# ФИЗИКА (Общая физика)

*Вячеслав Георгиевич ЕГОРОВ*
*(egorov@nusun.jinr.ru)*

2 семестра

1. **Физические основы механики**

   кинематика, динамика, понятие о работе и энергии, законы сохранения, силы тяготения, движение твердого тела и жидкости, основные положения СТО

2. **Молекулярная физика**

   идеальный и реальный газы, распределения Максвелла и Больцмана, основы термодинамики, циклические процессы, явление переноса, молекулярные явления в жидкостях и твердых телах

3. **Колебания и волны**

   гармонический осциллятор, затухающие и вынужденные колебания, гармоники, гармонический анализ, волновые явления, принцип Гюйгенса, интерференция, дифракция, акустические явления, фононы

4. **Электричество и магнетизм**

   электростатика, диэлектрики, законы постоянного тока, термоэлектрические явления, ток в электролитах и газах, магнитное поле тока, отклонение заряженных частиц в полях, индукция, электромагнитные колебания и волны

5. **Оптика**

   основные свойства света, волновая оптика (поляризация, интерференция и дифракция), прохождение света через анизотропные и движущиеся вещества, голография, термодинамика излучения (световой поток, черное тело), лучевая оптика, фотоны

6. **Атомная физика**

   строение атомов и молекул, ионизация и диссоциация, боровские орбиты, оптические переходы, правила отбора, спектроскопия, лазеры, лазерная спектроскопия, характеристическое рентгеновское излучение, рентгено-флуоресцентный анализ, масс-спектрометрия

7. **Ядерная физика**

   альфа-, бета-, гамма-процессы, ядерные реакции, взаимодействие излучений с веществом, детекторы ядерных излучений, ядерные методы исследования материалов ("меченые атомы", нейтроно-активационный анализ, ядерный магнитный резонанс)

## Список литературы


[1] С.Э.Фриш и А.В.Тиморева, **Курс общей физики**, 3 тома. *(ГУ)*
I том: Физические основы механики. Молекулярная физика. Колебания и волны.
II том: Электрические и электромагнитные явления.
III том: Оптика. Атомная физика.

[2] И.Е.Иродов, **Общая физика**. 5 томов *(без нумерации. МИФИ.)*
*Механика. Основные законы.*
*Физика макросистем. Основные законы.*
*Волновые процессы. Основные законы.*
*Электромагнетизм. Основные законы.*
*Квантовая физика. Основные законы.*

[3] И.В.Савельев, **Курс физики**. *(3 тома. МИФИ.)*
I том: Механика. Молекулярная физика.
II том: Электричество. Колебания и волны. Волновая оптика.
III том: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Ядро и частицы.

[4] Д.В.Сивухин, **Курс общей физики**. *(5 томов. МФТИ, Физфак СПбГУ.)*
I том: Механика.
II том: Термодинамика и молекулярная физика.
III том: Электричество.
IV том: Оптика.
V том: Атомная и ядерная физика.

[5] С.Г.Калашников, **Электричество**.

[6] И.Е.Тамм, **Основы теории электричества**.

[7] Н.И.Калитеевский, **Волновая оптика**.

[8] Э.В.Шпольский, **Атомная физика**.

[9] М.Борн, **Атомная физика**.

[10] К.Н.Мухин, **Экспериментальная ядерная физика**. *(2 тома).*

# Ошибки измерений

Абсолютные ($X = 10 \pm 1$) и относительные ($\Delta X/X = 10\%$)

Симметричные ($X = 10 \pm 1$) и асимметричные ($X = 10^{+2}_{-1}$)

Статистические (уменьшаются с ростом числа измерений) и

систематические (зависят от метода измерений)

Написание: 0.01234±0.00050 или 0.01234(50) или 0.01234$_{50}$

Меряем 5 раз ширину стола: 1000, 1001, 999, 1000, 1001 мм.

Среднее значение:

$$\overline{x} = \frac{1000 + 1001 + 999 + 1000 + 1001}{5} = 1000.2$$

Дисперсия (разброс):

$$\sigma \simeq \sqrt{\overline{(x_i - \overline{x})^2}}$$

$$(-0.2)^2 + (0.8)^2 + (-1.2)^2 + (-0.2)^2 + (0.8)^2 = 2.80$$

$$\sigma \simeq \sqrt{(2.80/5)} = \sqrt{0.56} \simeq 0.75$$

$$X = 1000.20 \pm 0.75 \;\; (67\% CL)$$

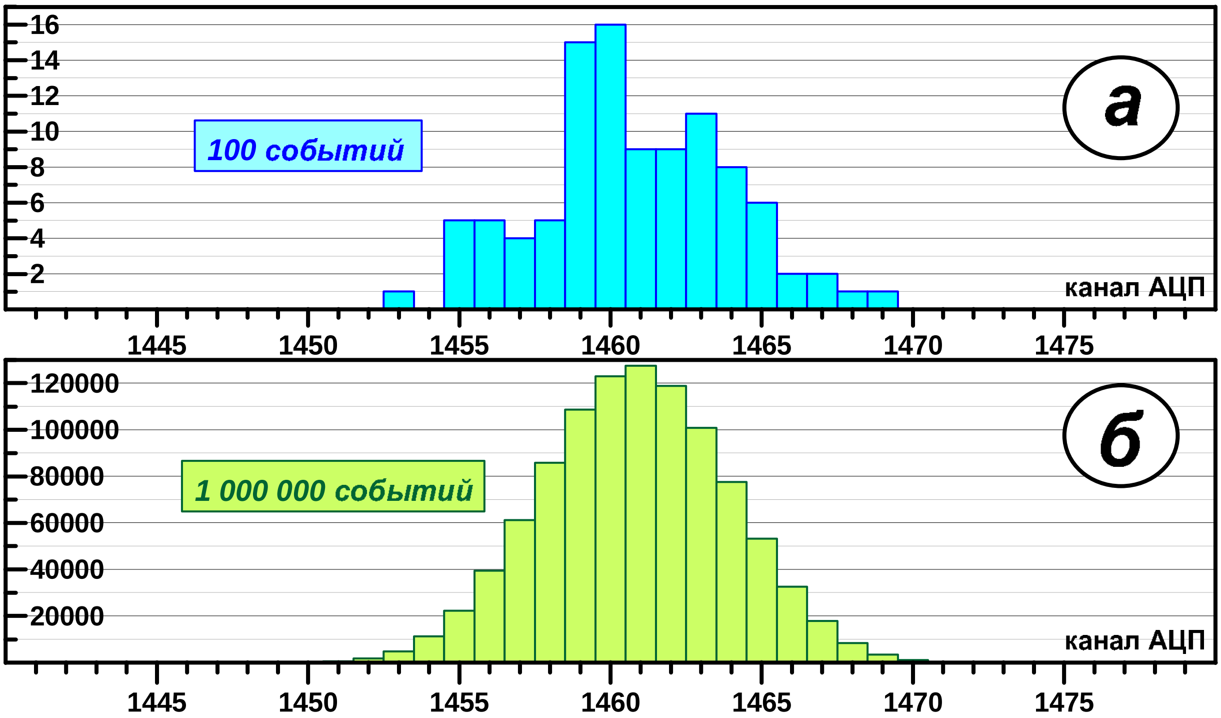
Смысл дисперсии: с вероятностью 67% каждое следующее измерение будет попадать в диапазон от 999.45 до 1000.95. Можно показать, что при большой статистике

$$X = \overline{x} \pm 2\sigma \;\; (95\% CL) \qquad X = \overline{x} \pm 3\sigma \;\; (99.7\% CL)$$

Если измерения имеют разную погрешность: 1000$\pm 10$, 1001$\pm 1$, 999$\pm 1$, 1000$\pm 1$ и 1001.0$\pm 0.1$, то ищем среднее взвешенное.
Вес i-ой точки: $p_i = (\Delta x_i)^{-2}$. Чем точнее – тем больше вес. Таким образом, веса равны 0.01, 1, 1, 1 и 100.

$$\overline{X} = \frac{\Sigma_i \, p_i x_i}{\Sigma_i \, p_i} = 1000.97; \qquad \sigma = \sqrt{\frac{\Sigma_i \, p_i \, (x_i - \overline{x})^2}{\Sigma_i \, p_i}} = 0.22$$

Измеряем энергию $\gamma$-линии 1460.822(6) кэВ $^{40}$K с помощью HPGe детектора и АЦП со шкалой 1 кэВ на канал:




$$
\begin{array}{llll}
a) & \overline{E} = \frac{1\cdot 1453+5\cdot 1455+...+1\cdot 1469}{100} & = 1460.76 & \sigma = 3.17 \\
b) & \overline{E} & = 1460.822 & \sigma = 3.066
\end{array}
$$

Ошибка среднего значения:

$$\Delta(\overline{X}) = \overline{(\overline{X} - X_0)} \quad \simeq \quad \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

$$
\begin{array}{llll}
\overline{E}_{(N=100)} & = & 1460.76 & \pm\ 0.32 \\
\overline{E}_{(N=1000000)} & = & 1460.822 & \pm\ 0.003
\end{array}
$$

С увеличением статистики дисперсия не изменилась, но ошибка уменьшилась!

<u>Если измерение величины $\phi$ не прямое:</u> $\quad \phi = f(x \pm \Delta x, y \pm \Delta y)$

$$(\Delta\phi)^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x}\cdot\Delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\cdot\Delta y\right)^2$$

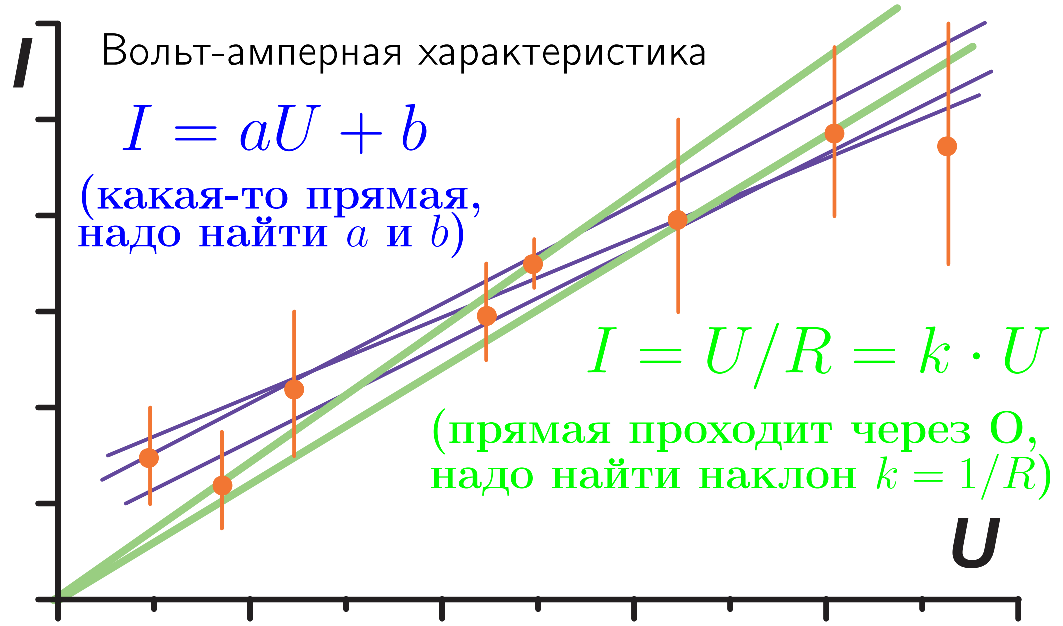
(ошибка результата $\Delta\phi)^2$ = (ошибка из-за $\Delta x)^2$ + (ошибка из-за $\Delta y)^2$.
Производная $\frac{\partial f}{\partial x}$ – это *коэффициент влияния* параметра $x$ на функцию $f$.

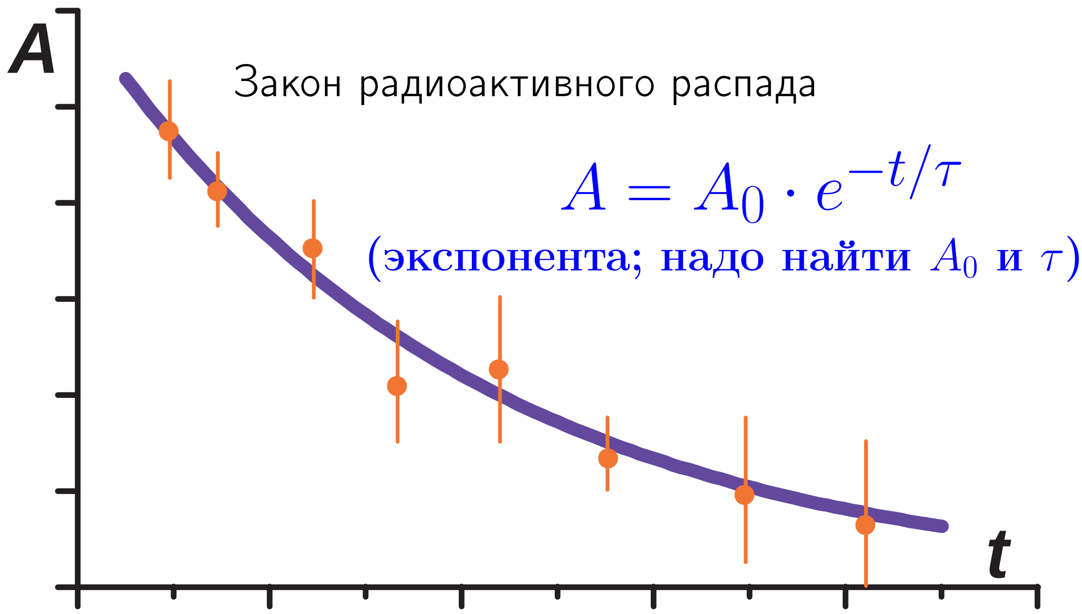
# Метод Наименьших Кавдратов (Least Squares)

Задача: фитировать набор N экспериментальных точек $(x_i, y_i)$ какой-то функцией $Y = f(X)$. LS-критерий – малость остаточной суммы $\chi^2$.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{N} p_i \left[y_i - f(x_i)\right]^2 ; \qquad p_i = \frac{1}{(\Delta y_i)^2} \quad .$$

Примеры фитирующих функций с 1 или 2 параметрами:



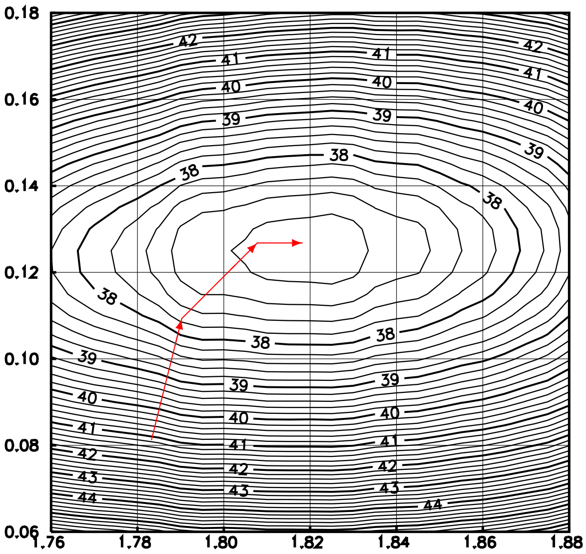



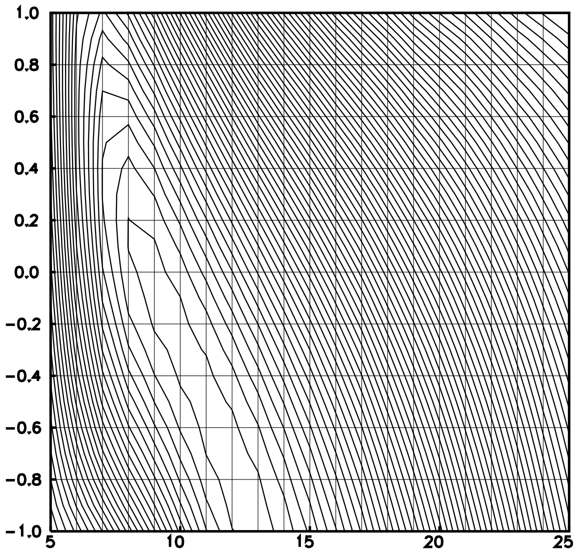
Итак, надо найти такие значения двух параметров ($A_0$ и $\tau$), чтобы остаточная сумма $\chi^2$ была минимальной. Условие минимума:

$$\frac{\partial(\chi^2)}{\partial A_0} = 0 \quad ; \qquad \frac{\partial(\chi^2)}{\partial \tau} = 0 \ .$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} \Sigma_i \, p_i \, [y_i - f(t_i)] \, \frac{\partial f(t_i)}{\partial A_0} & = 0 \\ \Sigma_i \, p_i \, [y_i - f(t_i)] \, \frac{\partial f(t_i)}{\partial \tau} & = 0 \end{array} \right| \quad \Rightarrow \quad A_0, \quad \tau$$

Если сложный вид $f(x)$ и число параметров $K \gg 1$, то система не решается. Тогда используем топографический метод: составляем как бы *карту высот* $\chi^2$ на k-мерной плоскости и ищем на ней низину.




Градиентный метод (то же самое, но низина ищется автоматически). Суть: искомые параметры выбираются наугад (на k-мерной плоскости ставится точка), а затем для этой точки ищется градиент, то есть, вектор, показывающий направление максимального изменения $\chi^2$. Находится новая точка, и т. д. Стандартный программный пакет MINUIT.

Свойства $\chi^2$

- если "покачать"параметр А на $\pm\Delta A$, то $\chi^2$ увеличится на $+1.0$
- нормированное $\chi^2_{\rm norm} = \chi^2/(N-K)$ должно быть $\simeq 1$.

  Если $\chi^2_{\rm norm} > 1$, то неверный вид функции или $\exists$ систематика.

  Если $\chi^2_{\rm norm} < 1$, то погрешность каждой точки слишком велика.

# Максимальное Правдоподобие (Maximal Likelyhood)

(Это – пока вне программы; просто знайте, что существует и такой метод)

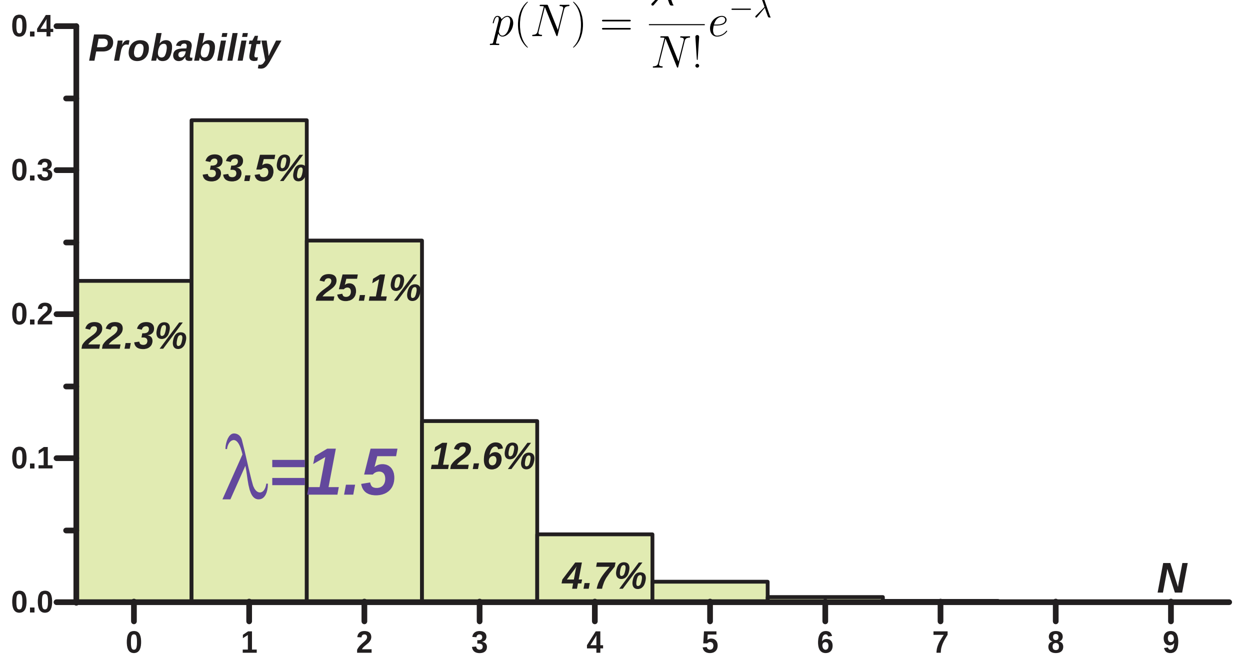
Если в качестве фитируемых точек используется не измеренная каким-то прибором аналоговая величина $Y_i \pm \Delta Y_i$, а число событий $N_i(X)$ (например, число $\gamma$-квантов, зарегистрированных детектором), то как быть с погрешностью $\Delta N_i$ и весом точек? При больших $N$ погрешность $\Delta N \simeq \sqrt{N}$, а при малых – ?...

ML-критерий: надо так подобрать параметры фитирующей функции $f(x)$, чтобы была максимальной вероятность получить в эксперименте именно те точки, которые в нем и получились.

Распределение Пуассона

Например, мы знаем, что через 1 дм$^2$ пролетает в среднем $\lambda = 1.5$ мюона в секунду. Какова вероятность того, что за данную конкретную секунду мы увидим N=1 мюон? N=2 мюона? N=0 мюонов?

$$p(N) = \frac{\lambda^N}{N!} e^{-\lambda}$$




ML-критерий:

$$\left.\Phi = \prod_i \frac{\left[f(\overrightarrow{R}, x_i)\right]^{N_i}}{N_i!} \cdot e^{-f(\overrightarrow{R}, x_i)} \right\} \quad \rightarrow \quad \max$$