

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра физики и методики преподавания физики

Е.В. Цветкова

САНИТАРНЫЕ НОРМЫ И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ ПРЕПАРАТАМИ

Методические указания

2-е издание, стереотипное

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки, входящим в образовательные области «Математические и естественные науки» и «Инженерное дело, технологии и технические науки»

Оренбург
2019

УДК 539.1:614.8(076.5)

ББК 22.38я7+51.26я7

Ц 27

Рецензент – доцент, кандидат педагогических наук А.В. Дудко.

Цветкова Е.В.

Ц 27 Санитарные нормы и техника безопасности при работе с радиоактивными препаратами: методические указания / Е.В. Цветкова; Оренбургский гос. ун-т. 2-е изд., стереотипное – Оренбург: ОГУ, 2019. – 22 с.

Методические указания содержат требования и необходимый вспомогательный материал для выполнения лабораторной работы по ядерной физике.

Методические указания для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки, входящим в образовательные области "Математические и естественные науки" и "Инженерное дело, технологии и технические науки".

УДК 539.1:614.8(076.5)

ББК 22.38я7+51.26я7

© Цветкова Е.В., 2019

© ОГУ, 2019

Содержание

1	Теоретическое введение.....	4
1.1	Основные типы радиоактивности.....	5
1.1.2	Бетта – распад в свою очередь делится на:.....	6
1.1.3	Гамма –излучение.....	6
1.2	Основной закон радиоактивного распада.....	7
1.3	Влияние ионизирующих излучений на организм человека.....	9
1.4	Дозиметрические величины и единицы их измерения.....	10
1.5	Защита от ионизирующих излучений и правила работы с радиоактивными веществами.....	11
2	Практическая часть	13
	Контрольные вопросы.....	14
	Приложение А Обработка результатов измерения.....	15
	Список использованных источников	21

1 Теоретическое введение

Уран, торий и некоторые другие элементы обладают свойством непрерывно и без каких – либо внешних воздействий (т. е. под влиянием внутренних причин) испускать невидимое излучение, которое подобно рентгеновскому излучению способно проникать сквозь непрозрачные экраны и оказывать фотографическое и ионизационное действия.

Свойство самопроизвольного испускания подобного излучения получило название *радиоактивности*.

Радиоактивность заключается в самопроизвольном (спонтанном) распаде ядер, связанное с излучением, которое они испускают в процессе своего распада.

Такие ядра называют радиоактивными (в отличие от стабильных ядер).

Радиоактивное ядро называют материнским, а ядра, образующиеся в результате распада, - дочерними.

Радиоактивность подразделяют на естественную и искусственную. Первая из них связана с встречающимися в природе радиоактивными элементами, вторая же находится в нерадиоактивных элементах путем облучения их ядерными частицами.

Излучение естественных ядер может состоять из α – частиц (ядер гелия – 4), β – частиц (электронов) и γ – лучей (электромагнитного излучения, аналогичного рентгеновским лучам, с длиной волны от 10^{-8} до $5 \cdot 10^{-12}$ см и обладающего высокой проникающей способностью).

Излучение, испускаемое радиоизотопом, может состоять из одного или более указанных видов. Испускание α – или β – частиц приводит к изменению заряда ядра и, следовательно, химических свойств атома.

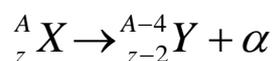
Когда ядро изотопа претерпевает радиоактивный распад, образующееся новое ядро часто оказывается не в низшем из различных энергетическом состоянии (основном состоянии); в таких случаях говорят, что образовавшееся ядро находится в возбужденном состоянии.

Нестабильные ядра претерпевают самопроизвольное радиоактивное превращение, переходя в более устойчивое состояние. Если в ядре имеются избыточные нейтроны, то один (или несколько) из них превращается в протон, испуская при этом β – частицу. Ряд таких процессов приводит к устойчивому ядру. Если ядро является нейтронодефицитным, то один (или несколько) из протонов превращается в нейтрон, и при этом, и при этом из ядра выбрасывается позитрон. Нейтронодефицитное ядро может прийти в устойчивое состояние также испусканием α – частицы, либо захватом орбитального электрона. В некоторых случаях захват электрона может привести в основное состояние дочернего ядра, в других же случаях – в возбужденное состояние, переход из которого в основное состояние сопровождается испусканием γ – излучения.

1.1 Основные типы радиоактивности

Рассмотрим более подробно основные типы радиоактивности.

1.1.1 Альфа – распад. Структурная формула α –распада имеет вид:



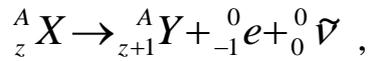
Чаще всего радиоактивный препарат испускает несколько моноэнергетических групп α – частиц. Наиболее интенсивной является группа, обусловленная переходом непосредственно в основное состояние.

Распады, идущие через возбужденные уровни дочернего ядра, сопровождаются испусканием γ –квантов.

Альфа – частица возникает только в момент радиоактивного распада ядра. Покидая ядро, ей приходится преодолевать потенциальный барьер, высота которого превосходит её энергию. Квантовая теория, учитывая волновые свойства α – частицы, "позволяет" ей с определенной вероятностью проникать сквозь такой барьер.

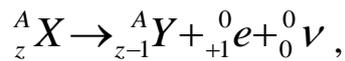
1.1.2 Бетта – распад в свою очередь делится на:

а) электронный:



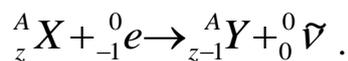
где $\bar{\nu}$ - антинейтрино.

б) позитронный:



где ν - нейтрино.

в) К – захват. Ядро захватывает электрон с ближайшей оболочки.



Итак, β –распад – это самопроизвольный процесс, в котором исходное ядро превращается в другое ядро с тем же массовым числом A , но с зарядовым числом z , отличающимся от исходного на ± 1 .

Общим свойством всех β –спектров является их непрерывность и наличие у каждого спектра предельной кинетической энергии K_{\max} , на которой β –спектр обрывается (более подробно см. в работе № 333).

1.1.3 Гамма –излучение

Этот вид распада заключается в испускании γ –квантов, энергия которых варьируется в пределах от 10 кэВ до 5 МэВ. Необходимо еще раз отметить, что γ –излучение не "существует" само по себе – оно сопровождает α и β –излучения. Существенно, что спектр испускаемых γ – квантов дискретный, т.к. дискретны энергетические уровни самих ядер.

Свободный нуклон испускать γ –квант не может, ибо в противном случае было бы нарушено одновременное выполнение законов сохранения энергии и

импульса. Между тем такой процесс возможен и действительно происходит внутри ядра, поскольку испущенный (или поглощенный) γ –квант может обмениваться импульсом не только с порождающим его нуклоном, но и с остальными нуклонами ядра. Таким образом, в отличие от β –распада, γ –распад – процесс внутриядерный, а не внутринуклонный.

1.2 Основной закон радиоактивного распада

Одинаковые ядра претерпевают распад за различные времена, предсказать которые заранее нельзя.

Поэтому можно считать, что число ядер, распадающихся за малый промежуток времени dt , пропорционально как числу N имеющихся ядер в этот момент, так и dt :

$$-dN = \lambda N dt \quad (1)$$

где λ – постоянная распада – вероятность распада одного ядра в единицу времени.

Постоянная распада характеризует данный радиоактивный элемент и не может быть изменена ни одним из известных физических или химических способов.

Тогда:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

где N_0 – число ядер в момент $t = 0$, N – число нераспавшихся ядер к моменту t .

(2) – основной закон радиоактивного распада. Как видно, число N ещё не распавшихся ядер убывает со временем экспоненциально.

Интенсивность радиоактивного распада характеризуют числом ядер, распадающихся в единицу времени. Из (1) видно, что это величина, равная:

$$\left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N \quad (3)$$

Её называют активностью A препарата. Таким образом, активность:

$$A = \lambda N \quad (4)$$

Активность препарата измеряют в беккерелях (Бк),

1 Бк = 1 расп/с; а также в кюри (Ки), 1 Ки = $3.7 \cdot 10^{10}$ Бк.

Активность в расчете на единицу массы радиоактивного препарата называют удельной активностью.

Наряду с постоянной λ и активностью A процесс радиоактивного распада характеризуют ещё двумя величинами: периодом полураспада T и средним временем жизни τ ядра. Период полураспада T – это время, за которое распадается половина первоначального количества ядер. Оно определяется условием

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (5)$$

тогда:

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (6)$$

Период полураспада для разных радиоактивных изотопов лежит в пределах от малых долей секунды до миллиардов лет.

1.3 Влияние ионизирующих излучений на организм человека

Физическое воздействие ионизирующей радиации любого вида на ткани живого организма заключается, как и в любой другой среде, в процессах возбуждения и ионизации атомов и молекул среды. Возбужденные атомы и ионы обладают высокой химической активностью, поэтому в клетках организма появляются новые химические соединения, чуждые здоровому организму. Под действием ионизирующего излучения разрушаются отдельные сложные молекулы и элементы клеточных структур. Нанесенное лучевое поражение при небольшой дозе облучения живой организм может перенести легко, без каких – либо болезненных симптомов, большие дозы облучения могут привести к серьезному заболеванию и даже к смерти.

Проникающие в ткани организма α , β – частицы и γ – излучение теряют свою энергию, взаимодействуя с атомами, вблизи которых они проходят. В результате этого взаимодействия от атома отрывается электрон, а атом превращается в положительный ион. Этот процесс называется ионизацией. Свободный электрон и ион в течение последующих миллиардных долей секунды участвуют в сложной цепи реакций, в результате которых образуются новые молекулы, в частности такие активные как «Свободные радикалы». Все это ведет к химическому изменению важных в биологическом отношении молекул. Биохимические изменения в организме могут произойти немедленно, а могут только через десятилетия после облучения.

В обычных условиях каждый человек непрерывно подвергается действию ионизирующих излучений в результате космического излучения, излучения радиоактивных элементов находящихся в земле, воздухе, растениях и в самом организме человека. Но суммарная доза такого облучения невелика.

1.4 Дозиметрические величины и единицы их измерения

Количество энергии излучения, поглощенное единицей массы облучаемого тела, называется ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗОЙ и измеряется в системе Си в Грех (Гр). За 1 Гр принимается доза облучения, при которой облучаемому веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения 1 Дж.

Однако эта величина не учитывает того, что при одинаковой поглощенной дозе α – излучение гораздо опаснее β – или γ – излучения. Если принять это за внимание, то дозу следует умножать на коэффициент, отражающий способность излучения данного вида повреждать ткани организма: α – излучение при этом в 20 раз опаснее других видов излучения. Пересчитанную таким образом дозу называют ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДОЗОЙ. Ее измеряют в Зивертах (Зв). Один Зиверт соответствует поглощенной дозе в 1 Дж/кг для рентгеновского, β – или γ – излучений. См. таблицу 1.

Таблица 1

Физическая величина	Единицы измерения	
	Система Си	Внесистемная единица
1	2	3
Активность препарата	Беккерель 1 Бк=1 распад/с	Кюри 1 Ки=3.7·10 ¹⁰ распад/с
Поглощенная доза	Грей 1 Гр=1 Дж/кг	Рад 1 рад=0.01 Зв
Эквивалентная доза	Зиверт 1 Зв=1 Дж/кг (для рентгеновского, β – и γ – излучений)	Бер 1 Бэр=0.01 Зв

Приращение дозы в единицу времени называется МОЩНОСТЬЮ ДОЗЫ. Естественный фон ионизирующего излучения (космические лучи, радиоактивность воды, почвы, воздуха и т.д.) создает в среднем мощность эквивалентной дозы $1,25 \cdot 10^{-3}$ Зв в год. Эквивалентная доза больше 4 Зв,

полученная в короткое время может привести к смертельному исходу. Однако такая же эквивалентная доза, полученная человеком в течение жизни равномерно, не приводит к изменению его здоровья. При профессиональном облучении считается допустимой эквивалентная доза в $5 \cdot 10^{-2}$ Зв в год в течение 50 лет.

1.5 Защита от ионизирующих излучений и правила работы с радиоактивными веществами

Защита от α и β – излучений осуществляется просто. Заряженные частицы при движении в среде тратят свою энергию на ионизацию молекул среды и, пройдя расстояние $\bar{\lambda}$, теряют свою энергию. При этом α – частица, захватив 2 электрона, превращается в атом гелия. Расстояние $\bar{\lambda}$ называется средней длиной пробега. Средняя длина пробега α – частиц даже в воздухе $\approx 1 - 10$ см, следовательно, одежда полностью защищает от α – излучения.

α – излучение опасно лишь при попадании α – активных изотопов внутрь организма, или при непосредственном контакте радиоактивного вещества с поверхностью тела.

β – частицы также обладают относительно малой проникающей способностью, и при работе с β – источниками, помещенными в закрытых стеклянных ампулах, можно не применять дополнительных мер защиты. Толщина стенок ампулы достаточна для поглощения β – излучения. Однако над помнить, что β – излучение, поглощаясь поверхностными слоями тканей, оказывает разрушительное действие на кожу и, особенно, на слизистые оболочки и роговицу глаз. Лица, работающие с открытыми β – препаратами, обязательно должны пользоваться защитными очками.

γ – излучение (а также и нейтронное излучение) обладает большой проникающей способностью, следовательно, это излучение представляет наибольшую опасность для человека.

В науке и технике широко применяется γ – излучение, следовательно, определение безопасных условий работы с γ – излучателями представляет

актуальную задачу. При защите экраном от γ – излучения, экраны изготавливаются из элементов с большим порядковым номером (обычно, свинец, железо), т. к. чем больше Z , тем больше коэффициент поглощения γ – излучения. Применяется также защита временем при эпизодической работе с γ – излучателем. Она основана на том, что доза облучения линейно зависит от времени. Защита расстоянием обеспечивается применением манипуляторов, захватов и других приспособлений, которые позволяют работать с γ – излучателем, находящимся на большом расстоянии от препарата.

В учебной лаборатории по физике используют источники радиоактивных излучений с малой активностью. Хранятся они в свинцовых домиках или контейнерах и выдаются лаборантом или преподавателем.

При работе с радиоактивными источниками следует всегда помнить, что доза облучения $\approx t/r^2$, где t – время работы с источником излучения, а r – расстояние до источника.

Отсюда следуют вполне очевидные рекомендации: брать источник излучения только на время измерения его активности, после окончания измерения препарат сдается лаборанту; помещать препарат нужно только в определенное для него место в установке. Установки для лабораторных работ по ядерной физике состоят обычно из следующих частей: счетчик заряженных частиц в свинцовом домике, высоковольтный выпрямитель для подачи на электроды счетчика высокого напряжения, пересчетное устройство, регистрирующее сигналы импульсы от счетчика. При подаче высокого напряжения на счетчик строго соблюдать правила, указанные в инструкции к соответствующей лабораторной работе!

2 Практическая часть

Цель работы:

- 1 Познакомиться с санитарными нормами и техникой безопасности при работе с радиоактивными препаратами.
- 2 Познакомиться с методами обработки результатов при выполнении работ по ядерной физике.
- 3 Определить скорость счета для разных временных интервалов и оценить погрешности измерений.

Эксперимент выполняется на установке к лабораторной работе № 334 (см. порядок включения).

После подготовки установки к работе необходимо измерить количество импульсов, зарегистрированных счетчиком за различные промежутки времени. Для этого нужно капсулу с препаратом Co^{60} поставить на столик вблизи фото умножителя, подать на вход необходимое напряжение (оно указано на панели высоковольтного выпрямителя) и, нажав кнопку «пуск», определить количество импульсов за 1, 3, 10, 30, 100, 300 секунд.

Полученные данные занести в таблицу 2.

Таблица 2

№ п.п.	Время измерения t , с	Кол-во импульсов N , имп	Скорость счета $n = \frac{N}{t}$, имп/с	Среднее квадратичное отклонение $\sigma = \sqrt{\frac{n}{t}} = \frac{\sqrt{N}}{t}$	Относительная погрешность $\delta = \frac{\sigma}{N} \cdot 100\%$	Доверит. интервал $n = \bar{n} \pm \sigma$
--------	-------------------------	----------------------------	--	--	---	--

1	1					
2	3					
3	10					
4	30					
5	100					
6	300					

Заполнить таблицу и сделать вывод.

Контрольные вопросы

- 1 Что такое радиоактивность?
- 2 Рассказать о видах радиоактивного распада.
- 3 Свойства радиоактивных излучений.
- 4 Как действует радиоактивное излучение на человека?
- 5 Что такое активность препарата?
- 6 Что называют поглощенной дозой? Эквивалентной дозой?
- 7 Что такое мощность дозы?
- 8 Как осуществляется защита от ионизирующих излучений?
- 9 В каких случаях при расчете погрешности эксперимента следует пользоваться статистикой Пуассона?

Приложение А

Обработка результатов измерения

Одна из главных задач при выполнении лабораторных работ – это оценка точности и надежности результатов.

При измерении макроскопических величин (массы тела, длины тела и т.д.) сама измеряемая величина имеет некоторое вполне определенное значение, в то время как результаты измерений флуктуируют (имеют отклонения от истинного значения) из-за несовершенства измерительных приборов, несовершенства наших органов чувств и т.д. Численные значения результатов измерений обычно распределены по некоторому вероятностному закону, чаще всего по закону Гаусса.

Иначе обстоит дело с измерениями в ядерной физике. В микромире флуктуации измеряемых величин связаны с самой сутью явлений и не могут быть сделаны как угодно малыми. Например, при измерении числа актов радиоактивного распада, происшедшего за некоторое время, флуктуирует сама измеряемая величина, а измерительный прибор (счетчик частиц) в первом приближении можно считать идеальным. Измеряемая величина является не непрерывной, а дискретной, она может принимать только целые, положительные значения. Поэтому наиболее характерным законом распределения случайной величины в этом случае является закон Пуассона. Статистика в микромире нужна не только для обработки результатов измерения, но и для изучения самой природы явлений.

Ошибки, связанные с методикой измерения, называются систематическими. Например, счетчики ядерных излучений и пересчетные устройства имеют так называемое мертвое время. Если в это время в счетчик попадает заряженная частица, то она не регистрируется. Эти просчеты, хотя и объясняются статистическим характером явлений, но приводят к систематической ошибке, зависящей от параметров счетного устройства.

Пусть счетчик облучается потоком частиц, независимо следующих друг за другом. Попадание той или иной частицы в счетчик является случайным событием. Поэтому в течение равных интервалов времени через счетчик пролетает разное количество частиц. Если интенсивность источника не зависит от времени, то среднее число частиц N_0 , попадающих в счетчик в определенное время, полностью определяется распределением Пуассона. Вероятность P_N наблюдения N актов имеет следующий вид:

$$P_N = \frac{N_0^N}{N!} e^{-N_0} \quad (\text{A.1})$$

Мерой отклонения случайной величины N от ее среднего значения N_0 является дисперсия D . В случае распределения Пуассона $D \equiv \sigma^2$. Средней квадратичной погрешностью измерения называется положительное значение квадратного корня из дисперсии $\sigma \equiv \sqrt{D}$, для распределения Пуассона $\sigma \equiv \sqrt{N_0}$. Это означает, что результаты отдельных измерений с вероятностью близкой к 2/3 попадут в интервал $N_0 \pm \sqrt{N_0}$. Если доверительная вероятность 2/3 не удовлетворяет экспериментатора, то приходится с увеличением доверительной вероятности увеличивать интервал, так, например, для доверительной вероятности $\alpha = 0.997$ приходится брать интервал $N_0 \pm 3\sqrt{N_0}$. Из вышеприведенного уравнения следует, что с увеличением N_0 растет σ . Однако относительная погрешность (δ) измерения уменьшается с ростом N_0 .

$$\delta = \frac{\sigma}{N_0} = \frac{\sqrt{N_0}}{N_0} = \frac{1}{\sqrt{N_0}} \quad (\text{A.2})$$

отсюда видно, что чем меньшую погрешность мы хотим получить, тем больше число частиц N_0 должно зарегистрировать пересчетное устройство.

При работе со счетчиками всегда приходится исключать фон прибора, т.е. число импульсов, которое счетчик регистрирует без исследуемого радиоактивного источника. Фон создают посторонние излучатели (космическое излучение, например). Скорость счета от препарата, т.е. измеряемое число импульсов в единицу времени, находится как разность 2 – х измерений: скорость счета препарата плюс фон $\frac{N_1}{t_1}$ и скорость счета фона $\frac{N_\phi}{t_\phi}$ без излучателя:

$$n = \frac{N_1}{t_1} - \frac{N_\phi}{t_\phi} = n_1 - n_\phi \quad (\text{A.3})$$

Среднее квадратичное отклонение в этом случае находится по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{n1}^2 - \sigma_{n\phi}^2} \approx \sqrt{\frac{n_1}{t} - \frac{n_\phi}{t_\phi}} \quad (\text{A.4})$$

Предполагается, что время измеряется с точностью много большей, чем число импульсов, поэтому величина t не имеет дисперсии. Очевидно, при увеличении времени измерения погрешность в определении скорости счета может быть сделана сколь угодно малой.

Часто в лабораторной работе необходимо найти какую – либо величину по графику зависимости $y = y(x)$. Обработка графиков позволяет найти вид функции $y = f(x)$ и определить ее параметры, что иногда и является целью эксперимента. При построении графиков необходимо соблюдать определенные правила:

1. График выполняется на миллиметровой бумаге, по оси абсцисс откладывается независимая переменная (аргумент), а по оси ординат – функция, за единицу масштаба выбирают отрезки, кратные 5, 10, 20 и т. д. мм.

2. Точки на графике наносятся точно и четко, погрешности указывают обычно для одной величины функции в виде отрезков длиной в доверительный интервал, причем делать это нужно не всегда, а только когда это требуется в лабораторной работе.

3. Не следует соединять точки на графике ломаной линией, т. к. обычно физические характеристики соответствуют гладким, плавно меняющимся функциям. Точки графика должны располагаться примерно поровну по обеим сторонам кривой. Кривая не должна заслонять экспериментальных точек, поскольку именно они являются результатом опыта, а кривая – лишь толкование результата.

Если между измеряемыми величинами x_i и y_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) предполагается существование линейной зависимости $y = kx + b$ и требуется определить k и b , то сделать это можно разными способами.

Нанести экспоненциальные точки на график и провести прямую на глаз, как указано в пункте 3. Угловой коэффициент « k » определяется из графика как тангенс угла наклона прямой:

$$K = \frac{y_i - y_m}{x_i - x_m} \quad (\text{A.5})$$

Точки, соответствующие значениям $y_i = f(x_i)$ и $y_m = f(x_m)$, лежат на прямой. Погрешность находим из формулы:

$$\Delta K = \frac{\Delta y}{x_i - x_m} \quad (\text{A.6})$$

где Δy - погрешность в определении y .

2. Для более точного определения y можно воспользоваться методом парных точек. Пронумеруем экспериментальные точки, возьмем 2 – е из них, например 1 и 4 и проведем через них прямую, которая имеет $K_1 = \frac{y_4 - y_1}{x_4 - x_1}$.

Затем возьмем другую пару точек 2 и 5, например, и определим ее угловой коэффициент, и так далее. Затем находим среднее значение полученного набора значений:

$$K = \frac{K_1 + K_2 + \dots + K_n}{n} \quad (\text{A.7})$$

ΔK определяется как погрешность среднего значения серии измерений, т. е.

$$\Delta K = \frac{\Delta K_1 + \Delta K_2 + \dots + \Delta K_n}{n} \quad (\text{A.8})$$

где $\Delta K_1 = |K - K_1|$ и т. д.

На графике вспомогательные прямые можно не проводить, а провести только наилучшую прямую с угловым коэффициентом K . Для нахождения « b » этой прямой, т. е. отрезка, который отсекает прямая на оси y , нужно учесть, что

наилучшая прямая должна проходить через точку с координатами $x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$,

$y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$. Следовательно, $b = y - Kx$. Погрешность в определении b

определяется по формуле

$$\Delta b = \sqrt{(\Delta y)^2 + (x \Delta k)^2} \quad (\text{A.9})$$

Измеренные значения x_i обычно считаются точными.

Если через область экспериментальных точек на графике можно провести множество прямых с различными углами наклона, то из этого множества рекомендуется провести 3 прямых, не противоречащих экспериментальным данным: с максимальным, с минимальным наклоном и среднюю. Каждой из них соответствует свой угол наклона.

Список использованных источников

1. Летуа, С.Н. Обработка результатов эксперимента: методические указания к лабораторным работам / С.Н. Летуа, А.А. Чакак. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005. - 43 с.

2. Самостоятельная работа с учебным текстом по физике [Электронный ресурс] : практикум: учебное пособие для студентов, обучающихся по программам высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника / М. А. Кучеренко; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т", Каф. общ. физики. - Электрон. текстовые дан. (1 файл: 1.37 Мб). - Оренбург : ОГУ, 2016. - 127 с. - Загл. с тит. экрана. -Adobe Acrobat Reader 6.0 - ISBN 978-5-7410-1444-8.http://artlib.osu.ru/web/books/metod_all/10216_20160505.pdf.

3. Физика в схемах и таблицах [Текст] : [эффективная подготовка к ЕГЭ: учебное пособие для старшего школьного возраста] / К. Э. Немченко. - Москва : Эксмо, 2016. - 208 с. : ил. - (Экзамен без проблем).- (Наглядно и доступно). - Прил.: с. 163-198. - ISBN 978-5-699-50756-6.

4. Анализ и визуализация данных лабораторного эксперимента по физике [Электронный ресурс] : учебное пособие для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки, входящих в состав укрупненных групп направлений подготовки 15.00.00 Машиностроение, 24.00.00 Авиационная и ракетно-космическая техника, 27.00.00 Управление в технических системах / А. А. Огерчук, Т. И. Пискарева, И. Н. Анисина; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Электрон. текстовые дан. (1 файл: 3.55 Мб). - Оренбург : ОГУ, 2018. - 119 с. - Загл. с тит. экрана. -Adobe Acrobat Reader 6.0 - ISBN978-5-7410-2098-2..-№гос.регистрации 0321802830.http://artlib.osu.ru/web/books/metod_all/75619_20180629.pdf.

5. Общая физика: лабораторные задачи [Текст]: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по инженерно-техническим и естественнонаучным направлениям / А. В. Зотеев, В. Б. Зайцев, С. Д. Алекперов.- 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Юрайт, 2018. - 252 с. : ил. - (Бакалавр. Академический курс). - На обл. и тит. л.: Книга доступна в электронной библиотечной системе biblio-online.ru. - Прил.: с. 225-248. - Библиогр.: с. 249-251. - ISBN 978-5-534-04283-2.