

Лабораторная работа № 101а

Измерение естественного фона радиации

Краткая теория

Естественной радиоактивностью называется способность некоторых ядер самопроизвольно превращаться в другие ядра с испусканием некоторых видов излучений. Эти виды в процессе изучения явления были названы: α , β , γ -излучением.

Впоследствии было показано, что α -излучение представляет собой поток ядер гелия (${}^4_2\text{He}$), т.е. поток частиц, имеющих заряд $+2e$ и массу $8m_e \cdot 10^3$, β -излучение — поток электронов или позитронов, а γ -излучение это коротковолновое ($\lambda < 10^{-12}\text{м}$) электромагнитное излучение, обладающее высокой проникающей способностью. В силу коротковолновой природы γ -излучение слабо проявляет волновые свойства. Здесь на первый план выступают корпускулярные свойства и поэтому γ -излучение рассматривают как поток частиц — γ -квантов. При распаде различных ядер γ -кванты могут иметь энергию от 10 кэВ до 5 МэВ ($1\text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ Дж}$). Проходя через вещество, γ -кванты могут взаимодействовать как с электронными оболочками атомов, так и с ядрами. Обладая нулевой массой покоя, γ -кванты не могут замедляться, а могут только рассеиваться. Основными процессами взаимодействия γ -излучения с веществом являются комптоновское рассеяние и образование электрон-позитронных пар. При комптоновском рассеянии γ -кванты передают часть своей энергии электронам. Испущенные (освобожденные) при этих процессах электроны, обладая достаточно высокой энергией, тоже могут служить ионизирующим фактором, причем их энергии может оказаться достаточно для ионизации не одного, а нескольких атомов.

Воздействие γ -излучения на вещество характеризуется дозой ионизирующего излучения. Различаются:

а) поглощенная доза излучения — физическая величина, равная отношению поглощенной энергии излучения к массе облучаемого вещества. Единица измерения грей (Гр), $1\text{ Гр} = 1\text{ Дж/кг}$.

б) экспозиционная (полевая эквивалентная) доза излучения — физическая величина, равная, равная отношению суммы электрических зарядов всех ионов одного знака, созданных электронами, освобожденными в облученном воздухе (при условии полного использования ионизирующей способности электронов) к массе этого воздуха. Единицей измерения экспозиционной дозы излучения является Кл/кг. внесистемной единицей является рентген ($1\text{ Р} = 2,56 \cdot 10^{-4}\text{ Кл/кг}$).

в) биологическая доза — величина, определяющая воздействие излучения на организм. Единица измерения биологической дозы — биологический эквива-

лент рентгена (бэр) .

1 бэр – доза любого вида ионизирующего излучения, производящая такое же биологическое действие как и доза рентгеновского или γ -излучения в 1 Р

(1 бэр = 10^{-2} Дж/кг)

В данной работе проводится измерение мощности экспозиционной (полевой эквивалентной) дозы γ -излучения. Мощность дозы излучения – физическая величина равная отношению дозы излучения к времени облучения. Мощность экспозиционной дозы излучения измеряется в Р/ч или чаще в дольных единицах мкР/ч ($1 \text{ мкР/ч} = 10^{-6} \text{ Р/ч}$).

В данной работе используется прибор комбинированный для измерения ионизирующих излучений РКСБ-104, предназначенный для контроля радиационной обстановки на местности и в быту. Прибор выполняет функции дозиметра и радиометра и обеспечивает возможность измерения:

- мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения;
- плотности потока бета- излучения с поверхности;
- удельной активности радионуклида цезий-137 в веществах.

Взаимодействие ионизирующего излучения с измерительным прибором носят стохастический (случайный) характер, поэтому при малых значениях мощности дозы (на уровне естественного фона от 5 до 60 мкР/ч) может наблюдаться значительный разброс в показаниях прибора.

Систематическая погрешность прибора составляет $\varepsilon_{\text{сист}} = 1 \text{ мкР/ч}$.

Порядок работы.

1. Перед началом работы получите прибор комбинированный для измерения ионизирующих излучений РКСБ-104.

2. Переведите левый тумблер в верхнее положение, а правый верхний тумблер в положение «РАБ».

3. Включите прибор, для этого правый нижний тумблер переведите в положение «ВКЛ», тогда прибор издаст короткий звуковой сигнал, а на табло появится 0000. Если после включения прибор издает постоянный звуковой сигнал, то необходимо установить новый элемент питания. Через 27-28 с короткий звуковой сигнал известит об окончании измерения мощности дозы излучения D в лаборатории. Цифры на табло - величина D , измеренная в мкР/ч. Пример: на табло 0012, значит $D = 12 \text{ мкР/ч}$.

4. Проведите 3 серии измерений из 3, 10 и 20 отсчетов согласно п. 3. Результаты измерений занесите в таблицу I.

Таблица I

№ измер.	D_i	\bar{D}	$(D_i - \bar{D})$	$(D_i - \bar{D})^2$	$m_{\bar{D}}$	$\varepsilon_{\text{сист}}$	$\varepsilon_{\text{случ}}$	$\varepsilon_{\bar{D}}$	η
	мкР/ч	мкР/ч	мкР/ч	(мкР/ч) ²	мкР/ч	мкР/ч	мкР/ч	мкР/ч	%
1									
2									
3									
1									
2									
...									
10									
1									
2									
...									
20									

Обработка результатов измерений

В данной работе мы будем проводить оценку случайных погрешностей, которые носят вероятностный характер. Случайными называются события, о появлении которых нельзя дать точного предсказания. Назовем появление интересующего нас события благоприятным, а появление другого – неблагоприятным. Если возможно появление только двух типов событий, то вероятностью называется отношение числа появления всех благоприятных событий (n) к общему числу всех происшедших событий, как благоприятных (n), так и неблагоприятных (m), если общее число событий является достаточно большим, т.е.

$$P(n) = \frac{n}{n + m}.$$

Рассмотрим классический пример с бросанием монеты. При бросании монеты могут произойти только два типа события: выпадает орел или решка. Пусть благоприятным событием будет выпадение решки, тогда вероятность этого выпадения будет равняться отношению числа выпадений решки к общему числу бросаний. Опыт показывает, что при большом числе бросаний орел и решка выпадает одинаковое число раз, следовательно вероятность выпадения решки равна $\frac{1}{2}$ (как впрочем и орла).

Для того чтобы оценить значение случайной величины необходимо повторить ее измерение несколько раз. Допустим, что мы произвели N равноточных (сделанных одним методом и с одинаковой степенью тщательности) измерений. Случайный характер измеряемой величины приведет к тому, что результаты равноточных измерений окажутся разными. Более того, средние арифметические значения, рассчитанные по данным разных серий, также обычно не совпадают друг с другом. Понятно, что чем длиннее серия, тем более достовер-

ную информацию об измеряемой физической величине дает среднее арифметическое. Поэтому под *истинным значением случайной величины понимают предел, к которому стремится среднее арифметическое значение при стремлении числа опытов N в серии к бесконечности.*

Определить значение случайной величины — значит найти среднее арифметическое для конкретной серии измерений и оценить — на сколько это среднее арифметическое может отличаться от истинного значения. Здесь это делается методом Стьюдента.

1. Находим среднее арифметическое из N измерений:

$$\bar{D} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N D_i$$

2. Находим среднее квадратичное отклонение среднего арифметического:

$$m_{\bar{D}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (D_i - \bar{D})^2}{N(N-1)}}$$

3. Задаем доверительную вероятность или коэффициент надежности β , то есть вероятность того, что истинное значение измеряемой величины попадает в некоторый интервал, рассчитанный по результатам данной серии измерений, который называется доверительным интервалом. Зная N и β , находим коэффициент Стьюдента t (по таблице) и вычисляем полуширину доверительного интервала

$$\varepsilon_{cl} = t m_{\bar{D}},$$

которая в обе стороны откладывается от измеренного среднего значения.

Таким образом, с вероятностью β истинное значение попадает в доверительный интервал с границами $\bar{D} - \varepsilon_{cl}, \bar{D} + \varepsilon_{cl}$. Поэтому *полуширина доверительного интервала* показывает — *на сколько* при заданной вероятности *истинное значение* может отличаться от *измеренного среднего значения*, то есть является *абсолютной случайной погрешностью*.

В данной работе рекомендуется задать $\beta = 0,95$.

При $\beta = 0,95$ для $N = 3$ — $t = 4,30$,

для $N = 10$ — $t = 2,26$,

для $N = 20$ — $t = 2,09$.

Полезно помнить, что при достаточно большом N ($N \geq 30$)

для $\beta = 0,68$ величина $\varepsilon_{cl} \approx m_{\bar{D}}$, т.е. $t \approx 1$;

для $\beta = 0,95$ — $\varepsilon_{cl} \approx 2m_{\bar{D}}$, т.е. $t \approx 2$;

для $\beta = 0,997$ — $\varepsilon_{cl} \approx 3m_{\bar{D}}$, т.е. $t \approx 3$.

4. Сравните ε_{cl} и $\varepsilon_{сисг}$. Если одна из этих погрешностей превышает другую более чем в два раза, то в качестве абсолютной погрешности возьмите большую. В общем случае *абсолютная погрешность рассчитывается по формуле:*

$$\varepsilon_{\bar{D}} = \sqrt{\varepsilon_{cl}^2 + \varepsilon_{сисг}^2}$$

5. Рассчитайте *относительную погрешность* измерений:

$$\eta_D = \frac{\varepsilon_{\bar{D}}}{\bar{D}} 100\%$$

Относительная погрешность указывает, сколько процентов составляет абсолютная погрешность от среднего арифметического значения измеряемой величины.

6. Для каждой из трех проведенных серий измерений результат представьте в виде:

$$D = (\bar{D} \pm \varepsilon_{\bar{D}}) \text{ мкР/ч}$$

Проделайте этот комплекс обработки измерений для каждой серии и заполните графы таблицы I для $m_{\bar{D}}$, $\varepsilon_{\text{сист}}$, $\varepsilon_{\text{сл}}$, η . Обратите внимание как изменяется $m_{\bar{D}}$ в зависимости от числа измерений, как ведет себя коэффициент Стьюдента при изменении числа измерений N и коэффициента надежности β

Контрольные вопросы

1. Что такое доверительная вероятность (коэффициент надежности) ? Каков ее смысл?
2. Что такое доверительный интервал ? Каков его смысл?
3. Как изменяется среднее квадратичное отклонение среднего арифметического при увеличении числа измерений?
4. Как изменяется коэффициент Стьюдента при увеличении коэффициента надежности? Почему?
5. Что такое абсолютная погрешность, относительная погрешность?
6. Как рассчитать абсолютную погрешность прямых измерений при наличии систематической и случайной погрешностей?

Литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики, т. 3, -М.: Наука, все издания.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики, т. 3, -М.: Наука, все издания.
3. Трофимова Т.И. Курс физики, -М.: Высшая школа, все издания.