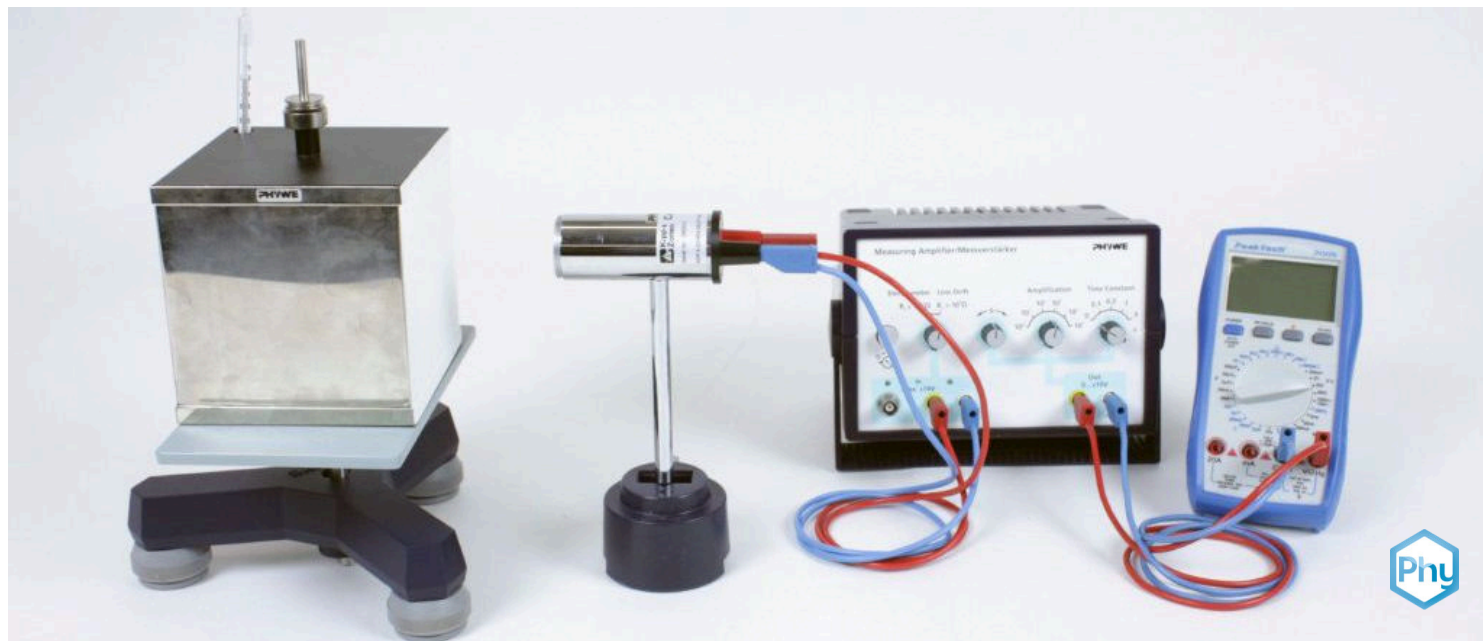


Лучеиспускаемость горячих тел (Куб Лесли)



Цель этого эксперимента - исследовать температурную зависимость радиационного излучения черного тела.

Физика

Термодинамика

Температура и теплопроводимость



Уровень сложности

средний



Кол-во учеников

2



Время подготовки

10 Минут



Время выполнения

10 Минут

This content can also be found online at:



<http://localhost:1337/c/6156b96dbcbca20003ba0d9e>

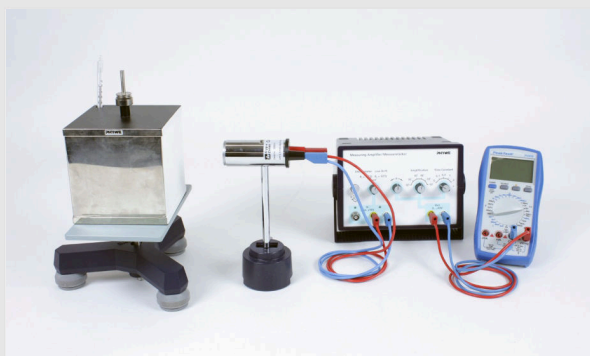
PHYWE

Общая информация



Описание

PHYWE



Экспериментальная установка

Куб Лесли - это прибор, используемый для измерения или демонстрации изменений теплового излучения, испускаемого различными поверхностями при одинаковой температуре.

Этот эксперимент исследует зависимость между температурой и испускаемым излучением.

Дополнительная информация (1/2)

PHYWE

Предварительные

знания



Научный принцип



Не требуется никаких предварительных знаний.

Тепловое излучение можно измерить на всех поверхностях, если их температура отличается от температуры окружающей среды. Следовательно, чем горячее объект, тем больше излучения он испускает. На поведение излучения тела влияет также цвет поверхности: темные поверхности излучают больше теплового излучения, чем светлые. Примером применения этого эффекта является радиатор, который часто покрывается черным слоем для излучения большего теплового излучения.

Дополнительная информация (2/2)

PHYWE

Цель обучения



Задачи



Цель этого эксперимента - исследовать температурную зависимость излучения черного тела.

1. Измерьте температуру в помещении T_0 (в Кельвинах) перед началом эксперимента.
2. Определите и сравните излучательную способность для всех четырех сторон куба Лесли при постоянной высокой температуре (тепловое излучение куба, заполненного кипящей водой, измеряется с помощью термобатареи Молля).
3. Определите и сравните излучательную способность для всех четырех сторон куба Лесли в зависимости от температуры.
4. Постройте график термоэлектрического напряжения V_{th} как функции абсолютной температуры T или скорее $T^4 - T_0^4$ для каждой стороны куба и с помощью собранных данных проверьте закон теплового излучения Кирхгофа для использованного куба Лесли.

Теория (1/2)

PHYWE

Каждое горячее тело испускает тепловое излучение. Излучение зависит не только от температуры, но и от структуры поверхности объекта. Закон теплового излучения Кирхгофа подразумевает, что чем больше излучения тело может поглотить, тем больше оно способно испустить.

В этом эксперименте используется куб Лесли с четырьмя различными по текстуре поверхностями. Таким образом, каждая поверхность A (с абсолютной температурой T) испускает излучение с мощностью

$$P_{\text{поверхность}} = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4,$$

где ϵ - относительная излучательная способность (степень черноты соответствующей поверхности тела) ($0 \leq \epsilon \leq 1$) и σ - постоянная Стефана-Больцмана.

Следует также учесть, что куб также поглощает излучение из окружающей среды (с температурой T_0) с мощностью

$$P_{\text{окруж.среда}} = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T_0^4.$$

Теория (2/2)

PHYWE

В связи с этим в данном эксперименте измеряется не полная излучательная способность тела, а разница между излучательной способностью $P_{\text{поверхн.}}$ и поглощательной способностью $P_{\text{окруж.среды}}$. Для разности ΔP получаем:

$$\Delta P = P_{\text{поверхн.}} - P_{\text{окр.среды}} = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T^4 - T_0^4)$$

Эта разность ΔP коррелирует с энергией, которую тело с температурой T излучает в окружающую среду с температурой T_0 посредством теплового излучения.

С помощью термобатареи Молля это тепловое излучение может быть обнаружено путем измерения термоэлектрического падения напряжения V_{th} термобатареи, которое пропорционально мощности излучения ΔP куба и поэтому пропорционально $T^4 - T_0^4$:

$$V_{th} \propto T^4 - T_0^4$$

Оборудование

Позиция	Материал	Пункт No.	Количество
1	Треножник	02002-55	1
2	Цилиндрическая опора expert	02004-00	1
3	Столик на ножке	08060-00	1
4	Термостолбик Молля	08480-00	1
5	Защитная трубка, для термостолбика Молля	08480-01	1
6	Погружаемый нагреватель, 1000 Вт, 220-250 В	04020-93	1
7	PHYWE Универсальный измерительный усилитель	13626-93	1
8	Соединительный проводник, 750 мм, красный	07362-01	2
9	Соединительный проводник, 750 мм, синий	07362-04	2
10	Куб Лесли	04556-00	1
11	Учебный термометр, -10...+110 °C	38005-02	1
12	Воронка, верхний d=50 мм, стекло	34457-00	1
13	Мензурка DURAN®, высокая, 2000 мл, стекло	36010-00	1
14	Цифровой мультиметр, 3 1/2 разрядный дисплей с NiCr-Ni термопарой	07122-00	1

PHYWE

Подготовка и выполнение работы



Подготовка (1/3)

PHYWE



Настройте экспериментальную установку, как показано на рис. 1:

- Подключите термобатарею Молля ко входу измерительного усилителя, а вольтметр - к выходу измерительного усилителя.
- Установите измерительный усилитель в режим "низкого дрейфа". Таким образом, используется низкий входной импеданс, чтобы дрейф усилителя в зависимости от температуры был достаточно низким для определения напряжений в микровольтовом диапазоне.



Рис. 1: Экспериментальная установка

Подготовка (2/3)

PHYWE

- Выберите усиление, подходящее для определения измеренного вольтметром напряжения (в качестве входного сигнала следует ожидать усиления 10-1000 мкВ, например, выходное напряжение 10^3 дает от 10 мВ до 1 В).
- Поместите куб Лесли на соответствующем расстоянии (3-10 см) от термобатареи. Куб устанавливается в центре на столешницу, установленную в штатив. После этого в соответствующие отверстия в крышке куба вставляются термометр и мешалка.

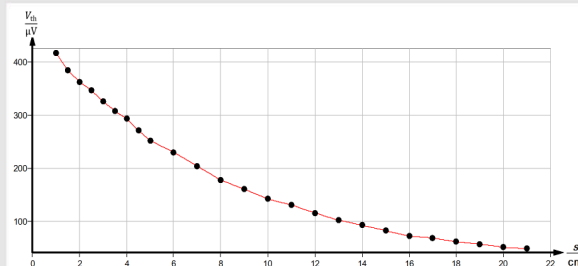


Рис. 2: Зависимость излучательной способности черной поверхности от расстояния при температуре $\vartheta = 93\text{ }^{\circ}\text{C}$

Подготовка (3/3)

PHYWE

Примечания по настройке установки:

Цель эксперимента - определить излучательную способность горячих тел. Поэтому исследуется интенсивность излучения четырех различных поверхностей куба в зависимости от температуры каждой поверхности. Поскольку ожидаемое термоэлектрическое напряжение относительно невелико, следует придерживаться следующих указаний:

- Следует избегать шумовых сигналов (например, исходящих от источников света). Помещение лаборатории рекомендуется затемнить. В качестве альтернативы для подавления шума к термобатарее можно прикрепить экранирующую трубку (№ заказа 08479-01).
- Расстояние между термобатареей и поверхностью куба должно оставаться постоянным для каждой серии измерений. На рис. 2 в качестве примера показано измеренное термоэлектрическое напряжение.

В этом эксперименте необходимо определить (зависящее от температуры) тепловое излучение для каждой из четырех поверхностей куба, которые отличаются по своей текстуре.

Выполнение работы (1/3)

PHYWE

Определение термоэлектрического напряжения при постоянной температуре:

- В начале эксперимента измерьте комнатную температуру T_0 , необходимую для оценки.
- После этого залейте кубик Лесли кипятком. Для этого используйте большую мензурку, в которой с помощью погружного нагревателя нагрейте воду. Перелейте кипяток в куб Лесли (объем около 1,4 л), используя воронку. Можно также налить воду непосредственно в куб, открыв его крышку.
- Теперь измерьте термоэлектрическое напряжение V_{th} на заданном расстоянии для всех четырех поверхностей при постоянной температуре. Для этого запишите (усиленное) напряжение вольтметра для первой поверхности. Затем осторожно поверните столешницу на 90° для измерения излучения второй поверхности и так далее. **ВНИМАНИЕ:** Не прикасайтесь к горячему кубу голыми руками! Убедитесь, что куб выровнен перпендикулярно термобатарее. Имейте в виду, что четыре измерения должны быть выполнены за короткое время, чтобы поддерживать почти постоянную температуру куба.

Выполнение работы (2/3)

PHYWE

Определение температурной зависимости термоэлектрического напряжения:

- Если вода перестала быть достаточно горячей (ниже 90°C), вылейте ее из куба и наполните куб кипятком. Выровняйте сторону куба, излучение которой необходимо определить в первую очередь, перпендикулярно термобатарее.
- Во время охлаждения воды записывайте напряжение вольтметра и соответствующую температуру воды для исследуемой поверхности через удобные промежутки времени (например, каждые 5°C или каждые 30 с). Для поддержания равновесной температуры воды регулярно используйте мешалку.
- После исследования излучения первой поверхности (например, черной) удалите охлажденную воду из куба. Переместите куб на столешницу так, чтобы можно было измерить излучение следующей поверхности (например, белой). Обратите внимание, чтобы поверхность была расположена по центру столешницы и перпендикулярно термобатарее.

Выполнение работы (3/3)

PHYWE

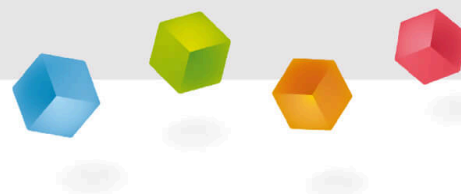
- Измерьте термоэлектрическое напряжение и температуру остальных трех поверхностей куба. Рекомендуется проводить каждую серию измерений в диапазоне температур воды от около 100 °C до 50 °C (теплоотдача полированной поверхности довольно низкая).
- Перед каждой серией измерений следует заново определить температуру в помещении T_0 .

Примечание:

Данные измерения температурной зависимости можно быстро собрать, одновременно записывая все четыре серии. Для этого после каждого измеренного значения поворачивайте столешницу на 90° к следующей поверхности, как это было сделано в первой части эксперимента. Таким образом, необходимо исследовать только один цикл охлаждения. Имейте в виду, что точность измерения может снизиться из-за частой перестановки соответствующей поверхности на термобатарее.

PHYWE

Оценка



Результаты (1/4)

PHYWE

Уже первая часть эксперимента показывает, что четыре различные поверхности куба обладают разным коэффициентом излучения, хотя они состоят из одного и того же материала (латунь). Поверхности с черным и белым покрытием вызывают одинаково высокое термоэлектрическое напряжение, в то время как стороны без покрытия (матовые и полированные) показывают значительно более низкие значения (см. табл. 1). Таким образом, текстура поверхности оказывает огромное влияние на испускаемое тепловое излучение, даже если пренебречь влиянием температуры, а излучательная способность ϵ тела является неотъемлемым свойством текстуры (структуры) тела.

Таблица 1: Сравнение измеренных данных на расстоянии 5 см при $T = 366 \text{ K}$ и $T_0 = 293 \text{ K}$.

поверхность	термоэлектрическое напряжение V_{th} [$\mu\text{В}$]
черная	254
белая	226
матовая	42
полированная	26

Результаты (2/4)

PHYWE

Для графической оценки измеренных данных необходимо построить график зависимости термоэлектрического напряжения относительно $T^4 - T_0^4$ для каждой поверхности куба, соответственно. После этого результаты можно сравнить между собой. Эта диаграмма показывает, что при постоянной температуре окружающей среды T_0 испускаемое излучение для каждой стороны куба линейно возрастает до четвертой степени абсолютной температуры поверхности T . Это означает, что чем выше температура поверхности, тем выше измеренное напряжение с помощью термобатареи. Рис. 3 иллюстрирует эту зависимость для всех четырех поверхностей. Таким образом, подтвердились выводы первой экспериментальной части.

Сравнивая измерения черной и белой поверхности (черная и зеленая линии на рис. 3), можно увидеть, что излучательная способность зависит не только от температуры, но и от текстуры поверхности. Полученные результаты показывают, что темная поверхность излучает с большей мощностью, чем светлая. Этот вывод подтверждает закон теплового излучения Кирхгофа, поскольку черная поверхность поглощает больше теплового излучения, чем белая.

Результаты (3/4)

PHYWE

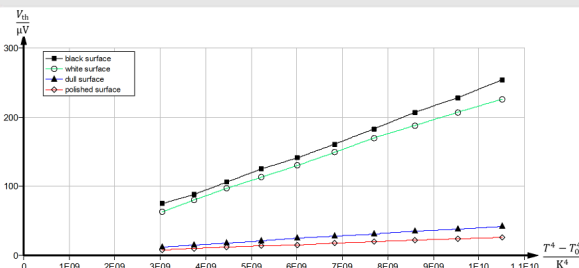


Рис. 3: Диаграмма измеренного термоэлектрического напряжения V_{th} в зависимости от $T^4 - T_0^4$ для всех четырех поверхностей на расстоянии 5 см.

В исследуемом диапазоне температур излучательная способность черной поверхности очень похожа на излучательную способность белой поверхности. Это можно объяснить тем, что для этих температур тела испускают тепловое излучение с длиной волны в инфракрасной области. Поэтому цвета поверхностей куба (которые находятся в видимом диапазоне длин волн) несущественны для теплового излучения в исследуемом диапазоне температур, и поэтому существенной разницы между черной и белой поверхностью не наблюдается. Тем не менее, поверхность с черным покрытием показывает немного увеличенный коэффициент излучения, поскольку она дополнительно поглощает больше видимого света, чем поверхность с белым покрытием, который она снова излучает в соответствии с законом теплового излучения Кирхгофа.

Результаты (4/4)

PHYWE

Изучая и сравнивая излучение матовой и полированной поверхностей (синие и красные линии на рис. 3), можно заключить, что тело с более блестящей поверхностью излучает меньше теплового излучения.

Эти результаты согласуются с законом теплового излучения Кирхгофа. Согласно ему, излучательная способность поверхности куба равна произведению удельной излучательной способности материала и спектральной излучательной способности черного тела. Следовательно, излучение и поглощение объекта идентичны. Поскольку матовая поверхность поглощает больше излучения, чем полированная, она также излучает больше излучения.

По результатам измерений можно сделать вывод, что все исследованные поверхности являются так называемыми серыми телами. Серое тело можно распознать по его излучательной способности, которая ниже на определенный коэффициент (излучательная способность ϵ) по сравнению с черным телом ($\epsilon = 1$). В соответствии с законом Стефана-Больцмана, излучаемая мощность черного тела пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры. Поскольку измеренные термоэлектрические напряжения V_{th} на рис. 3 также демонстрируют линейное поведение в зависимости от четвертой степени абсолютной температуры, поверхности куба Лесли должны быть серыми телами.