

## 14. Свет

### 14.1 Перенос энтропии через безвоздушное пространство

Горячий объект сам по себе обычно холодный, так как его энтропия стекает в окружающее пространство: в воздух, в подставку, на которой он находится, и так далее. Если мы хотим воспрепятствовать этому охлаждению, следует поступить очень просто: поместить рассматриваемый объект в вакуум, рис. 14.1. В этом случае через воздух энтропия не может покинуть испытываемый объект. Рассмотрим объект G, который подвешен на длинной, тонкой нити в вакууме и который испускает только очень незначительное количество тепла.

(Рис. 14.1 Объект G охлаждается несмотря на то, что он находится в безвоздушном пространстве. (безвоздушное пространство; к вакуумному насосу))

Теперь можно наблюдать нечто странное: во-первых, вакуумный колокол стал ощутимо теплым и во-вторых, объект G стал холоднее (мы можем это установить, если достанем рассматриваемый объект из вакуумного колокола). Другими словами: энтропия уходит от горячего объекта, несмотря на то, что наш объект ни с каким проводником тепла не соприкасается.

Можно было бы сделать также следующее: поместить наш горячий объект G в космическое пространство. Там он тоже бы охладился.

Следовательно, энтропия имеет возможность уходить через безвоздушное пространство посредством какой-то невидимой связи или невидимого носителя. Как эта невидимая связь осуществляется, что является таким переносчиком можно легко определить, если объект G еще

более сильно разогреть, а именно настолько сильно, чтобы мы поняли, что все это происходит благодаря свету, который очень хорошо проникает через безвоздушное пространство. Свет пересекает 150 миллионов километров между солнцем и землей почти без потерь. Свет, который выходит от излучающего свет объекта, является также и переносчиком энтропии. Предмет, излучающий свет, постоянно при излучении отдает свою энтропию.

Этим мы еще не до конца решили нашу проблему. Объект G, который мы вначале наблюдали, совершенно не светится. Он не излучает никакого света. Или излучает?

Сначала мы должны еще немного узнать о свете.

### 14.2 Виды цветов света

Направим тонкий луч солнечного света или света мощной лампы накаливания или дуговой лампы на стеклянную призму и поместим сзади призмы белый экран. То, что мы там увидим совсем не является просто белым пятном, как можно было бы ожидать, а является цветной полоской, то есть представляет собой *спектр* белого света, рис. 14.2.

(Рис. 14.2. Белый свет, проходя через призму, разлагается на свои составляющие. (инфракрасный; красный; зеленый; фиолетовый; ультрафиолетовый))

Солнечный свет и свет лампы состоят из большого количества различных видов света, которые имеют различные цвета, вызывающие в наших глазах различные цветовые ощущения. Если все виды света, смешанные друг с другом, попадают в наши глаза, то мы ощущаем «белый» свет.

Призма отклоняет различные виды света с различной силой, то есть призма разлагает белый свет на его составляющие. Красный свет отклоняется призмой очень слабо. Затем следуют оранжевый, желтый, зеленый и синий свет. Наконец, фиолетовый свет отклоняется наиболее сильно.

Свет, который мы можем воспринимать с помощью глаза, является лишь небольшой частью всех видов света, которые существуют в природе и которые могут быть воспроизведены с помощью различных технических средств. Помимо видимого света существует много других видов света, увидеть которые мы не можем, так как у нас нет необходимых для этого органов чувств. Все эти виды излучения, как видимые, так и невидимые, называются «электромагнитным излучением».

Солнечный свет и свет лампы также содержат невидимое излучение, которое также с помощью призмы может быть разложено на составляющие. Это можно доказать с помощью специальных измерительных приборов. Можно установить, что существует «свет», который отклоняется сильнее, чем фиолетовый свет. Это излучение называют *ультрафиолетовым излучением*. Существует также и «свет», который отклоняется слабее, чем красный свет. Такое излучение называют *инфракрасным излучением*.

Какой вид света излучает данное тело и его количество зависит от температуры этого тела.

Тело излучает в секунду тем больше света, чем оно горячее, то есть чем выше его температура. Лишь при температуре абсолютного нуля (0 К) прекращаются все излучения.

Кроме того, если меняется температура излучающего тела смещается структура

всего излучения. Солнце на своей поверхности имеет температуру около 5 800 К. Свет, который излучает солнце, состоит в преобладающей части из видимого света. Нить накаливания лампы накаливания имеет температуру около 3 000 К. В этом случае часть инфракрасного излучения по отношению к видимому свету значительно выше. Если температура излучающего объекта составляет около 1 100 К ( $\approx 800$  °С), он будет излучать кроваво-красный свет. В этом случае из видимого излучения остался только красный свет, большая часть этого света является инфракрасным излучением. Ниже 900 К (600 °С) объект излучает только инфракрасный свет.

**Объект испускает тем больше электромагнитного излучения, чем выше его температура.**

**При температуре поверхности солнца 5 800 К наибольшая часть излучения состоит из видимого света. Чем ниже температура излучающего объекта, тем меньше часть видимого и тем больше часть инфракрасного света. Если температура объекта ниже 900 К, то он излучает только инфракрасный свет.**

### **14.3 Перенос энтропии и энергии с помощью света**

Возвратимся к нашему объекту G, который охлаждается в вакууме. Мы установили, что этот объект отдает как видимый, так и невидимый свет, который может проходить через вакуум. Энтропия, которую этот объект, по-видимому, отдает - так как он охлаждается - должна также забираться светом.

Мы уже знаем, что энтропия является переносчиком энергии. Поток энтропии

всегда сопровождается потоком энергии. Следовательно, охлаждающийся объект вместе со светом отдает как энтропию, так и энергию.

**Свет (как видимый, так и невидимый) переносит энтропию и энергию.**

На основании предыдущих рассмотрений можно было бы теперь прийти к следующему выводу. Если объект излучает энтропию, поскольку его температура выше 0 К, то, если он находится в вакууме, объект будет продолжать охлаждаться, излучая энтропию, до тех пор, пока, наконец, его температура не станет равной 0 К. Однако, этого не произойдет. Наоборот: Если объект G имеет температуру, которая меньше температуры окружающей среды, и находится в вакууме, рис. 14.1, то он будет нагреваться, а не охлаждаться.

Объект разогревается несмотря на то, что он отдает энтропию. Как это объяснить? Мы забыли принять во внимание одну деталь: не только наш объект G излучает свет, а излучают свет также и другие объекты, находящиеся в окружающей среде. Объект G вместе со своим излучением отдает энтропию, но он также и получает энтропию от других объектов окружающей среды, которые отдают свою энтропию вместе со своим излучением. Если температура объекта G выше температуры объектов, находящихся в его окружении, то он отдает больше энтропии в окружающую среду, чем ее получает от окружающей среды, рис. 14.3a. Если же температура объекта G ниже температуры объектов, находящихся в его окружении, то он получает больше энтропии от окружающей среды, чем ее отдает в окружающую среду, рис. 14.3b. В обоих случаях существует «чистый (равновесный) поток энтропии» от более высокой температуры к более

низкой температуре. И в обоих случаях финальное состояние выравнивается, то есть устанавливается тепловое равновесие.

(Рис. 14.3. В безвоздушном пространстве также устанавливается тепловое равновесие между объектами. (безвоздушное пространство; высокая температура; низкая температура; низкая температура; высокая температура))

**Если производится перенос энтропии посредством электромагнитного излучения, то реализуется (чистый) поток энтропии от мест с высокой температурой к местам с низкой температурой.**

### *Задания*

Тело K внесено в пространство, заключенное между двумя параллельными стенками A и B, которые имеют различные температуры  $T_A$  и  $T_B$ , рис. 14.4, причем  $T_A$  больше чем  $T_B$ .

- Что можно сказать о температуре, которую примет тело K?
- Что можно сказать о потоке энергии между стенками, а также между стенками и телом K?

(Рис. 14.4. К заданию в конце раздела 14.3.)

### **14.4 Температура света**

Свет, испускаемый телом, имеет ту же температуру, что и само тело. Так свет, который идет от поверхности солнца, имеет температуру поверхности солнца, а именно около 6 000 К. Это высказывание звучит сначала не слишком убедительно: если солнечный свет имеет такую температуру, не

должно ли все, что попало под солнечные лучи мгновенно сгореть? И если солнечный свет имеет определенную температуру и возникает необходимость ее измерить, то возникает и необходимость «вставить» термометр в солнечный свет.

Для того чтобы решить эту проблему, мы должны точно знать, как обойтись с этим термометром. Для того чтобы измерить температуру предмета или вещества, необходимо осуществить непосредственный контакт между термометром и рассматриваемым предметом или веществом. Если теперь держать термометр в солнечном свете так, чтобы термометр был в контакте с солнечным светом, то есть так, чтобы термометр «соприкасался» с солнечным светом, то термометр будет соприкасаться и с другими предметами или веществами.

И прежде всего термометр соприкоснется с воздухом. Чью температуру в этом случае будет показывать термометр? Температуру воздуха или температуру солнечного излучения? Термометр, разумеется, «примет» компромиссное решение и покажет температуру, которая не является ни температурой воздуха, ни температурой солнечного света.

Теперь можно сделать попытку провести эксперимент так, чтобы устранить влияние окружающего воздуха, то есть поместить термометр в прозрачный сосуд с выкачанным оттуда воздухом. Температура, которую в этом варианте покажет термометр, будет все еще далека от ожидаемой температуры 6 000 К. Это нормально, так как мы кое-что еще упустили. Действительно, термометр «принимает» снова компромиссное решение: кроме контакта с солнечным светом, термометр контактирует еще и с инфракрасным излучением из окружающей среды. Это излучение

имеет температуру окружающей среды, то есть около 300 К. И в то время как солнечный свет только из одного маленького углового участка падает на термометр, на этот же термометр приходит излучение с температурой 300 К из значительно большего углового участка, рис. 14.5. Это совершенно нормально, что и в этом случае измерение идет в пользу температуры окружающей среды.

(Рис. 14.5. Солнечный свет приходит только из одного очень узкого направления (маленький угловой участок). Инфракрасный свет, имеющий температуру около 300 К, поступает со всех остальных направлений. (солнце; солнечный свет; термометр; инфракрасный свет))

Как же все-таки измерить температуру солнечного света? Для этого необходимо позаботиться о том, чтобы солнечный свет приходил на термометр не только из одной узкой области, а поступал бы со всех направлений, чего можно достичь с помощью линз или зеркал, рис. 14.6. Если термометр будет «видеть» солнце со всех сторон, то он покажет истинную температуру солнца (Наш обычный термометр для этих целей, естественно, не годится).

Мы знаем, что с помощью линзы или, как еще говорят, с помощью зажигательного стекла, можно создать очень высокую температуру, концентрируя солнечный свет в одном маленьком пятнышке или на куске дерева для его поджигания. Этот процесс можно описать так: необходимо попытаться со всех сторон подставить дерево солнцу так, чтобы дерево приняло температуру света. В действительности однако, при использовании обычного зажигательного стекла свет, конечно, не будет приходиться на кусок дерева со всех направлений, а только из одной всегда сильно ограниченной области. Дерево,

конечно, достигает при этом очень высокой температуры, однако далеко не такой высокой, какую имеет свет.

(Рис. 14.6. Параболическое зеркало обеспечивает то, что позволяет солнечному свету падать на термометр со всех сторон. (зеркало; термометр))

#### 14.5 Баланс энтропии и энергии земли

Земля постоянно получает от солнца вместе с его светом энтропию, а следовательно, с энтропией и энергию.

Свет, который от солнца падает на один квадратный метр земли, является важной величиной и этот поток легко ощущается: он составляет около 1 кВт. Говорят также, что *солнечная постоянная* составляет 1 кВт/м<sup>2</sup>. При этом необходимо следить за тем, чтобы 1 квадратный метр этой поверхности был расположен перпендикулярно направлению солнечного света, рис. 14.7. Если эта поверхность располагается косо, то на нее, естественно, приходится меньше потока энергии, чем 1 кВт. Кроме того, величина этой солнечной постоянной соответствует безоблачному небу.

#### Солнечная константа $\approx 1$ кВт/м<sup>2</sup>

(Рис. 14.7 . На 1 м<sup>2</sup> поверхности, которая расположена перпендикулярно направлению солнечного света, поступает поток энергии, равный 1 кВт. (солнечный свет; 1 м<sup>2</sup> перпендикулярно к лучам света, 1 кВт; 1 м<sup>2</sup> не перпендикулярно к лучам света, меньше 1 кВт))

Если бы земля не отдавала никакой энтропии и никакой энергии в окружающее пространство, то она разогревалась бы все больше и больше, однако этого не происходит. Температура земли остается

постоянной, так как она не равна 0 К и земля сама излучает инфракрасный свет, вместе с которым излучается и энтропия, и энергия.

В то время как солнечный свет приходит на землю только с одной единственной стороны, земля испускает в окружающее пространство инфракрасное излучение во всех направлениях, рис. 14.8.

(Рис. 14.8. Земля получает солнечный свет только от очень узкой области, а испускает в окружающее пространство инфракрасное излучение во всех направлениях. (солнечный свет; инфракрасное излучение))

Так как земля не разогревается и не охлаждается, мы делаем вывод, что потоки выходящей и входящей энергии равны:

$$P_{\text{вых}} = P_{\text{вх}}$$

С энтропией не так просто. На земле создается много энтропии. Поэтому излучаемый свет должен уносить больше энтропии, чем приходящий солнечный свет. Из этого следует, что излучаемый землей инфракрасный свет должен, наряду с приходящей от солнца энтропией, уносить в окружающее мировое пространство и всю создаваемую на земле энтропию для того, чтобы содержание энтропии на земле оставалось постоянным:

$$I_{S_{\text{вых}}} = I_{S_{\text{вх}}} + I_{S_{\text{созданный}}}$$

Балансы энтропии и энергии земли описываются теми же самыми уравнениями, что и соответствующие балансы стержня в разделе 11.3, рис. 11.7.

Землю можно сравнить с отапливаемым домом. Печь этого дома постоянно обеспечивает дом определенным потоком энергии и определенным

потоком энтропии. Из-за утечек тепла весь поток энергии вновь вытекает из дома в окружающее пространство. Однако, вместе с вытекающим потоком энергии в окружающее пространство вытекает не только энтропия, которую отдает отопление, но также и энтропия, созданная в доме и в его стенах.

То, что поток энтропии, который от земли или от дома вытекает в окружающее пространство, регулируется во времени и остается на постоянном по величине уровне, означает, что существует *равновесие потоков*.

#### 14.6 Парниковый эффект

Для видимого света атмосфера земли является прозрачной. (Если бы было по другому, то не только ночью, но и днем на земле было бы темно.) Инфракрасное излучение наоборот проходит через атмосферу с большим трудом. Виной тому в значительной степени является углекислый газ, который содержится в атмосфере земли в незначительных количествах. Углекислый газ (двуокись углерода с химической формулой  $\text{CO}_2$ ) является одним из видов изоляционного материала для инфракрасного излучения. Теперь исследуем, что произойдет, если содержание углекислого газа в атмосфере земли возрастет.

Падающий солнечный свет остается таким же. Земля также как и раньше разогревается солнцем. Потери тепла напротив сначала станут меньше, так как излучение больше не будет также хорошо испускаться как прежде. Вследствие этого возрастет температура. Более высокая температура означает более сильное излучение. Таким образом, излучение будет постепенно увеличиваться – а именно до тех пор, пока оно не достигнет прежнего значения, то есть до

тех пор, пока входящий и уходящий потоки энергии не станут одинаковыми. Новое состояние равновесия потоков будет отличаться от старого равновесного состояния (до того, как содержание углекислого газа в атмосфере возросло) по температуре: температура станет выше.

Таким образом, чем выше содержание углекислого газа в атмосфере, тем выше средняя температура, которая установится на земле.

Для лучшего понимания этого процесса сравним еще раз землю с отапливаемым домом. Усовершенствуем тепловую изоляцию нашего дома, однако, оставим подаваемое в дом тепло на прежнем уровне, что, естественно приведет к повышению температуры в доме. Однако, при этой более высокой температуре поток энергии, который вытекает в окружающую среду из-за утечки тепла, остается точно такой же силы, как и поток энергии, который отдается батареями центрального отопления.

Содержание углекислого газа в атмосфере составляет примерно 0,03% (0,03% молекул воздуха являются молекулами углекислого газа). В настоящее время состоящая из углекислого газа часть воздуха, сильно возрастает: при сгорании угля на тепловых электростанциях, при сгорании жидкого топлива для центрального отопления домов и при сгорании горючих материалов (бензин, дизельное топливо) в атмосфере земли появляется углекислый газ. Отметим, что углекислый газ поглощается растениями, которые при этом производят кислород. Однако, поглощение углекислого газа растениями в настоящее время сократилось, так как все новые и новые области влажных тропических лесов вырубаются. Поэтому можно предположить, что температура земли в

следующих десятилетиях возрастет. Даже если это возрастание произойдет только на несколько градусов Цельсия, то это может вызвать очень тяжелые последствия. Может произойти так, что часть полярного льда растает. Вследствие этого может возрасти уровень воды в мировом океане и море может залить большие области земли.

Явление, при котором атмосфера беспрепятственно пропускает солнечный свет на землю, но препятствует испусканию инфракрасного излучения носит название *парникового эффекта*. В парниках или теплицах именно такой процесс и реализуется. Только в этом случае роль атмосферы берет на себя стекло. При этом стекло является практически совершенно прозрачным для видимого света, а для инфракрасного излучения нет. Это задерживает возникающее внутри парников инфракрасное излучение, что приводит к повышению температуры, как будто стекло для инфракрасного света является прозрачным.

### ***Задание***

Если содержание углекислого газа на земле изменится, то на земле установится новая температура. Мы имели в главе 4 совершенно аналогичную ситуацию: изменяется воздушное трение для одного тела, вследствие этого скорость этого тела устанавливается на новом значении. О каком процессе идет речь? Сравните оба эти явления.