



Оптические измерения (10 баллов)

В данном эксперименте нужно определить оптические свойства образцов с максимально возможной точностью, которую можно получить на имеющемся оборудовании.

Примечание: под столом у вас 2 большие бутылки с водой. Она понадобится для второго эксперимента. **Не пейте ее!**

В части А нужно определить показатель преломления прозрачного диска двумя методами. Первый метод — традиционный, а второй — оригинальный, он позволяет получить более высокую точность.

В части В нужно определить отношение длины волны лазера λ к постоянной дифракционной решётки d с максимально возможной точностью.

В части С нужно определить показатель преломления треугольной призмы, опять-таки с максимально возможной точностью.

Для экспериментов, помещение будет затемнено в течение 100 минут через 20 минут после начала тура (если необходимо, пользуйтесь настольной лампой). Эксперименты части А удобнее проводить в темноте, но их можно провести и при свете.

Вы можете использовать стенки своего рабочего места как экран, а также клеить скотч на стенки.

В этой задаче в качестве источника света используется полупроводниковый лазер.

Инструкции по безопасности при работе с лазером:

- **НИКОГДА не направляйте луч лазера в глаза!**
- Во всех экспериментах луч лазера горизонтален. Когда вы измеряете положение лазерного луча **убедитесь, что ваша голова ВСЕГДА находится выше уровня луча.**
- Не направляйте луч лазера наружу из вашего рабочего места.
- Выключайте лазер, когда не проводите измерений.

Список оборудования

Части оборудования №№1-9 используются во всех частях задачи, а оборудование №№10-12 используется в различных частях задачи. Не касайтесь вертикальных оптических поверхностей исследуемых объектов, во избежание их загрязнения.

1. Линейка длиной 60 см.
2. Подвижный штатив, который может перемещаться по линейке.
3. Лазер, установленный на штативе. Лазер может быть установлен на двух высотах: нижний уровень - 3А для части А и верхний уровень - 3В для частей В и С. Выключатель лазера (3С) показан на рисунке.
4. Винты 4А и 4В используются для фиксации штатива и лазера, соответственно. С помощью ручки 4С можно изменять направления луча лазера. Чтобы изменить высоту установки лазера, поверните ручку 4С на 180 градусов. Не вращайте лазер вокруг оси луча, поляризация луча уже настроена.
5. Экран. Можно использовать стены рабочего места в качестве экрана. Считайте, что стены перпендикулярны друг другу.
6. Моток скотча для фиксации оборудования на столе.
7. Рулетка.

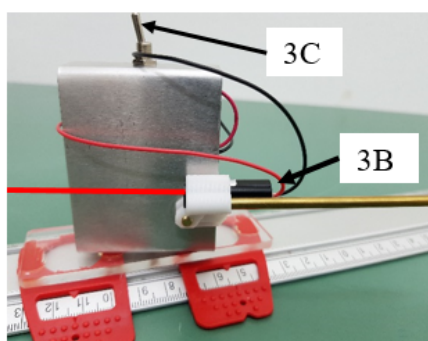
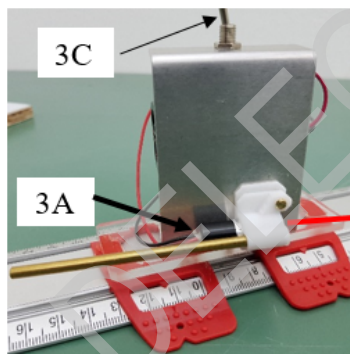
Experiment



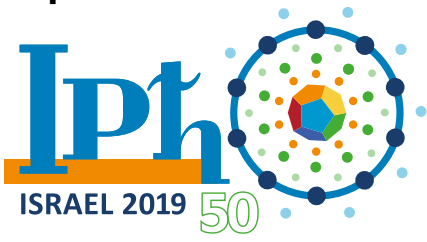
Q1-2

Russian (Kazakhstan)

8. Набор линеек.
9. Настольная лампа.
10. Прозрачный диск с диаметром 20.00 см с угломером, приклеенный к деревянному основанию (для части А). Удалите 4 маленьких деревянных кубика, прикрепленных к деревянному основанию.
11. Калька (тонкая полупрозрачная бумага), которую можно использовать в качестве прозрачного экрана. Её следует прислонить к диску, чтобы отметить входную точку, не загрязняя поверхности диска (для части А). Можно более точно зафиксировать точку выхода луча, если начертить линию на бумаге, как показано на рисунке.
12. Деревянный брусок (12А) и цилиндрический держатель (12В), который может вращаться вокруг вертикальной оси. Предназначен для установки дифракционной решетки (12С) или треугольной призмы (12D).

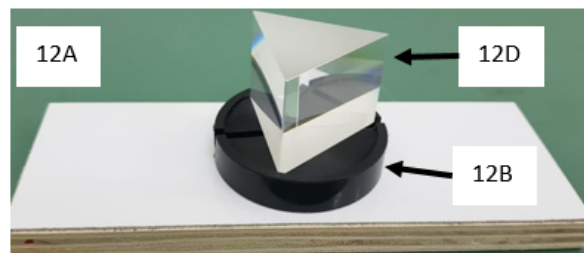
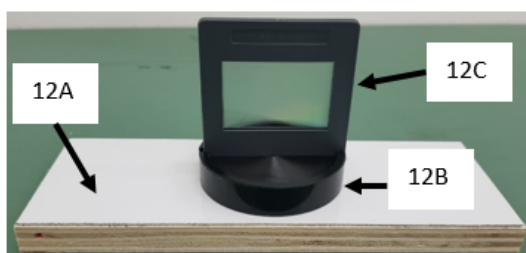
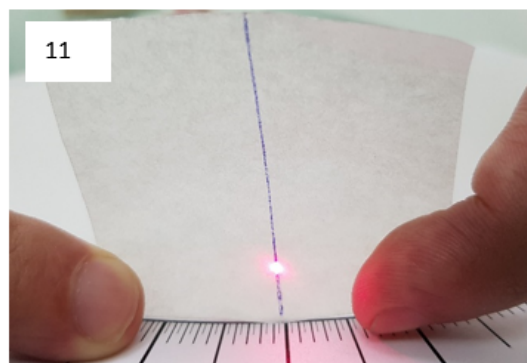
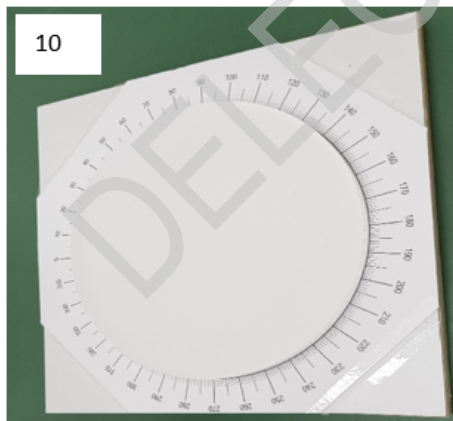
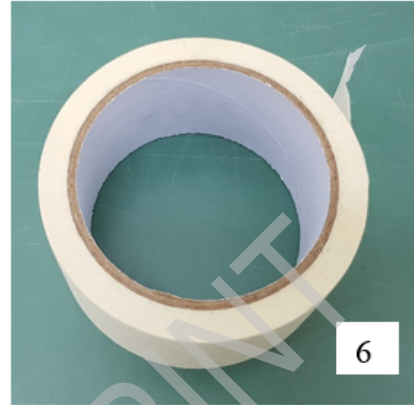
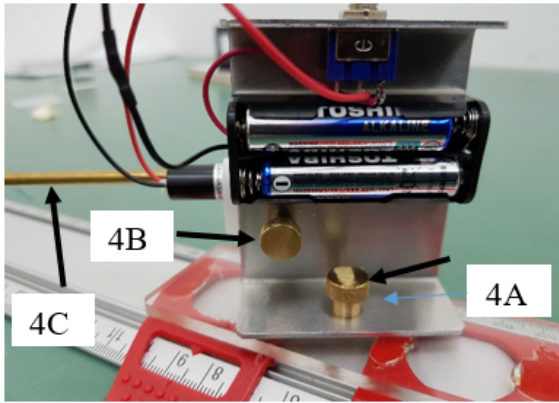


Experiment



Q1-3

Russian (Kazakhstan)



Experiment



Q1-4

Russian (Kazakhstan)

Часть А. Показатель преломления диска (5.5 балла)

В этой части нужно определить показатель преломления прозрачного диска. Для этого исследуется ход луча при его преломлении и отражении внутри диска.

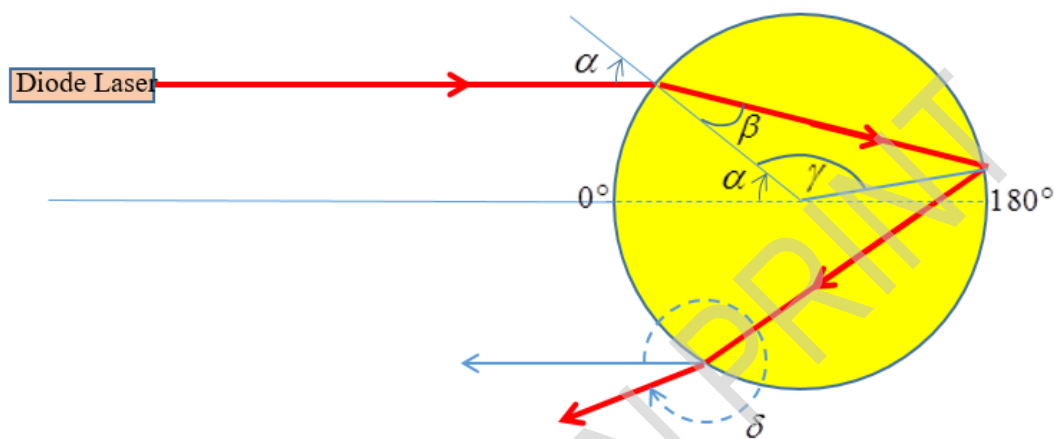


Схема эксперимента

Определения и обозначения:

α	Угол падения луча падающего на диск
$2\Delta\alpha$	Разброс углов падения, т.е. диапазон углов α , падающих на диск лучей
β	Угол преломления внутри диска
γ	$= 180^\circ - 2\beta$
n	Показатель преломления материала диска
N	Число, показывающее, сколько раз луч попадает на границу диска, прежде чем он выйдет из диска в воздух (на рисунке $N = 3$)
δ	Угол между направлением, противоположным направлению падающего луча и направлением выходящего луча, измеренный по часовой стрелке (на рисунке показан угол δ для $N = 3$)
$2\Delta\delta$	Разброс углов δ

Можно показать, что углы α , β и δ связаны соотношением:

$$\delta = 2\alpha + (N - 1)(180^\circ - 2\beta). \quad (1)$$

Можно использовать это уравнение без вывода.

Закрепите линейку с подвижным штативом на столе скотчем, чтобы регулировать угол падения лазерного луча. Соберите установку (лазер и диск) так, чтобы угол падения легко измерялся. Закрепите диск на столе скотчем. При необходимости отрегулируйте угол падения по вертикали ручкой 4. Лазер может быть установлен на двух различных высотах: нижний уровень для части А и

Experiment



Q1-5

Russian (Kazakhstan)

верхний уровень для частей В и С. Лазер предварительно настроен так, что падающий луч имеет поляризацию S (соответствующую максимальному коэффициенту отражения). **Не меняйте поляризацию** падающего луча (не вращайте лазер вокруг оси луча)!

A.1 Нарисуйте схему установки. На схеме укажите положение линейки с подвижным штативом, диск и ход луча лазера. Укажите угол падения α . Проведите серию измерений при углах падения $15^\circ \leq \alpha \leq 75^\circ$. Запишите α , $\Delta\alpha$, δ , $\Delta\delta$ в таблицу Table 1.
Примечание: более удобно измерять угол $\delta/2$ непосредственно на диске.

A.2 По данным из предыдущего пункта постройте подходящий график, из которого вы можете найти показатель преломления. Если вам нужно посчитать дополнительные величины, используйте пустые колонки в таблице Table 1.
Найдите показатель преломления n и оцените погрешность Δn .

A.3 По данным из пункта A1 постройте график зависимости δ от α . Отметьте кресты ошибок $\Delta\alpha$, $\Delta\delta$ на каждой измеренной точке. Снимите дополнительные данные, чтобы точнее найти минимальный δ и соответствующий α . Обозначьте их δ_{\min} и α_{\min} .
Чтобы найти точку минимума наиболее точно, можно использовать стенки вашего рабочего места для исходящего луча лазера.

Второй метод измерения показателя преломления

В этой части задачи необходимо разработать другой метод, который позволит получить результат с очень высокой точностью. Несмотря на то, что Вы должны измерить величины с наибольшей точностью, **погрешности оценивать не требуется**. Тем не менее, Вы должны вывести все расчетные формулы и привести их в листе ответов.

A.4 Анализируя поведение графика, полученного в A3, определите оптимальный угол падения луча, при котором следует проводить измерения, чтобы определить показатель преломления.
Запишите уравнения, которые Вы будете использовать для определения показателя преломления предложенным Вами методом.

A.5 Для $N = 3$ проведите измерения в соответствии с методом, разработанным в пункте A4. Он должен позволить получить ответ с наибольшей точностью.

- Нарисуйте схему установки (включая диск, ход луча лазера и измеряемые величины).
- Запишите значения измеряемых величин.
- Проведите анализ данных и вычислите показатель преломления n материала диска с наибольшей точностью. Если необходимо, можно использовать дополнительные листы миллиметровой бумаги.

- A.6** Повторите измерения из предыдущего пункта для $N = 4$ и $N = 5$ (схему установки рисовать не нужно). 1.5pt
- Запишите значения измеряемых величин для $N = 4$.
 - Проведите анализ данных для $N = 4$ и вычислите показатель преломления n материала диска с наибольшей точностью.
 - Запишите значения измеряемых величин для $N = 5$.
 - Проведите анализ данных для $N = 5$ и вычислите показатель преломления n материала диска с наибольшей точностью.
 - По результатам, полученным для $N = 3$, $N = 4$ и $N = 5$, рассчитайте среднее значение $\langle n \rangle$ показателя преломления.

Часть В. Параметры дифракционной решетки (2.5 балла)

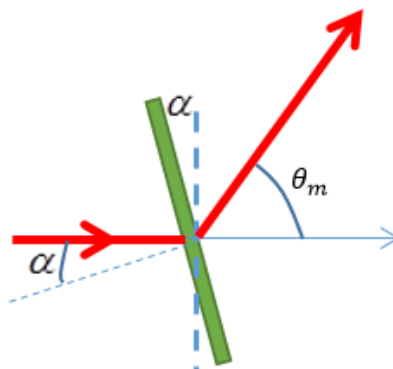
В этой части задачи требуется найти отношение λ/d , где λ - длина волны лазера, а d - постоянная решетки (период решётки).

Когда лазерный луч проходит через дифракционную решетку, угол θ_m между направлением падающего луча и направлением на максимум интенсивности m -го порядка можно найти по формуле:

$$d \cdot (\sin \alpha + \sin(\theta_m - \alpha)) = m\lambda \quad (2)$$

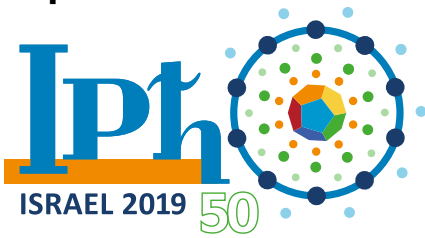
где

m	порядок дифракции
α	угол падения луча на решетку
θ_m	угол между направлением падающего луча и направлением на максимум интенсивности
d	постоянная решетки — расстояние между центрами соседних щелей решетки



Работа на высоких порядках дифракции позволяет сильнее разделить различные длины волн.

Experiment



Q1-7

Russian (Kazakhstan)

Таким образом, на высоких порядках достигается меньшая относительная погрешность при измерении λ/d .

Расслабьте винт 4В и измените вертикальное положение лазера, повернув его на 180 градусов, в положение 3В. Это нужно для выполнения частей В и С. С помощью ручки 4С можно тонко регулировать положение лазера, чтобы отъюстировать его для измерений с дифракционной решеткой. Настройте лазер так, чтобы его луч был перпендикулярен экрану. Поставьте дифракционную решетку в держатель 12В. Ориентация дифракционной решетки отмечена наклейкой. Сторона дифракционной решетки с наклейкой должна быть обращена к лазеру, а наклейка должна быть сверху.

На дифракционной решетке написан номер. **Запишите номер решетки в соответствующее поле в листе ответов.**

- | | | |
|------------|---|-------|
| V.1 | <ul style="list-style-type: none">Нарисуйте схему установки в листе ответов. На схеме отметьте положение лазера, дифракционной решетки, ход луча лазера, точки, куда попадает лазер на экране и величины, которые вы измеряете.Выполните измерения для порядка $m = 1$. Запишите значения величин, которые вы измеряете. Найдите отношение λ/d.Выполните измерения для порядка $m = 2$. Запишите значения величин, которые вы измеряете. Найдите отношение λ/d. | 0.7pt |
|------------|---|-------|

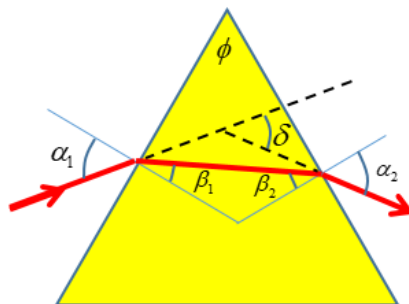
- | | | |
|------------|---|-------|
| V.2 | Найдите отношение λ/d из данных дифракции более высоких порядков ($m > 2$). <ul style="list-style-type: none">Нарисуйте схему установки в листе ответов для измерений в порядках $m = 3$ и $m = 4$. На схеме отметьте положение лазера, дифракционной решетки, ход луча лазера, точки, куда попадает лазер, на экране и величины, которые вы измеряете.Выполните измерения для порядков $m = 3, 4$. Запишите значения величин, которые вы измеряете. Найдите отношение λ/d для каждого m. | 1.8pt |
|------------|---|-------|

Часть С. Показатель преломления треугольной призмы (2.0 балла)

Вам выдана призма, в основании которой равносторонний треугольник. Грани призмы плоские и хорошо отполированные. Углы в треугольном основании могут отличаться от 60° не более чем на 0.7° . Ваша задача — измерить показатель преломления материала, из которого изготовлена призма. Чтобы уменьшить погрешности при вычислении показателя преломления, можно с помощью приближения малых углов ($\sin x \approx x$, $\cos x \approx 1$, x измеряется в радианах) учесть малые отклонения в углах призмы.

В этой части задачи нужно оценить погрешности.

На рисунке показан пример луча, который входит в призму через одну из граней и выходит из другой.



Разместите линейку с подвижным штативом так, чтобы это позволило вам получить при измерениях максимальную точность.

Поместите призму в держатель 12В.

C.1 В симметричном случае, $\alpha_1 = \alpha_2$, для равнобедренной призмы справедливо соотношение: $n = 2\sin(\delta_{\text{sym}}/2 + 30^\circ)$. 0.4pt

- Предложите метод, который позволит определить показатель преломления материала призмы.
- Выведите формулы, которые вы используете для определения показателя преломления. Запишите их в лист ответов.

C.2 1.6pt

- Запишите в лист ответов измеряемые вами величины, их значения и погрешности.
- Вычислите показатель преломления материала призмы на длине волны лазера. Оцените погрешность.

Закон Видемана-Франца

Основными переносчиками тепла в металлах являются электроны. Поэтому существует связь между тепло- и электропроводностью. Этот факт известен как закон Видемана-Франца.

В данной задаче наша цель измерить тепловые и электрические свойства металлов с как можно большей точностью. В части А мы измерим удельную проводимость меди, латуни и алюминия. В части В мы измерим коэффициент теплопроводности меди. В части С измеряется теплоемкость меди. В части D будет измерен коэффициент теплопроводности латуни и алюминия. В результате из всего этого, в части Е, будет проверена связь между этими величинами для исследованных металлов.

В этой задаче оценка погрешностей НЕ требуется.

Учтите при планировании эксперимента, что в части В и D есть время ожидания порядка **15 минут**. Планируйте своё время в соответствии с этим.

Инструкция по безопасности.

Не подключайте никаких проводов или не разрешенных приборов напрямую в розетку 220 В / 25 А. Вам разрешается подключать только источники питания.

Список оборудования



Рис. 1

1. **Медная** цилиндрическая трубка, длина 200.0 мм, диаметр внутреннего отверстия 6.0 мм, внешний диаметр **20.0 мм**.
2. **Латунная** цилиндрическая трубка, длина 200.0 мм, диаметр внутреннего отверстия 6.0 мм, внешний диаметр **19.0 мм**.
3. **Алюминиевый** цилиндрическая трубка, длина 200.0 мм, диаметр внутреннего отверстия 6.0 мм, внешний диаметр **20.0 мм**.

4. Маленький постоянный магнит массой 1.2 грамма.
5. Ёмкость для воды – кастрюля для приготовления Джажнуна, известного израильского блюда. Крышка кастрюли имеет внутри теплообменник и винт наверху. Так же есть 4 литра воды для наполнения кастрюли.
6. Стержень #1 – медный стержень диаметром 20.0 мм с датчиками температуры (все подключены к разъему) и встроенным нагревателем (подключен к красным проводам) (рис. 2а). Стержень находится внутри теплоизолирующего материала.
7. Стержень #2 – составной стержень диаметром 20.0 мм с датчиками температуры (все подключены к разъему) и встроенным нагревателем (подключен к красным проводам) (рис. 2а). Стержень находится внутри теплоизолирующего материала.
8. Теплоизолирующий колпачок.
9. Источник питания 12 В для цифрового индикатора.
10. Цифровой индикатор. Цифровой индикатор одновременно показывает температуры восьми датчиков температуры (инструкция ниже). Так же используется как секундомер.
11. Кабель для подключения датчиков температуры к цифровому индикатору.
12. Вольтметр – используйте режим 20 V DC (постоянный ток, рис. 3).
13. Амперметр – используйте режим 10 A DC (постоянный ток, рис. 3).
14. Соединительные провода
15. Источник питания 9 В с выводами "банан", для питания нагревателя.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ: 1. Не подключайте никаких проводов или не разрешенных приборов напрямую в розетку. Вам разрешается подключать только источники питания.

2. Не погружайте стержни в воду.

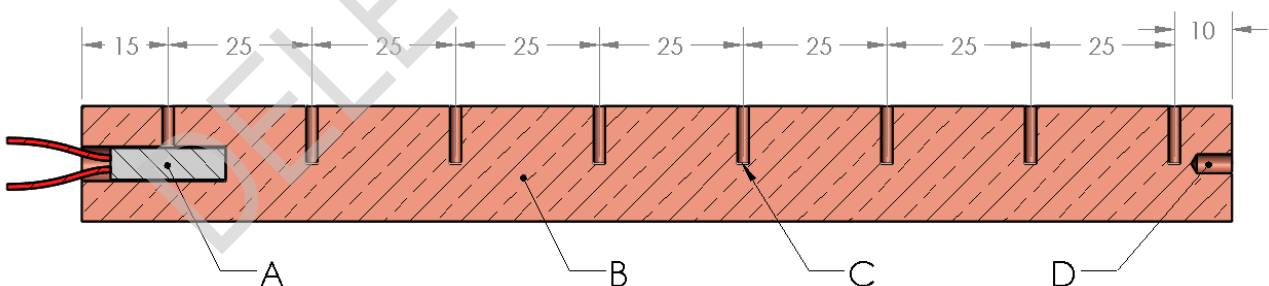


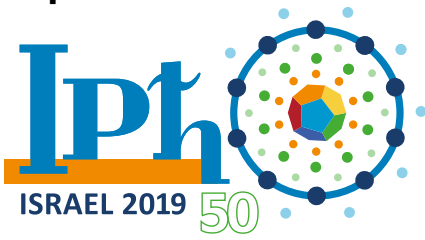
Рисунок 2.а - Схематическое изображение стержня 1.

Расстояния указаны в мм с точностью 0.1 мм.

(A) Нагреватель, подключен к красным проводам. (B) Медный стержень. (C) Датчики температуры (показаны как восемь отверстий в стержне).

(D) Отверстие с резьбой для прикручивания к крышке ёмкости с водой

Experiment



Q2-3

Russian (Kazakhstan)

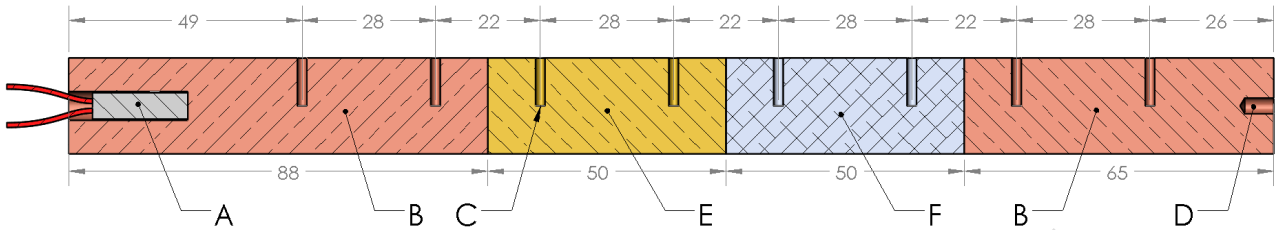


Рисунок 2.б - Схематическое изображение стержня 2.

Расстояния указаны в мм с точностью 0.1 мм.

(A) Нагреватель, подключен к красным проводам. (B) Медный стержень. (C) Датчики температуры (показаны как восемь отверстий в стержне).

(D) Отверстие с резьбой для прикручивания к крышке ёмкости с водой

(E) Латунный стержень (F) Алюминиевый стержень.

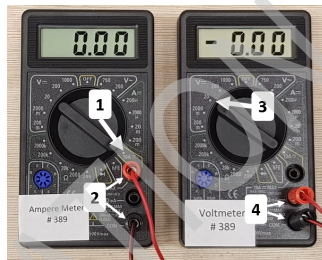


Рисунок 3 – Амперметр и вольтметр

(1) – Положение переключателя для режима 10 А. (2) Выводы для режима амперметра.

(3) – Положение переключателя для режима 20V. (4) Выводы для режима вольтметра.

Использование цифрового индикатора

Подсоедините источник питания 12 В (постоянный ток) к цифровому индикатору.

Цифровой индикатор имеет два режима использования: секундомер и индикатор температуры. Когда кабель от датчиков температуры подключен к цифровому индикатору, то автоматически включается режим индикации температуры. Когда кабель отключен – автоматически включается режим секундомера (на экране показывается "Timer mode").

В режиме индикации температуры:

- Нажмите и удерживайте красную кнопку 3 секунды для сброса времени
- Краткое нажатие красной кнопки зафиксирует текущие показания на экране (при этом отсчет времени все равно продолжится, но не будет отображаться)
- Следующее нажатие красной кнопки вернет отображение текущих температур и времени.

В режиме секундомера:

- Нажатие красной кнопки запускает секундомер
- Следующее нажатие останавливает секундомер
- Еще одно нажатие обнуляет показания секундомера

Experiment



Q2-4

Russian (Kazakhstan)

Цифровой индикатор должен быть заново откалиброван для каждого стержня. Датчики температуры используемые в эксперименте не совсем одинаковы. Поэтому, когда части стержня находится в тепловом равновесии, мы должны откалибровать датчики. Чтобы это сделать, первым шагом подключите один конец кабеля к стержню. Затем, нажмите и удерживая красную кнопку подключите другой конец кабеля к цифровому индикатору. Теперь он откалиброван. Отсоединение кабеля или отключение питания не сбрасывают калибровку.

ВНИМАНИЕ: Проводите калибровку **перед** соединением стержня с ёмкостью или включением нагрева. Это обеспечивает одинаковость температур вдоль стержня и правильную калибровку.

Если вы столкнулись с какими-то проблемами цифрового индикатора – попробуйте отключить и включить питание. Цифровой индикатор запомнит последнюю калибровку.

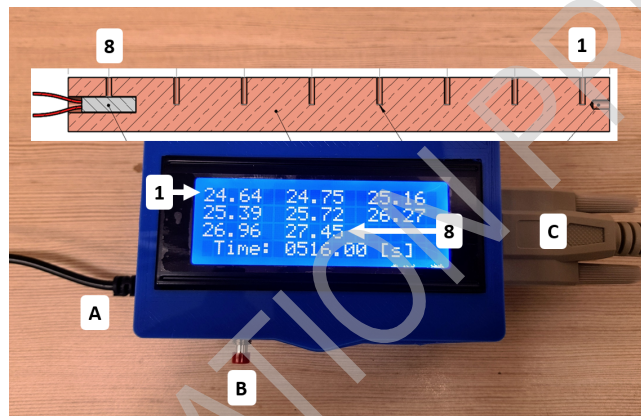


Рис. 4 - цифровой индикатор
(A) провод от источник питания 12 В. (B) Красная кнопка.
(C) Кабель от датчиков температуры. (1-8) Последовательно указанные показания датчиков температуры в градусах Цельсия.

Часть А: Удельная проводимость меди, алюминия и латуни (1.5 балла)

Теория

Когда постоянный магнит падает внутри проводящей цилиндрической трубы, он тормозится диссипативными силами вихревых токов. Поэтому, устанавливается постоянная скорость падения. Для нашей геометрии установившаяся скорость может быть выражена как:

$$v_{terminal} = \frac{8\pi m g a^2}{\mu_0^2 (\pi r_m^2 M)^2 \sigma w f\left(\frac{d}{a}\right)}. \quad (1)$$

Здесь m – масса магнита, σ – удельная проводимость, a – внутренний радиус трубы, r_m и d – радиус и высота магнита, соответственно, M – намагниченность магнита, w – толщина стенок трубы, $f\left(\frac{d}{a}\right)$ некоторая функция. В нашем случае, $a \approx r_m$, $d = 2r_m \approx 2a$ и $f(2) \approx 1.75$. Поэтому, время, необходимое для движения через трубу приблизительно равно:

$$t = 0.22 \frac{\pi r_m^2 (\mu_0 M)^2 w L_0 \sigma}{m g}. \quad (2)$$

Experiment



Q2-5

Russian (Kazakhstan)

Здесь $L_0 = 0.2$ м - длина трубы, мы считаем что магнит достигает установившейся скорости сразу после отпускания.

Параметры трубы и магнита, необходимые для вычисления:

$\mu_0 M = 0.65$ Тл, $w_{\text{Aluminum}} = w_{\text{Copper}} = 7.0 \times 10^{-3}$ м, $w_{\text{Brass}} = 6.5 \times 10^{-3}$ м, $m = 1.2 \times 10^{-3}$ кг, $r_m = 3.0 \times 10^{-3}$ м, $g = 9.8$ м/с²

DELEGATION PRINT

Эксперимент

A.1 Используя цифровой индикатор как секундомер, измерьте времена падения магнита через полые трубы, изготовленные из алюминия, меди, латуни. Запишите измерения в таблицу A1. 1.0pt

A.2 Используя выражения выше, найдите удельные проводимости σ_{Aluminum} , σ_{Copper} , σ_{Brass} каждого материала. 0.5pt

Часть В: Коэффициент теплопроводности меди (3.0 балла)

Цель этой части измерить коэффициент теплопроводности меди близко к стационарному состоянию.

Теория

Коэффициент теплопроводности κ определяется выражением $P(x) = -\kappa A \cdot \frac{\Delta T(x)}{\Delta x}$. Это выражение описывает линейную связь между градиентом температуры и потоком тепла, протекающим через поперечное сечение. Здесь, $P(x)$ – мощность протекающая через поперечное сечение, расположенное в точке x , A – площадь поперечного сечения и $\Delta T(x) / \Delta x$ – градиент температуры в точке x .

Эксперимент

Откалибруйте и подключите цифровой индикатор к стержню #1. Наполните кастрюлю 4 литрами воды (2 бутылки) так, чтобы теплообменник был полностью погружен в воду, и закройте крышку.

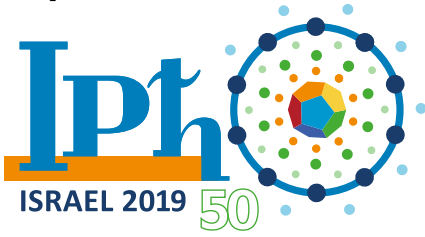
B.1 Укажите начальную температуру стержня #1, когда он лежит на столе. 0.1pt

Отключите кабель от стержня #1. Снимите термоизолирующий колпачок и накрутите стержень #1 на крышку кастрюли. Подключите кабель к стержню #1, как показано на рис. 5. Будьте осторожны, не прикладывайте чрезмерных усилий.



Рис. 5

Experiment



Q2-7

Russian (Kazakhstan)

- B.2** Нарисуйте схему электрической цепи, которая позволит подключить нагреватель к источнику и измерять мощность. Ваша цепь должна содержать следующие элементы: источник питания 9 В, нагреватель, вольтметр, амперметр, соединительные провода. Вы можете использовать соединение и разъединение проводов в качестве ключа. 0.5pt

Коэффициент теплопроводности измеряется следующим образом: к одной стороне стержня подводится тепловая мощность, другая сторона поддерживается при постоянной температуре за счет ёмкости с водой.

Наша цель получить состояние, очень близкое к установившемуся. Соберите схему пункта B2 и включите питание.

- B.3** Проведите измерения и вычислите подводимую к нагревателю мощность P . 0.1pt

Подождите 15 минут. В течении этого времени к нагревателю должна подводиться мощность (Вы можете использовать это время для планирования эксперимента).

- B.4** Укажите в таблицу температуры всех восьми термометров во времена (примерно): 15 мин, 17.5 мин, 20 мин. 0.5pt

- B.5** На одной миллиметровке постройте три графика зависимости температуры от координаты (для каждого времени). Эти графики будут так же использованы в части D. 1.0pt

- B.6** Используя график для данных для времени 17.5 мин определите коэффициент теплопроводности меди κ_0 . Не учитывайте любые потери тепла в этой части. Оцените скорость изменения температуры $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ стержня в момент времени 17.5 мин. 0.5pt

- B.7** Ожидаете ли вы более высокое / более низкое / такое же значение для κ_0 по сравнению с реальным значением κ 0.3pt

Часть C: Оценка потерь тепла и теплоёмкости меди (4.0 балла)

Теория

Теплоёмкость C определяется следующим выражением:

$$\Delta Q = C\Delta T, \quad \frac{\Delta Q}{\Delta t} = C \left(\frac{\Delta T}{\Delta t} \right). \quad (3)$$

Здесь $\Delta Q/\Delta t$ – скорость передачи теплоты материалу, $\Delta T/\Delta t$ – скорость изменения температуры. Удельная теплоёмкость c_p – теплоемкость на единицу массы. Масса медного стержня равна 0.58 kg.

Experiment



Q2-8

Russian (Kazakhstan)

Эксперимент

Выключите источник питания нагревателя. Отключите и открутите стержень #1 и положите его на стол. Поместите теплоизолирующий колпачок на стержень, как это было до начала эксперимента. Подсоедините кабель к цифровому индикатору и цепь нагревателя к стержню #1.

Внимание: Не оставляйте нагреватель в этой части надолго без контроля температуры.

Используя цикл из охлаждения, нагревания и опять охлаждения мы можем получить и оценку потерь тепла, и теплоёмкость материала. Этап нагрева должен изменить среднюю температуру стержня примерно на 2.5°C . Для достижения необходимой точности достаточно цикла охлаждения-нагревания-охлаждения продолжительностью 10-15 минут.

В этой части мы будем работать с температурами близкими к установившимся в части В.

Для учета всей тепловой энергии, запасенной в стержне, предполагается следить за средней температурой стержня. Температура в середине стержня с достаточной точностью равна средней температуре стержня.

C.1	Проведите цикл охлаждения-нагревания-охлаждения и занесите данные в таблицу C1 для нахождения средней температуры стержня.	1.0pt
------------	--	-------

C.2	Постройте на миллиметровке график зависимости средней температуры от времени.	1.0pt
------------	---	-------

C.3	Используя график, вычислите удельную теплоёмкость c_p и мощность тепловых потерь P_{loss} для средней температуры для данных части В. Опишите ваш метод используя схемы и формулы.	1.0pt
------------	---	-------

В итоге, есть два механизма, которые должны быть учтены для повышения точности измерения коэффициента теплопроводности в части В:

- Есть потери тепла за счет радиальной теплопроводности через термоизоляцию.
- Система не достигает стационарного состояния к моменту проведения измерений.

В первом приближении, можно считать, что эти механизмы меняют мощность теплопроводности одинаково на единицу длины $\Delta P(x) / \Delta x$.

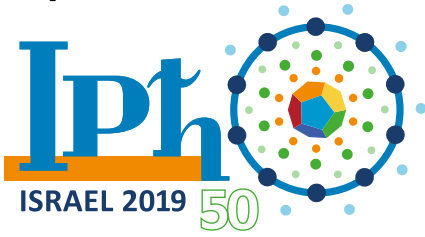
C.4	Используя указанные выше механизмы, запишите выражение, которое позволяет получить более точное значение коэффициента теплопроводности из измерений части В. Используйте $\kappa_0, P, c_p, m, P_{\text{loss}}, \frac{\Delta T}{\Delta t}$ из части В, С для исправленного значения коэффициента теплопроводности меди κ_{Copper} . Вычислите это значение.	1.0pt
------------	---	-------

Часть D: Коэффициент теплопроводности латуни и алюминия (1.0 балла)

Откалибруйте датчики температуры (как описано ранее в части В) и подключите стержень #2 к цифровому индикатору.

D.1	Укажите начальную температуру стержня, когда он находится ещё на столе.	0.1pt
------------	---	-------

Experiment



Q2-9

Russian (Kazakhstan)

Отключите кабель и прикрутите стержень #2 на крышку кастрюли, как показано на рис. 4. Подключите кабель к индикатору.

Повторите процедуру из части В для достижения стационарного состояния при нагреве.

Подождите как минимум **15 минут** с включенным нагревателем.

Вы можете предположить, для точности, требуемой в этой части, что стержень находится в стационарном состоянии. Кроме того, вы можете считать что потери тепла на единицу длины одинаковы вдоль всего стержня.

D.2 Запишите значение температуры для всех восьми датчиков температуры стержня 2 и укажите значение градиента температуры $\Delta T/\Delta t$ для каждой секции стержня. 0.2pt

В первом приближении вы можете поступить как в пункте С.4, а именно считать что $\Delta P(x)/\Delta x$ равно константе.

D.3 Выразите κ_{Brass} и κ_{Aluminum} используя предыдущие измерения и получите числовые значения. 0.7pt

Часть E: Закон Видемана-Франца (0.5 балла)

Закон Видемана-Франца утверждает, что в металлах, где перенос тепла происходит в основном из-за электронов, отношение коэффициента теплопроводности и удельной проводимости линейно зависит от температуры. Более того, этот закон утверждает, что коэффициент $L = \frac{\kappa}{\sigma T}$ (известный как число Лоренца) одинаков для многих металлов и зависит только от фундаментальных физических постоянных. В действительности, для металлов при комнатной температуре, закон выполняется с точностью 10%.

E.1 Укажите полученные вами значения коэффициента теплопроводности и удельной проводимости (κ, σ) в таблицу E1. Вычислите значение L для каждого материала и укажите в той же таблице E1. Считайте, коэффициент теплопроводности не зависит от температуры. 0.5pt