единицы. Такую модель абсолютно черного тела можно изготовить в виде замкнутой полости (рис. 1.3), снабженной малым отверстием, диаметр которого значительно меньше поперечных размеров полости. При этом полость может иметь практически любую форму и быть изготовленной из любого материала.

      Малое отверстие обладает свойством почти полностью поглощать падающее на него излучение, причем с уменьшением размера отверстия его поглощательная способность стремится к единице. Действительно, излучение через отверстие попадает на стенки полости, частично поглощаясь ими. При малых размерах отверстия луч должен претерпеть множество отражений, прежде чем он сможет выйти из отверстия, то есть, формально, отразиться от него. При многократных повторных переотражениях на стенках полости излучение, попавшее в полость, практически полностью поглотится.

|  |
| --- |
| Рис.1.3 |
| Рис. 1.3. |

      В рассмотренной модели можно считать, что излучение, падающее на отверстие, не отражается, а полностью поглощается. Поэтому именно малому отверстию и приписывается свойство абсолютно черного тела.

      Отметим, что если стенки полости поддерживать при некоторой температуре http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml37.gif, то отверстие будет излучать, и это излучение с большой степенью точности можно считать излучением абсолютно черного тела, имеющего температуру http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml38.gif. Исследуя распределение энергии этого излучения по спектру oC.Ленгли, Э.Прингсгейм, О.Люммер, Ф.Курлбаум и др.), можно экспериментально определить испускательные способности абсолютно черного тела http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml39.gifи http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml40.gif1) . Результаты таких экспериментов при различных значениях температуры приведены на рис. 1.4.

|  |
| --- |
| Рис.1.4 |
| Рис. 1.4. |

     Закон Кирхгофа. Между испускательными и поглощательными свойствами любого тела должна существовать связь. Ведь в опыте с равновесным тепловым излучением (рис. 1.1) равновесие в системе может установиться только в том случае, если каждое тело будет излучать в единицу времени столько же энергии, сколько оно поглощает. Это означает, что тела, интенсивнее поглощающие излучение какой-либо частоты, будут это излучение интенсивнее и испускать.

      Поэтому, в соответствии с таким принципом детального равновесия, отношение испускательной и поглощательной способностей одинаково для всех тел в природе, включая абсолютно черное тело, и при данной температуре является одной и той же универсальной функцией частоты (длины волны).

      Этот закон теплового излучения, установленный в 1859 г. Г.Кирхгофом при рассмотрении термодинамических закономерностей равновесных систем с излучением, можно записать в виде соотношения

|  |  |
| --- | --- |
| Формула 1.5 | (1.5) |

     или

|  |  |
| --- | --- |
| Формула 1.6 | (1.6) |

     где индексы 1, 2, 3... соответствуют различным реальным телам.

      Из закона Кирхгофа следует, что универсальные функции http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml43.gifи http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml44.gifесть спектральные испускательные способности http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml45.gifи http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml46.gifабсолютно черного тела по шкале частот или длин волн, соответственно. Поэтому связь между ними определяется формулой [(1.3)](http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/formulas/fml1.3.htm).

      Излучение абсолютно черного тела имеет универсальный характер в теории теплового излучения. Реальное тело излучает при любой температуре всегда меньше энергии, чем абсолютно черное тело. Зная испускательную способность абсолютно черного тела (универсальную функцию Кирхгофа) и поглощательную способность реального тела, из закона Кирхгофа можно определить энергию, излучаемую этим телом в любом диапазоне частот или длин волн.

     Закон Стефана-Больцмана. Экспериментальные (1879 г. Й.Стефан) и теоретические (1884 г. Л.Больцман) исследования позволили доказать важный закон теплового излучения абсолютно черного тела. Этот закон утверждает, что энергетическая светимость абсолютно черного тела пропорциональна четвертой степени его абсолютной температуры, то есть

|  |  |
| --- | --- |
| Формула 1.7. | (1.7) |

     По современным измерениям постоянная Стефана-Больцмана http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml48.gifВт/(м2(К4).

      Для реальных тел закон Стефана-Больцмана выполняется лишь качественно, то есть с ростом температуры энергетические светимости всех тел увеличиваются. Однако, для реальных тел зависимость энергетической светимости от температуры уже не описывается простым соотношением [(1.7)](http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/formulas/fml1.7.htm), а имеет вид

|  |  |
| --- | --- |
| Формула 1.8. | (1.8) |

     Коэффициент http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml50.gifв [(1.8)](http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/formulas/fml1.8.htm), всегда меньший единицы, можно назвать интегральной поглощательной способностью тела. Значения http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml51.gif, в общем случае зависящие от температуры, известны для многих технически важных материалов. Так, в достаточно широком диапазоне температур для металлов http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml52.gif, а для угля и окислов металлов http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml53.gif.

      Для реальных нечерных тел можно ввести понятие эффективной радиационной температуры http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml54.gif, которая определяется как температура абсолютно черного тела, имеющего такую же энергетическую светимость, что и реальное тело. Радиационная температура тела http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml55.gifвсегда меньше истинной температуры тела http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml56.gif. Действительно, для реального тела http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml57.gif. Отсюда находим, что http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml58.gif, то есть http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml59.gif, так как у реальных тел http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml60.gif.

      Радиационную температуру сильно нагретых раскаленных тел можно определить с помощью радиационного пирометра (рис. 1.5), в котором изображение достаточно удаленного нагретого источника И проецируется с помощью объектива http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml61.gifна приемник П так, чтобы изображение излучателя полностью перекрывало приемник. Для оценки энергии излучения, попавшего на приемник, обычно используются металлические или полупроводниковые болометры или термоэлементы. Действие болометров основано на изменении электрического сопротивления металла или полупроводника при изменении температуры, вызванном поглощением падающего потока излучения. Изменение температуры поглощающей поверхности термоэлементов приводит к появлению в них термо-ЭДС.

      Показание прибора, подсоединенного к болометру или термоэлементу, оказывается пропорциональным энергии излучения, попавшей на приемник пирометра. Проградуировав предварительно пирометр по излучению эталона абсолютно черного тела при различных температурах, можно по шкале прибора измерять радиационные температуры различных нагретых тел.

|  |
| --- |
| Рис.1.5 |
| Рис. 1.5. |

      Зная интегральную поглощательную способность материала излучателя, можно перевести измеренную радиационную температуру излучателя http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml62.gifв его истинную температуру http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml63.gifпо формуле

http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml64.gif.

     В частности, если радиационный пирометр покажет температуру http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml65.gifК при наблюдении раскаленной поверхности вольфрамового излучателя (http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml66.gif), то ее истинная температура http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml67.gifК.

     Закон смещения Вина. В 1893 г. немецкий физик В.Вин теоретически рассмотрел термодинамический процесс сжатия излучения, заключенного в полости с идеально зеркальными стенками. С учетом изменения частоты излучения за счет эффекта Допплера при отражении от движущегося зеркала Вин пришел к выводу, что испускательная способность абсолютно черного тела должна иметь вид

|  |  |
| --- | --- |
| Формула 1.9. | (1.9) |

     Здесь http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml69.gif- некоторая функция, конкретный вид которой термодинамическими методами установить нельзя.

      Переходя в этой формуле Вина от частоты к длине волны, в соответствии с правилом перехода [(1.3)](http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/formulas/fml1.3.htm), получим

|  |  |
| --- | --- |
| Формула 1.10. | (1.10) |

      Как видно, в выражение для испускательной способности http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml71.gifтемпература входит лишь в виде произведения http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml72.gif. Уже это обстоятельство позволяет предсказать некоторые особенности функции http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml73.gif. В частности, эта функция достигает максимума на определенной длине волны http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml74.gif, которая при изменении температуры тела изменяется так, чтобы выполнялось условие: http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml75.gif.

      Таким образом, В.Вин сформулировал закон теплового излучения, согласно которому длина волны http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml76.gif, на которую приходится максимум испускательной способности абсолютно черного тела, обратно пропорциональна его абсолютной температуре. Этот закон можно записать в виде

|  |  |
| --- | --- |
| Формула 1.11. | (1.11) |

     Значение константы в этом законе, полученное из экспериментов, оказалось равным http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml78.gifм(К.

      Закон Вина называют законом смещения, подчеркивая тем самым, что при повышении температуры абсолютно черного тела положение максимума его испускательной способности смещается в область коротких длин волн. Результаты экспериментов, приведенные на рис. 1.4, подтверждают этот вывод не только качественно, но и количественно, строго в соответствии с формулой [(1.11)](http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/formulas/fml1.11.htm).

      Для реальных тел закон Вина выполняется лишь качественно. С ростом температуры любого тела длина волны, вблизи которой тело излучает больше всего энергии, также смещается в сторону коротких длин волн. Это смещение, однако, уже не описывается простой формулой [(1.11)](http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/formulas/fml1.11.htm), которую для излучения реальных тел можно использовать только в качестве оценочной.

     Ночное видение. Ночью при отсутствии солнечного света человек в темноте перестает видеть окружающие его предметы. Однако, все они, имея ненулевую температуру, испускают электромагнитное тепловое излучение и ночью. С помощью закона Вина [(1.11)](http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/formulas/fml1.11.htm) можно оценить длину волны, на которую приходится максимум испускательной способности тела, если известна его температура. Из этой оценки следует, что при средней температуре тел порядка 300 К основная энергия их теплового излучения приходится на инфракрасное излучение с длиной волны порядка 10 мкм. Излучение в видимой области спектра (0,4 мкм

http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml79.gif0,7 мкм) при таких температурах имеет слишком малую энергию и не может быть обнаружено невооруженным глазом.

      Так как в сторону неба система наземных тел не является замкнутой, то равновесия между телами у поверхности Земли и их излучением не устанавливается. Поэтому все тела, температура которых несколько больше, чем температура земной поверхности, могут быть зафиксированы в микроволновом диапазоне как излучающие объекты. Увидеть такие источники инфракрасного излучения можно только с помощью специальных приборов, в которых микроволновое невидимое глазом излучение регистрируется специальными датчиками инфракрасного излучения и преобразуется в модулированные электрические сигналы, которые управляют электронным пучком, дающим на экране кинескопа видимое изображение предметов.

      В конце XX в. произошло качественное изменение техники ночного видения, связанное с созданием электронно-оптических преобразователей нового типа. С помощью современных биноклей и прицелов ночного видения наблюдатель может получить в темноте видимое изображение достаточно высокого качества человека на расстоянии нескольких сот метров или движущегося танка на расстоянии нескольких километров. А пилотажные очки ночного видения позволяют эксплуатировать вертолеты в условиях ограниченной видимости практически круглые сутки.

     Задача 1.1. Покажите, что если излучение происходит в объеме достаточно толстого слоя из любого вещества, имеющего на единицу толщины испускательную способность http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml80.gifи поглощательную способность http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml81.gif, то поверхность этого слоя излучает как абсолютно черное тело. При расчетах ограничиться рассмотрением излучения, распространяющегося в направлении, перпендикулярном поверхности слоя.

      Решение: Пусть слой вещества, занимающего полупространство http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml82.gif, имеет температуру http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml83.gif(рис. 1.6). Выделим тонкий слой этого вещества с координатами от http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml84.gifдо http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml85.gif. На частоте http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml86.gifэтот тонкий слой излучает по направлению к поверхности поток энергии с единицы площади http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml87.gif.

|  |
| --- |
| Рис.1.6 |
| Рис. 1.6. |

      До выхода с поверхности слоя это излучение проходит слой поглощающего вещества толщиной http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml88.gif. При этом по закону Бугера поток энергии излучения уменьшается экспоненциально и при выходе на поверхность http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml89.gifстановится равным

http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml90.gif.

     Суммируя излучение от всех слоев, находим испускательную способность поверхности слоя

http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml91.gif.

      Но по закону Кирхгофа http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml92.gif, где http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml93.gif- испускательная способность абсолютно черного тела. Поэтому http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml94.gif, и мы тем самым доказали, что поверхность слоя излучает как абсолютно черное тело.

      Этот важный вывод поясняет, например, почему излучение с поверхности достаточно большого объема высокотемпературной плазмы и, в частности, с поверхности Солнца, близко по спектральному составу к излучению абсолютно черного тела.

      Задача 1.2. Максимум испускательной способности Солнца приходится на длину волны http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml95.gifмкм. Считая излучение Солнца близким к излучению абсолютно черного тела, оцените суммарную площадь панелей солнечной батареи мощностью http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml96.gifкВт на орбитальной околоземной космической станции. К.п.д. солнечной батареи принять равным http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml97.gif. Астрономические величины взять из таблиц.

      Решение: Из закона смещения Вина по формуле [(1.11)](http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/formulas/fml1.11.htm) определим температуру поверхности Солнца

http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml98.gif.

      Теперь по закону Стефана-Больцмана находим энергетическую светимость Солнца http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml99.gifи полную мощность излучения с его поверхности

http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml100.gif.

     Здесь http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml101.gifм - радиус Солнца.

      Считая, что Солнце излучает по всем направлениям изотропно, находим солнечную постоянную http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml102.gif, равную потоку энергии излучения через единицу поверхности сферы, радиус которой равен среднему расстоянию от Солнца до Земли http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml103.gifм. При этом

http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml104.gif.

      Итак, в космическом пространстве вблизи Земли на каждый квадратный метр поверхности, перпендикулярной солнечным лучам, за одну секунду падает 1,6 кДж энергии солнечного излучения. Часть этой энергии в солнечной батарее превращается в электрическую энергию. С учетом к.п.д. солнечной батареи, находим ее электрическую мощность

http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml105.gif.

     Отсюда определяем площадь панелей солнечной батареи

http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch1/images/ch1_1/fml106.gif.

     1) Звездочкой в дальнейшем мы будем отмечать характеристики теплового излучения абсолютно черного тела.