

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

О.В. Евтушенко

**ИЗУЧЕНИЕ ДИФРАКЦИИ СВЕТА
(ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЕТКА)**

Методические указания по выполнению лабораторной работы для
студентов всех специальностей

Томск
2023

УДК 535.42
ББК 22.3
Е 27

Рецензент

Бурачевский Ю.А., доцент, канд. физ-мат. наук

Одобрено на заседании каф. физики протокол №104 от 16.04.23

Евтушенко Оксана Владимировна

Е 27 Изучение дифракции света (дифракционная решетка): метод. указания по выполнению лабораторной работы / О.В. Евтушенко – Томск: ТУСУР, 2023. – 13 с.

Представлена краткая теория дифракции света на прозрачной одномерной дифракционной решетке. Описана экспериментальная установка для изучения дифракции света с использованием дифракционной решетки, а также методика проведения измерений и обработки результатов.

Для студентов ТУСУРа, обучающихся по техническим направлениям подготовки и специальностям.

УДК 535.42
ББК 22.3

© Евтушенко О. В., 2023
© Томск. гос. ун-т систем упр.
и радиоэлектроники, 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 КРАТКАЯ ТЕОРИЯ.....	4
2 ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ.....	8
3. ЗАДАНИЯ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.....	9
4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	11
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	12

ВВЕДЕНИЕ

Дифракцией называется совокупность явлений, которые обусловлены волновой природой света и наблюдаются при его распространении в среде с резкими неоднородностями, размеры которых сравнимы с длиной волны (например, вблизи границ непрозрачных и прозрачных тел, сквозь малые отверстия и т.п.) и связанных с отклонениями от законов геометрической оптики. Дифракция, в частности, приводит к огибанию световыми волнами препятствий и проникновению света в область геометрической тени.

Одним из устройств, обладающих резкими оптическими неоднородностями, является дифракционная решётка. Она представляет собой совокупность большого числа одинаковых, отстоящих друг от друга на одно и то же расстояние щелей.

Целью данной работы является изучение дифракции света на прозрачной одномерной дифракционной решётке, в частности, необходимо определить постоянную решётки и число штрихов, приходящихся на единицу длины решётки.

1 КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Рассмотрим дифракцию света на прозрачной одномерной дифракционной решётке (рисунок 1.1). Расположим параллельно дифракционной решетке собирающую линзу L , в фокальной плоскости которой поместим экран \mathcal{E} .

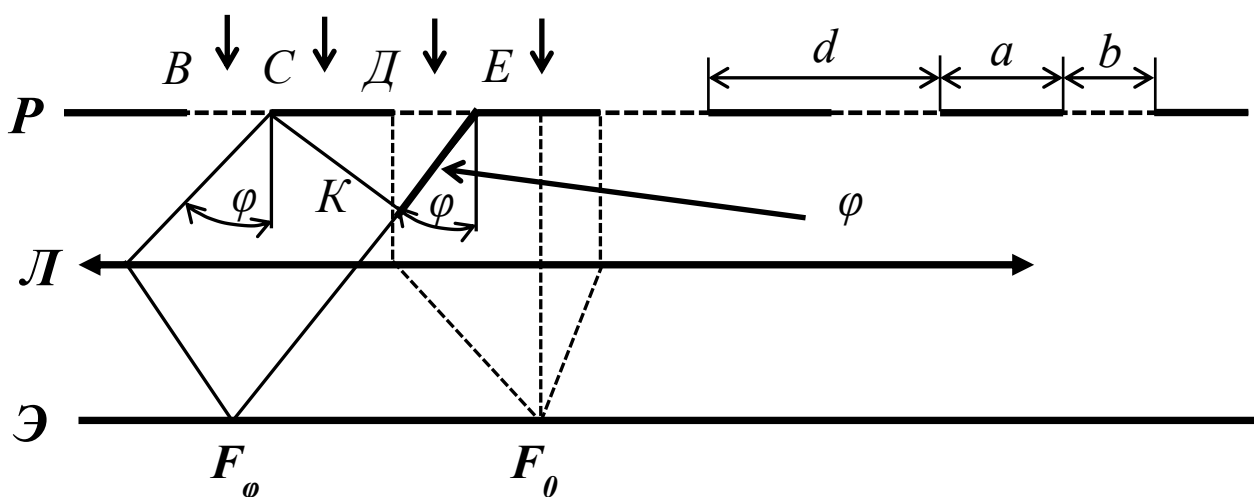


Рисунок 1.1 – Оптическая схема дифракции света на решетке: P – дифракционная решетка, L – линза, \mathcal{E} – экран, d – период решетки, b – ширина щели, a – ширина непрозрачной перемычки.

Рассмотрим характер дифракционной картины, получаемой на экране при нормальном падении на решетку плоской монохроматической волны. Каждая из щелей даёт на экране картину, описываемую кривой, изображённой на рисунке 1.2. Картины от всех щелей придут в одно и то же место экрана.

Независимо от положения щели центральный максимум лежит на оптической оси линзы в точке F_0 и называется максимумом нулевого порядка. В произвольной точке F_φ соберутся все лучи, падающие на линзу под углом дифракции φ (см. рисунок 1.1).

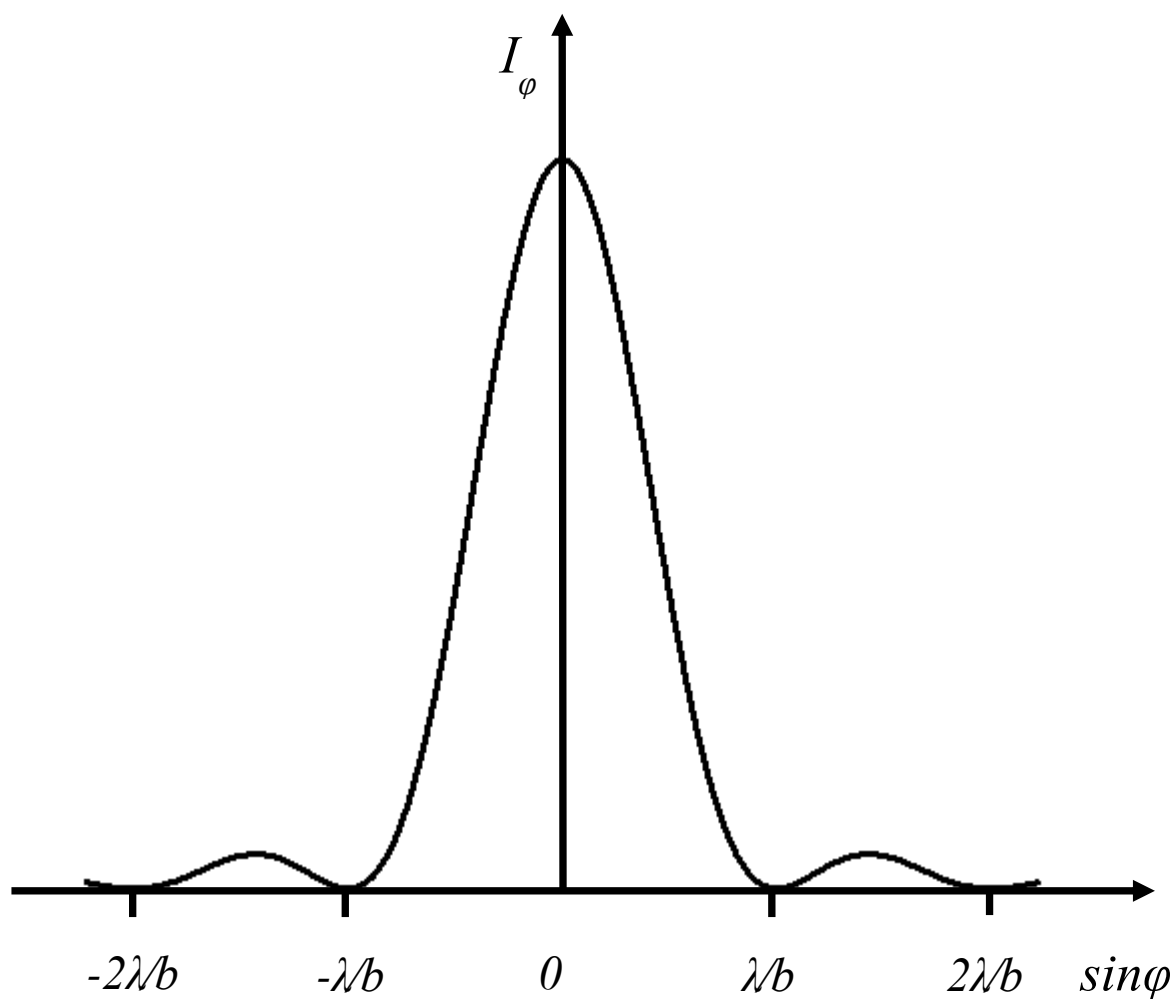


Рисунок 1.2 – Зависимость интенсивности света при дифракции от одной щели от синуса угла дифракции φ

Главные максимумы наблюдаются тогда, когда на длине оптической разности хода между соседними лучами от соседних щелей Δ укладывается чётное число полуволн или целое число волн.

$$EK = \Delta = CE \cdot \sin \phi \quad (1.1)$$

или

$$\Delta = d \cdot \sin \phi \quad (1.2)$$

и

$$d \cdot \sin \phi = \pm n \lambda \quad (1.3)$$

где $n = 0, 1, 2, \dots$, порядок главного максимума.

Максимум нулевого порядка ($n = 0$) только один. Максимумов более высоких порядков будет по два (например, $n = \pm 1$). Таким образом, общее число главных максимумов будет равно $2n + 1$. Для направлений, определяемых условием (1.3), колебания от отдельных щелей взаимно усиливают друг друга, так как приходят в точку F_ϕ в фазе, вследствие чего максимальная амплитуда результирующего колебания

$$A_{\max} = n \cdot A_\phi \quad (1.4)$$

где A_ϕ – амплитуда, создаваемая отдельной щелью в точке F_ϕ ;
 N – общее число щелей.

Интенсивность главных максимумов I_{\max} в N^2 раз больше интенсивности I_ϕ , создаваемой одной щелью в точке F_ϕ .

$$I_{\max} = N^2 \cdot I_\phi \quad (1.5)$$

Амплитуда колебаний от каждой щели обращается в нуль при

$$b \cdot \sin \phi = \pm k \lambda \quad (1.6)$$

где $k = 1, 2, 3, \dots$, порядок главного минимума.

Выражение (1.6) является условием главных минимумов. Если для одной щели будет наблюдаться минимум, то и для совокупности щелей также будет наблюдаться минимум. Кроме главных минимумов, определяемых условием (1.6), в промежутках между соседними главными максимумами имеется $N - 1$ добавочный минимум. Эти минимумы возникают в тех направлениях, для которых колебания от отдельных щелей взаимно поглощают друг друга. Между дополнительными минимумами располагаются слабые вторичные максимумы. Их число в промежутке между соседними главными максимумами равно $N - 2$, а их интенсивность не превышает $1/22$ интенсивности ближайшего главного максимума.

На рисунке 1.3 приведён вид дифракционной картины для $N = 4$ и $d/b=3$.

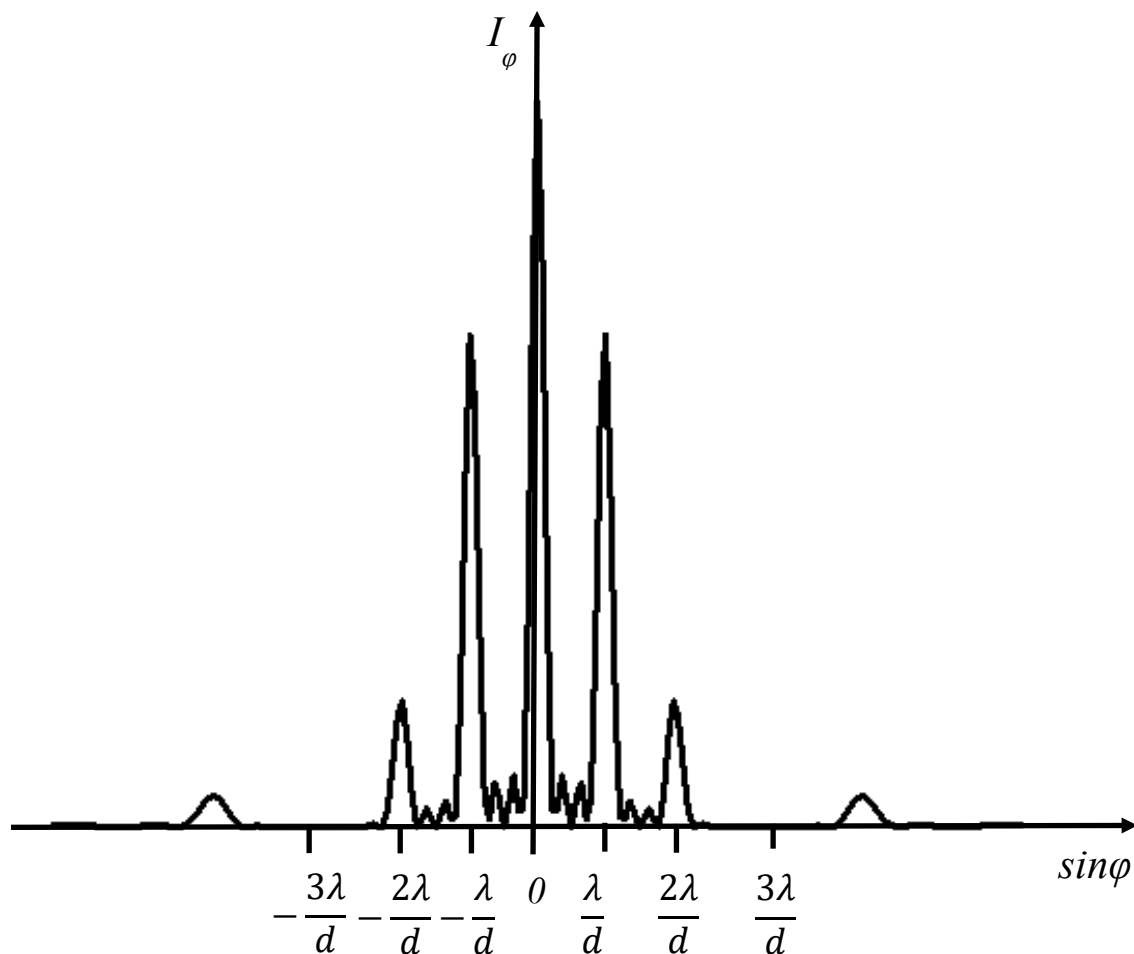


Рисунок 1.3 – Дифракционная картина

Как видно из выражения (1.3), положение главных максимумов зависит от длины волны λ . Поэтому при пропускании через дифракционную решётку белого света, все максимумы, кроме центрального, разложатся в спектр, фиолетовый конец которого обращён к центру дифракционной картины, а красный – наружу. Таким образом, дифракционная решётка является спектральным прибором. С увеличением n (порядка главного максимума) угол дифракции φ так же увеличивается. Это приводит к тому, что наблюдать максимумы больших порядков в белом свете нельзя, так как уже спектры второго и третьего порядков частично перекрываются и дифракционная картина смазывается.

Качество дифракционной картины (интенсивность спектральных линий и их ширина) существенно зависят от количества щелей на решётке – N . С ростом N интенсивность линий, как следует из

формулы (1.5), возрастает, а ширина линий убывает. Качество дифракционной решётки характеризуется разрешающей способностью

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = n \cdot N \quad (1.7)$$

Для повышения разрешающей способности R , согласно формуле (1.7) нужно либо увеличивать число N щелей дифракционной решетки. Если же задано определенное число щелей N разрешающую способность R можно увеличить, переходя к спектрам высших порядков n . Однако, следует учитывать тот факт, что при переходе к спектрам высших порядков уменьшается интенсивность и сокращается область спектра свободная от наложений. Для современных решеток число N доходит до 200 000.

2 ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Дифракция света на прозрачной дифракционной решётке исследуется на экспериментальной установке, изображённой на рисунке 2.1.

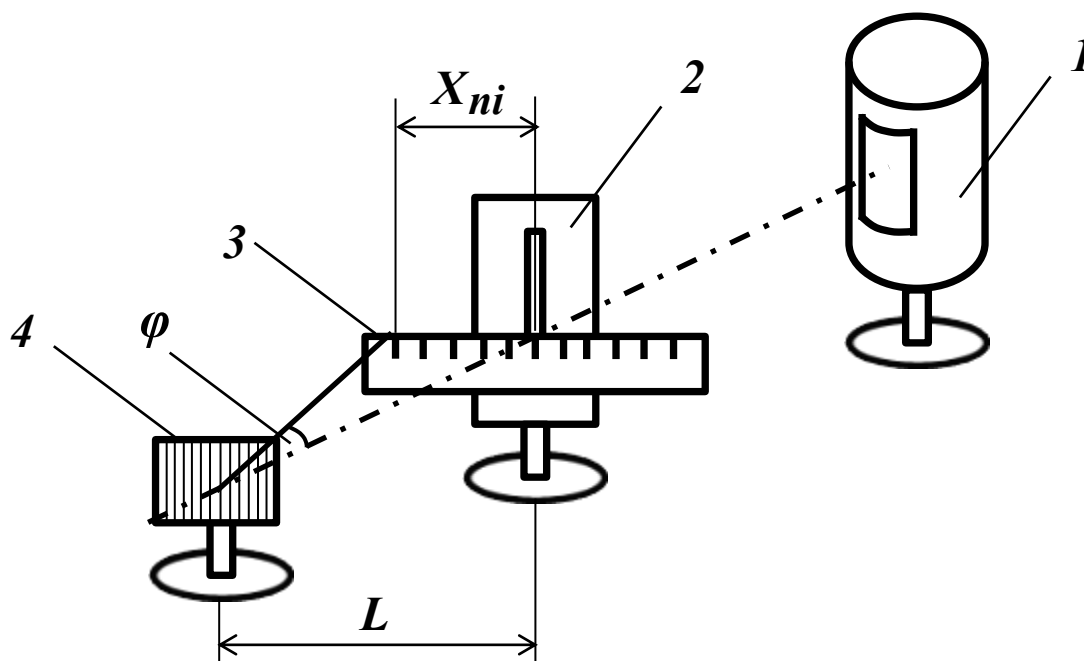


Рисунок 2.1 – Схема экспериментальной установки:

1 – ртутная лампа; 2 – коллиматор; 3 – линейка; 4 – дифракционная решётка.

В качестве источника света используется ртутная лампа (1) с линейчатым спектром излучения. Для получения плоской волны используется коллиматор – узкая щель (2), которая вырезает пучок све-

та с фронтом волны, практически параллельным плоскости дифракционной решётки (4). Дифракционная картина наблюдается визуально на линейке (3) в плоскости коллиматора. Спектр излучения ртутной лампы приведён в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Спектр излучения ртутной лампы

№	Линия (цвет)	λ , нм
1	Фиолетовая 1	1 404,7
2	Фиолетовая 2	407,8
3	Синяя	435,8
4	Голубая	491,6
5	Зелёная	546,1
6	Жёлтая 1	577,0
7	Жёлтая 2	579,1
8	Красная 1	623,4
9	Красная 2	690,7

3. ЗАДАНИЯ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1 Проверить экспериментальную установку, чтобы все приборы были установлены в соответствии с рисунком 2.1. Примечание. Ртутную лампу без стеклянного фильтра не включать!



Рисунок 3.1 – Экспериментальная установка:
 1 – дифракционная решетка; 2 – коллиматор;
 3 – ртутная лампа; 4 – линейка с миллиметровой шкалой

3.2 Добиться чёткой дифракционной картины на линейке в плоскости коллиматора, изменяя ширину щели и расстояния между источником света и коллиматором, коллиматором и дифракционной решёткой.

3.3 Измерить по шкале линейки расстояние X_{ni} от центра щели до наблюдаемых главных максимумов определённого порядка и цвета. Результаты занести в таблицу 3.1 в виде

$$X_{ni} = X(n, \lambda_i), \quad (3.1)$$

где $n = 1, 2, 3, \dots$ порядок главного максимума;

λ_i – длина волны наблюдаемого цвета для определённого порядка дифракционного максимума (длины волн берутся из табл. 2.1).

Таблица 3.1 – Расстояния от центра щели

№	$X(n, \lambda_1)$	$X(n, \lambda_2)$	$X(n, \lambda_3)$
1			
2			
3			
...			
8			

3.4 Определить период дифракционной решётки d , число штрихов на миллиметр и общее число штрихов дифракционной решётки. Вычислить ошибку определения периода дифракционной решётки.

Направления, под которыми наблюдаются максимумы, определяется углом ϕ (см. рисунок 2.1), а

$$\phi = \frac{\arctg X_{ni}}{L}. \quad (4.1)$$

Учитывая, что $X(n, \lambda_i) \ll L$, можно считать $\tg\phi = \sin\phi$. Тогда по известным $X(n, \lambda_i)$ из таблицы 3.1 и L вычисляем синусы углов, под которыми наблюдаются главные максимумы, по формуле

$$\sin \phi_{ni} = \frac{X(n, \lambda_i)}{L}. \quad (4.2)$$

Но с другой стороны, $d \cdot \sin\phi = n \cdot \lambda$. Поэтому для графического определения постоянной дифракционной решётки d запишем в табл. 4.1 произведения порядка главного максимума и соответствующей длины волны, а также соответствующие им значения синусов углов.

Таблица 4.1 – Расчётные данные

$n \cdot \lambda_i$									
$\sin \varphi_{ni}$									

По данным таблицы 4.1, построить график зависимости $\sin \varphi = f(n \cdot \lambda)$, в координатных осях $x = n \cdot \lambda$, $y = \sin \varphi$. Убедиться в линейности этой зависимости, т.е. в справедливости выражения (1.3). Используя метод наименьших квадратов определить коэффициенты уравнения и их погрешность. Период дифракционной решётки d равен $1/a$, где a – угловой коэффициент прямой.

3.5 Определить разрешающую способность данной дифракционной решётки.

4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

4.1 Что называется дифракцией света?

4.2 Сформулируйте условия образования главных максимумов и минимумов интенсивности света в дифракционной решётке.

4.3 На дифракционную решётку падает нормально белый свет. Какой вид имеет дифракционный спектр?

4.4 Какие приборы и инструменты необходимы для выполнения данной лабораторной работы?

4.5 Как определяется синус угла в выражении для главных максимумов?

4.6 Какие измерения Вы должны провести в процессе выполнения лабораторной работы?

4.7 Что называется периодом дифракционной решётки?

4.8 От чего зависит положение главного максимума определённого порядка в дифракционной картине?

4.9 Как изменится интенсивность главных максимумов с увеличением числа щелей в дифракционной решётке при прочих равных условиях?

4.10 Что характеризует разрешающая способность дифракционной решётки?

4.11 Что такое перекрытие спектров n и $n + 1$ порядков в дифракционной картине?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савельев И.В. Курс общей физики. В 3 т. Т. 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика [Электронный ресурс]: учеб. пособие / И. В. Савельев. – СПб.: Лань, 2018. – 500 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/98246>. (дата обращения: 10.04.23)

2. Орловская Л.В. Волновая и квантовая оптика: учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе [Электронный ресурс] / Л.В. Орловская, Е.В. Иванова, А.В. Орловская. – Томск: ТУСУР, 2018. – 127 с. – Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/7694>. (дата обращения: 10.04.23)

3. Элементарный учебник физики: учебное пособие в 3 томах. Т. 3 Колебания и волны. Оптика. Атомная и ядерная физика [Электронный ресурс] / под редакцией Г.С. Ландсберга. – 15-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2021. – 664 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/185693>. (дата обращения: 10.04.23)

4. Зенин, А.А. Общие требования и правила оформления отчета о лабораторной работе по физике: Методические указания [Электронный ресурс] / А.А. Зенин. – Томск: ТУСУР, 2019. – 20 с. – Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/8957>. (дата обращения: 10.04.23)

5. Мухачев, В.А. Оценка погрешностей измерений: Методические указания к лабораторной работе [Электронный ресурс] / В.А. Мухачев. – Томск: ТУСУР, 2012. – 24 с. – Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/1099>. (дата обращения: 10.04.23)