

Условие

Задача 3. Зеркала.

Точечный источник света S находится на равных расстояниях от двух плоских зеркал, как показано на рисунке. Используя циркуль и линейку, постройте ход лучей 1 и 2 до их выхода из зеркал.

Построения выполните на отдельном бланке к этой задаче. Кратко опишите ход ваших построений. Основным критерий оценивания данной задачи – точность построения.

Задача 9.2 Графен, графит, алмаз.

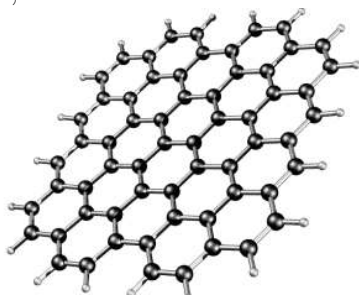
Углерод – химический элемент четвертой группы таблицы Менделеева. Валентность углерода равна 4, поэтому он может легко соединяться с другими атомами углерода, образуя различные разветвленные структуры. В данной задаче вам предстоит рассмотреть некоторые известные формы чистого углерода.

Молярная масса углерода $M = 12,0 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$. Постоянная Авогадро $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$

Нанометр – единица длины, используемая в атомной физике $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$.

Часть 1. Графен¹

Графен - двумерная модификация углерода, образованная слоем атомов углерода толщиной в один атом, соединённых в гексагональную (шестиугольную) двумерную кристаллическую решётку (рис. 1). Расстояние между ближайшими атомами в пленке графена равно $a_0 = 0,142 \text{ нм}$.



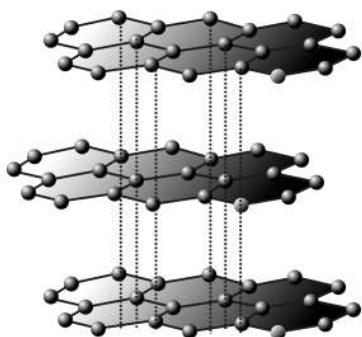
1.1 Рассчитайте поверхностную плотность графена.

Поверхностной плотностью называется масса единицы площади

$$\sigma = \frac{m}{S}.$$

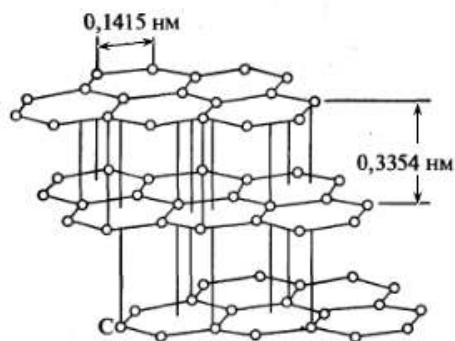
Часть 2. Графит

На рисунке показана α -модификация кристаллической решётки графита. Структура данной решётки слоистая. Каждый слой строится из правильных шестиугольников, в вершинах которых находятся атомы углерода. Соседние слои смещены относительно друг друга так, что половина атомов второго слоя располагается над центрами шестиугольников первого (нижнего) слоя и под центрами шестиугольников третьего (верхнего) слоя. Первый и третий слои повторяют друг друга.



2.1 Изобразите расположение атомов в двух соседних слоях при виде «сверху». Для этого используйте бланк к задаче. Штриховкой выделена пара шестиугольников, расположенные один под другим. В каждом слое атомы должны заполнять всю нарисованную сетку.

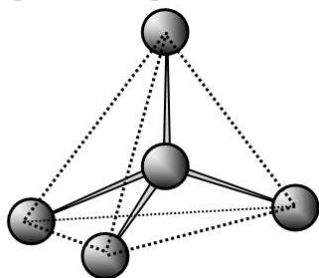
2.2 Рассчитайте плотность графита. Атомы углерода, находящиеся в соседних вершинах шестиугольника, отстоят друг от друга на величину $a_1 = 0,1415$ нм, а соседние плоскости удалены друг от друга на $h = 0,3354$ нм (рис. 3).



¹ За «передовые опыты с двумерным материалом — графеном» А. К. Гейму и К. С. Новосёлову была присуждена Нобелевская премия по физике за 2010 год

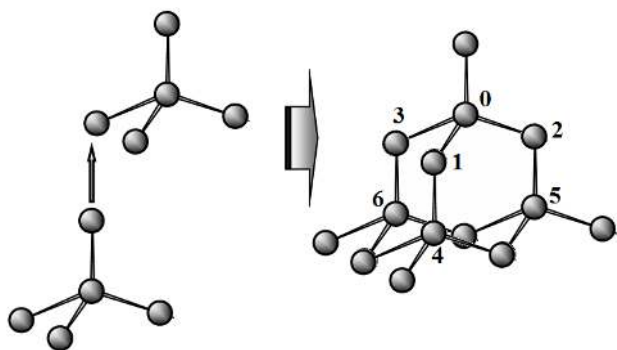
Часть 3. Алмаз

В кристаллической решетке алмаза все атомы углерода находятся «в равных условиях»: каждый атом соединен ковалентными связями с четырьмя соседними атомами, находящимися в вершинах правильной треугольной пирамиды - тетраэдра (рис. 4).



Расстояние между соседними атомами в кристаллической решетке алмаза равно $a_2 = 0,153$ нм.

Рис. 4



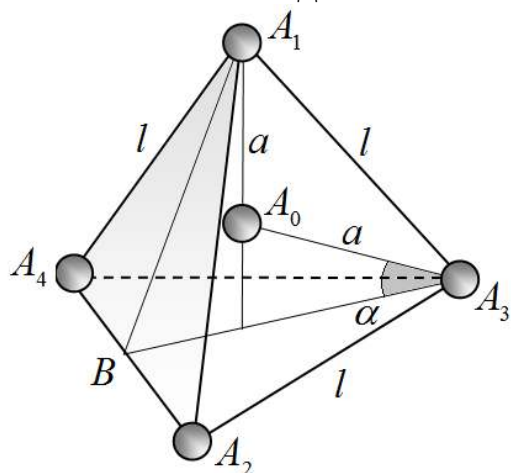
Представить себе кристаллическую решетку алмаза можно следующим образом. Возьмем «четверку атомов», расположим ее вертикально, а затем к каждому из трех нижних атомов присоединим еще три таких же четверки, далее процесс присоединения можно продолжить (рис. 5).

Рис. 5

3.1 На бланке к задаче укажите расположение атомов в трех последовательных слоях решетки алмаза при виде сверху (см. рис. 5): Слой 1 – содержит атомы 1-2-3; Слой 2 – содержит атомы 4-5-6; Слой 3 – следующий, лежащий под слоем 2. В каждом слое атомы должны заполнять всю нарисованную сетку. На каждом рисунке показано положение атома 0.

3.2 Рассчитайте плотность алмаза.

Математическая подсказка.



На рис. 6 показан тетраэдр, образуемый атомами углерода в кристаллической решетке алмаза. Если расстояние между ближайшими атомами равно $|A_0A_1| = |A_0A_2| = |A_0A_3| = |A_0A_4| = a$, то:

Длина стороны тетраэдра $l = |A_1A_2| = \dots = |A_4A_2| = \sqrt{\frac{8}{3}}a$

Площадь одной грани тетраэдра $S = \sqrt{\frac{4}{3}}a^2$

Объем тетраэдра $V = \sqrt{\frac{64}{243}}a^3$

Угол между основанием тетраэдра и направлением связи с центральным атомом $\angle A_0A_3B$
 $\alpha \approx 19,47^\circ$, при этом $\sin \alpha = \frac{1}{3}$.

Часть 4.

На последующие вопросы дайте краткие словесные (не более 20 слов) ответы.

4.1 Почему графит проводит электрический ток, а алмаз нет?

4.2 Электрическое сопротивление кристалла графита очень сильно зависит от направления

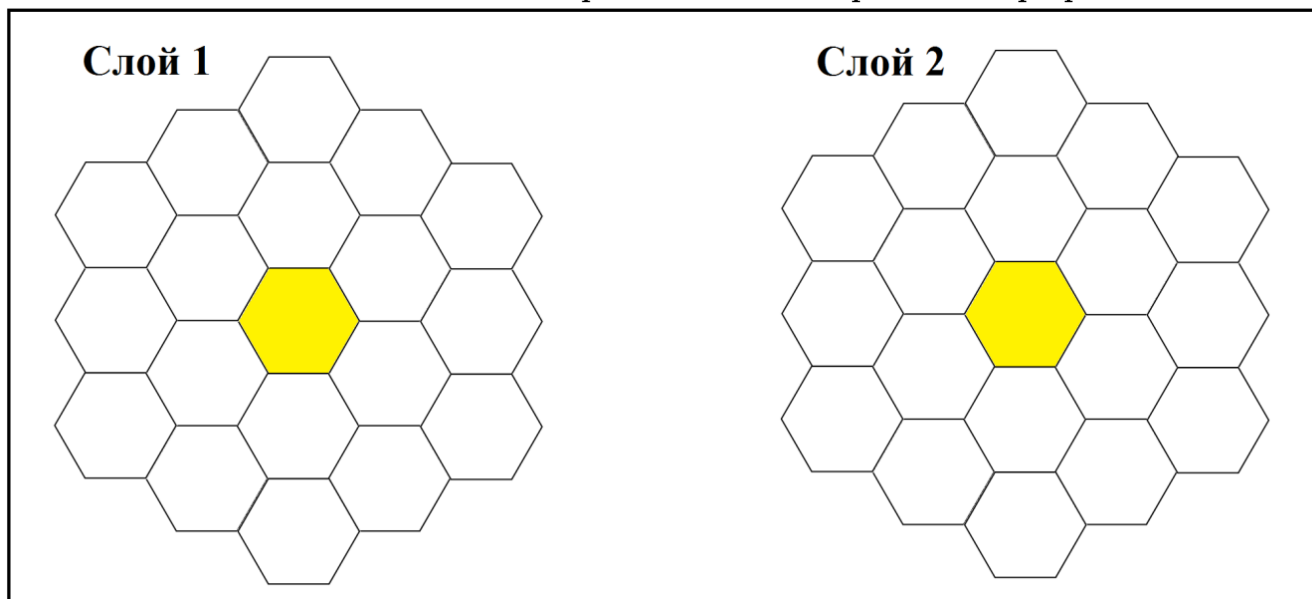
протекания электрического тока. В каком направлении протекания тока вдоль слоев (1), или поперек их (2), сопротивление графита больше и почему?

4.3 На рисунке, приведенному на бланке ответов, показана фотография модели кристаллической решетки алмаза. Какую принципиальную ошибку допустили разработчики этой модели? Укажите ее прямо на рисунке и дайте краткое обоснование вашего ответа.

Бланк к задаче 9.2 Графен, графит, алмаз.

Не забудьте сдать этот листок!

2.2 Расположение атомов в слоях кристаллической решетки графита.



3.1 Расположение атомов в слоях кристаллической решетки алмаза.

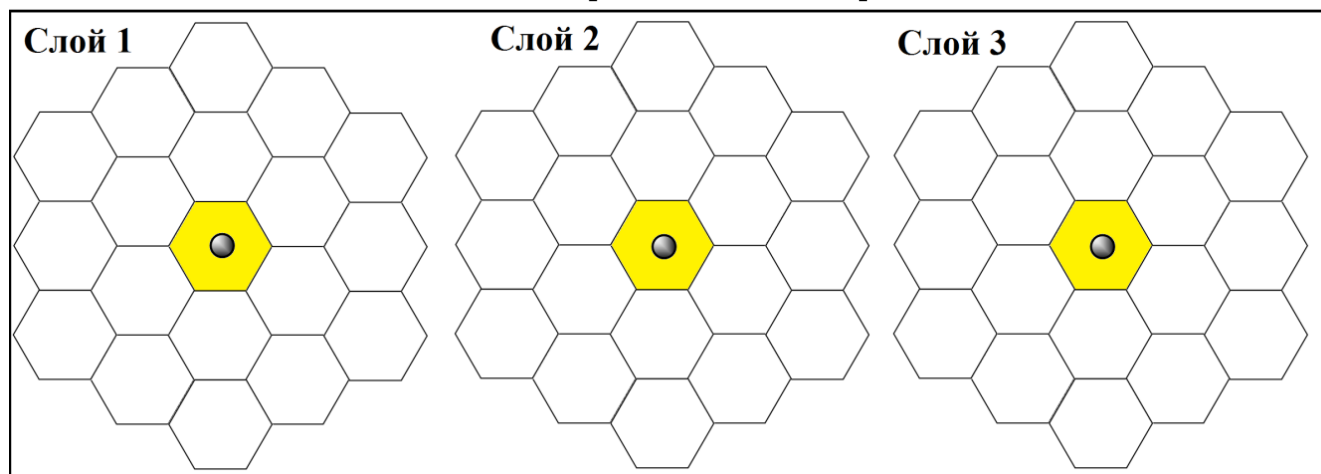
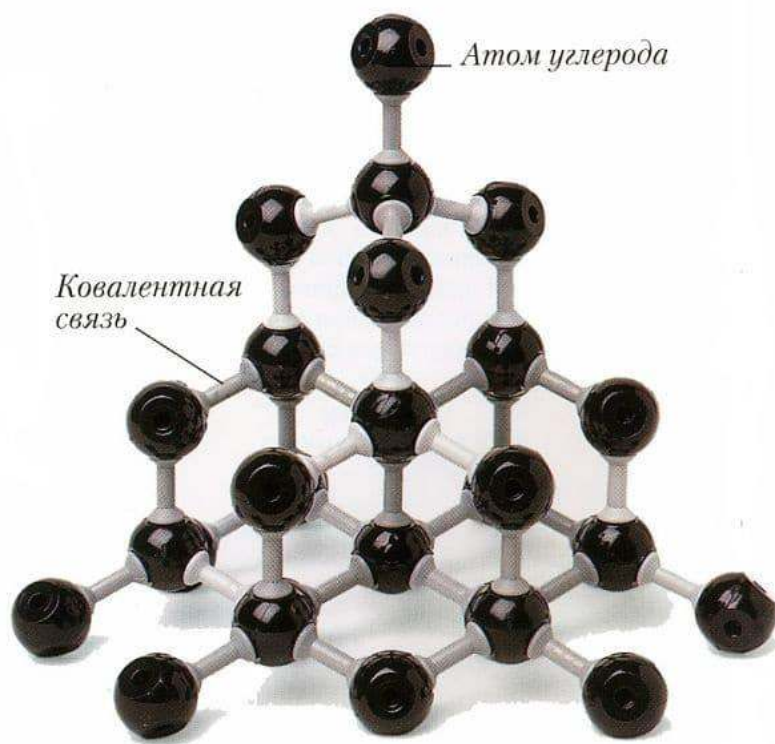


Рисунок 6. Модель кристаллической решетки алмаза.



СТРУКТУРА АЛМАЗА



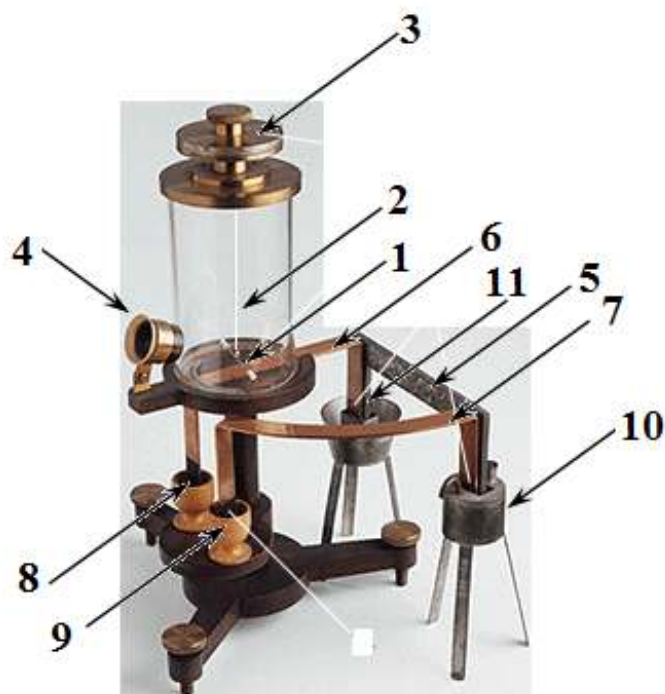
Задача 9-3. Опыты Георга Ома.

Конечно, Вам известен закон Ома для участка цепи! Скорее всего, вы даже проверяли его экспериментально! Что может быть проще: взяли батарейку, вольтметр, амперметр, переменный резистор, соединительные провода; собрали простенькую электрическую цепь и убедились, что сила тока в цепи пропорциональна приложенному напряжению.

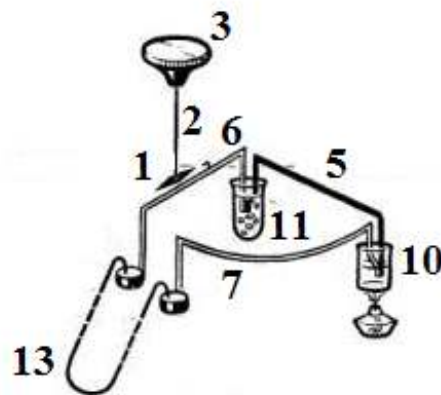
Но задумывались ли Вы, как этот закон был открыт экспериментально в 1826 году, когда розеток в доме, и батареек в магазине не было, не говоря уж о вольтметрах и амперметрах. Более того, в то время еще не было таких понятий как напряжение, сила тока, электрическое сопротивление!

В данной задаче вам предстоит разобраться с тем, как Георгу Симону Ому удалось провести эксперименты, приведшие к открытию закона Ома. Описание установки и все экспериментальные данные, приведенные в этой задаче, взяты из работы Г.С. Ома «Определение закона, по которому металлы проводят контактное электричество...»

Часть 1. Экспериментальная установка.



Прибор Г. Ома



Электрическая схема
прибора Г. Ома

На рисунке приведена фотография модели прибора Ома, рядом показана электрическая схема этого устройства. Нумерация деталей установки одинакова на обоих рисунках. В качестве чувствительного элемента используется магнитная стрелка 1, подвешенная на тонкой полоске 2 из расплющенной золотой проволоки. Сверху полоска прикреплена к небольшому цилиндру 3, который можно вращать и с помощью угломерной шкалы измерять угол закручивания золотой полоски. В качестве источника тока использовалась термоэлектрическая батарея, состоящая из П-образной пластины 5, отлитой из висмута, к которой прикреплены две медные полоски 6 и 7. Вторые концы этих полосок помещены в чашки 8 и 9, заполненные ртутью. Концы пластины из висмута с медными полосками помещены в два сосуда 10 и 11, одном из которых (11) находится вода с плавающим льдом, во втором (10) — кипящая вода. В чашечки со ртутью (8-9) помещались куски 13

исследуемых проволок различной длины. Одна из медных полосок (6) располагалась горизонтально, строго вдоль магнитного меридиана. Магнитная стрелка размещалась над этой полоской, причем при отсутствии электрического тока в цепи стрелка ориентировалась строго вдоль полоски, при этом ее подвес (золотая полоска) не был закручен.

Принцип действия прибора и методика измерений заключались в следующем. Если концы термоэлектрической батареи (места стыков висмута и меди) находятся при разных температурах, то в ней возникает постоянное напряжение², которое зависит от разности температур стыков. При замыкании цепи (т.е. при подключении провода 13 к чашечкам со ртутью) в ней возникает электрический ток. Электрический ток, протекающий по медной полоске, находящейся под магнитной стрелкой, создает магнитное поле, стремящееся повернуть стрелку перпендикулярно протекающему току. При этом момент силы, действующий на стрелку пропорционален силе тока и зависит от ориентации стрелки относительно направления тока. Стрелка поворачивается на некоторый угол. Затем, вращая верхний цилиндр, стрелку возвращают в исходное положение, вдоль магнитного меридиана и медной полоски. При этом с высокой точностью измеряют угол поворота верхнего цилиндра. По измерениям Г. Ома при

закручивании золотой полоски в ней возникает момент сил упругости, пропорциональный углу закручивания, причем эта пропорциональность соблюдается, даже если угол закручивания достигает трех оборотов. Таким образом, Г. Ом измерял зависимость угла закручивания X золотой полоски от длины x и материала проволоки 13, подключенной к ртутным контактам. Прежде чем приводить результаты измерений и их обработку кратко ответьте на следующие вопросы.

1.1 Чему равен момент силы, действующий на магнитную стрелку со стороны магнитного поля Земли, в положении равновесия стрелки при отсутствии тока в цепи?

1.2 Почему в экспериментах Г. Ома нет необходимости учитывать влияние магнитного поля Земли?

1.3 Покажите, что измеряемый угол закручивания золотой полоски пропорционален силе тока в цепи.

1.4 Зачем в данной установке использовались чашки со ртутью?

Часть 2. Теоретическое описание.

В результате анализа экспериментальных данных Г. Ом пришел к выводу, что зависимость угла закручивания полоски подвеса X (в угловых градусах) от длины подключенной проволоки x (в дюймах) может быть описана формулой

$$X = \frac{a}{x + b}, \quad (1)$$

Где a и b - постоянные для данной серии опытов величины.

Как уже было сказано, угол закручивания пропорционален силе тока в цепи, поэтому будем считать, что $X = cI$, где c - постоянный для всех опытов коэффициент. Обозначим сопротивление единицы длины проволоки r (для разных материалов оно различно); постоянное сопротивление всей цепи без проволоки R_0 ; напряжение, создаваемое батареей U_0 (оно зависит только от разности температур концов батареи).

2.1 С помощью закона Ома, выразите зависимость угла закручивания X от длины присоединенной проволоки x , используя введенные физические параметры r, R_0, U_0, c .

2.2 Выразите параметры Ома a и b через физические параметры r, R_0, U_0, c .

2 2

Часть 3. Результаты измерений и их обработка.

Во всех своих расчетах постарайтесь использовать все приведенные экспериментальные данные — это повышает точность результатов и обоснованность выводов. Оценивать погрешности не требуется. Необходимые графики постройте на отдельном бланке к данной задаче.

В первом эксперименте Г. Ом использовал куски разной длины медного провода, вырезанные из одного куска полоскового медного провода. Один конец термобатареи все время находился в чашке с плавящимся льдом (его температура³ $0^\circ R$). В первой серии измерений второй конец термобатареи батареи находился в сосуде с кипящей водой (ее температура $80^\circ R$), во второй серии измерений второй конец термобатареи находился при комнатной температуре (которая равнялась $7,0^\circ R$) В Таблице 1 приведены результаты измерений угла закручивания подвеса X от длины подключенной проволоки x для двух серий измерений.

Таблица 1 Медная проволока.

x , дюйм	2,0	4,0	6,0	10,0	18,0	34,0	66,0	130,0
X° (при $80^\circ R$)	305,25	281,50	259,00	224,00	178,50	124,75	79,00	44,50
X° (при $7,0^\circ R$)	27,00	25,00	23,33	20,00	15,50	10,75	6,50	3,67

3.1 Покажите, что в обеих сериях измерений полученные результаты хорошо описываются формулой Ома (1). Для этого постройте графики полученных зависимостей, в таких коор-

динатах, чтобы они были линейны. 3.2 Рассчитайте значения коэффициентов Ома a_1, b_1 и a_2, b_2 для обеих серий измерений. 3.3 Покажите, что значение параметра R_0 можно считать примерно одинаковым в обоих случаях. Объясните возможные причины их различия. 3.4 Рассчитайте длину (в дюймах) использованной проволоки, которая имеет сопротивление равное сопротивлению R_0 , когда второй конец термобатареи помещен в кипящую воду. 3.5 Покажите, что напряжение, создаваемое термобатареей, пропорционально разности температур ее концов. 3.6 Зимой или летом были проведены представленные измерения?

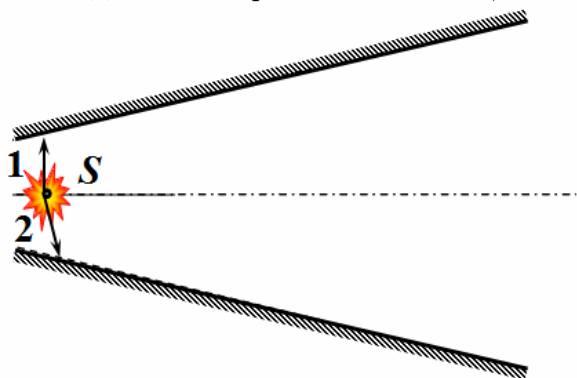
В таблице 2 приведены результаты измерений угла закручивания подвеса при использовании латунной проволоки (второй конец батареи в кипящей воде).

Таблица 2

x , дюйм	2,0	4,0	8,0	16,0
X° (при $80^\circ R$)	111,50	64,75	37,00	19,75

3.6 Покажите, что и в этом случае значение параметра R_0 можно считать таким же, как и при использовании медной проволоки. 3.7 Найдите длину (в дюймах) медной проволоки, сопротивление которой равно сопротивлению 1 дюйма использованной латунной проволоки.

³ Г. Ом использовал шкалу Реомюра. Приведенных в условии данных хватает, чтобы при необходимости перейти к шкале Цельсия.



² Точнее надо говорить об электродвижущей силе (ЭДС), но в данном случае это различие не слишком существенно.

³ Г. Ом использовал шкалу Реомюра. Приведенных в условии данных хватает, чтобы при необходимости перейти к шкале Цельсия.