

-----  
 Статистические методы в ядерном эксперименте, ИЯФ 2024 г.

Лектор: Епифанов Денис Александрович, лаб. 3-3.  
 к.622, тел.: 329-49-48 (внутри ИЯФ 49-48),  
 D.A.Epifanov@inp.nsk.su  
<https://cmd.inp.nsk.su/~epifanov/>

Литература:

\* Д. Худсон, "Статистика для физиков", 1970.

\* В. Идье, "Статистические методы в экспериментальной физике", 1976.

\* С. И. Битюков, Н. В. Красников, "Применение статистических методов для поиска новой физике на Большом адронном коллайдере", 2019.  
<https://arxiv.org/abs/1107.3974>

\* И. М. Соболев, "Метод Монте-Карло", 1978.

\* Н. М. Соболевский, "Метод Монте-Карло в задачах о взаимодействии частиц с веществом", 2017.

-----  
 \* Particle Data Group:

<https://pdg.lbl.gov/2021/web/viewer.html?file=%2F2021/reviews/rpp2020-rev-probability.pdf>

<https://pdg.lbl.gov/2021/web/viewer.html?file=%2F2021/reviews/rpp2020-rev-statistics.pdf>

<https://pdg.lbl.gov/2021/web/viewer.html?file=%2F2021/reviews/rpp2020-rev-monte-carlo-techniques.pdf>

\* G. D. Cowan, "Statistical data analysis", 1998.

\* R. J. Barlow, "Statistics. A guide to the Use of Statistical methods in the Physical Sciences", 1989.

\* B. P. Roe, "PROBABILITY AND STATISTICS IN EXPERIMENTAL PHYSICS", Springer, 2001.

\* L. Lyons, "Statistics for nuclear and particle physicists", 1986.

-----  
 I. Основные понятия теории вероятностей, случайные величины и их распределения.

- 1) Определение вероятности
- 2) Независимые события, сложение и умножение вероятностей
- 3) Условная вероятность, полная вероятность, формула Байеса
- 4) Дискретные и непрерывные случайные величины

-----  
 II. Характеристики распределений случайных величин, введение в статистику.

- 1) Математическое ожидание, дисперсия и асимметрия случайной величины, их свойства
- 2) Высшие моменты, производящая функция начальных/центральных моментов (ПФМ), свойства
- 3) Введение в статистику

-----  
 III. Операции над случайными величинами.

- 1) Описание зависимых случайных величин

- 2) Формула переноса ошибок
- 3) Преобразование случайных величин (для дискретных и непрерывных)

---

IV. Метод Монте-Карло.

- 1) Введение, вычисление многомерных объёмов
- 2) Моделирование дискретных случайных величин
- 3) Моделирование непрерывных случайных величин
- 4) Вычисление интегралов методом Монте-Карло

---

V. Оценивание параметров распределений

- 1) Выборочные характеристики и их свойства
- 2) Неравенство Чебышева
- 3) Закон больших чисел
- 4) Центральная предельная теорема
- 5) Точечное оценивание параметров: метод моментов

---

VI. Точечное оценивание параметров: ММП и МНК

- 1) Метод максимального правдоподобия (ММП)
- 2) Метод наименьших квадратов (МНК)

---

VII. Интервальное оценивание параметров

- 1) Определения
- 2) Построение доверительных интервалов

---

VIII. Интервальное оценивание параметров (продолжение)

- 1) Построение доверительных интервалов при оценке среднего и дисперсии
- 2) Метод максимального правдоподобия для построения доверительного интервала, графический анализ ЛФП

---

IX. Доверительный интервал в ММП, проверка гипотез

- 1) Построение доверительных областей ММП, случай двух коррелированных параметров
- 2) Проверка гипотез

---

X. Проверка гипотез, критерий Неймана-Пирсона

- 1) Ещё раз о фитировании гистограммы
  - 2) Проверка гипотез
  - 3) Критерий отношения функций правдоподобия
  - 4) Доверительные интервалы: частотный и байесовский подходы
-

XI. Байесовский подход в статистике

- 1) Условная вероятность формула Байеса
- 2) Идеология Байесовского подхода: уточнение априорных вероятностей полного набора моделей, описывающих ситуацию, на основе данных с помощью теоремы Байеса (вычисление постериорных вероятностей).
- 3) Формулировка Байесовского подхода в непрерывном случае, интерпретация параметров ф.п.в. Характеристики апостериорной вероятности для параметра. Примеры.

-----  
 XII. Избранные вопросы анализа данных в ФЭЧ (I)

- 1) Метод максимального правдоподобия (ММП): небинированный анализ
- 2) Расширенный метод максимального правдоподобия: небинированный анализ
- 3) Уровень значимости сигнала

-----  
 XIII. Избранные вопросы анализа данных в ФЭЧ (II)

- 1) О числе степеней свободы  $\chi^2$  в различных фитах, фиксирование параметров "с ошибками", штрафные члены в  $\chi^2$
- 2) Множественность решений при фитировании
- 3) параметр качества отборов, Figure Of Merit (FOM)

-----  
 Материалы:

<https://cmd.inp.nsk.su/~epifanov/stat/>  
 лекции: lec1.pdf ...

см. там же эл. версии учебников

Две контрольных:

- \* в конце октября (5 задач)
- \* в начале декабря (3-4 задачи)

Оценка:

3-ка: посещаемость  $\geq 70\%$ , и кол-во решённых задач в обоих контр.  $\geq 30\%$  &&  $< 50\%$   
 4-ка: посещаемость  $\geq 70\%$ , и кол-во решённых задач в обоих контр.  $\geq 50\%$  &&  $< 70\%$   
 5-ка: посещаемость  $\geq 70\%$ , и кол-во решённых задач в обоих контр.  $\geq 70\%$

Последнее занятие (вторая половина декабря) - зачётное (можно повысить оценку).

-----  
 Электронная библиотека ИЯФ (доступна изнутри ИЯФ):

<https://lib.inp.nsk.su/>

Там есть подборка очень полезных электронных книг для студентов кафедры ФЭЧ:

<https://lib.inp.nsk.su/hep.htm>

=====

I. Теория (бак. уровень):

- 1) Уникальное и простое введение во многие разделы ФЭЧ:

[https://lib.inp.nsk.su/books/4405/4405.Ishhanov-Chastici\\_i\\_atomnie\\_jadra.pdf](https://lib.inp.nsk.su/books/4405/4405.Ishhanov-Chastici_i_atomnie_jadra.pdf)

Очень рекомендую в качестве дополнения к вводному курсу И.Б.Логашенко.

- 2) Кварковая модель, хорошее введение:

[https://lib.inp.nsk.su/books/4401/4401.Martemjanov-Devjat'\\_Lekcij\\_po\\_Kvarkovoj\\_Strukture\\_Adrinov.pdf](https://lib.inp.nsk.su/books/4401/4401.Martemjanov-Devjat'_Lekcij_po_Kvarkovoj_Strukture_Adrinov.pdf)

3) Знаменитый курс Хелзена, Мартина, рекомендую:

[https://lib.inp.nsk.su/books/4403/4403.Helzen-Kvarki\\_i\\_Leptoni.djvu](https://lib.inp.nsk.su/books/4403/4403.Helzen-Kvarki_i_Leptoni.djvu)

II. Методика:

4) Хороший курс А.П.Онучина по экспериментальным методам ядерной физики:

[https://lib.inp.nsk.su/books/4404/4404.Onuchin-Eksperimentalnie\\_metodi\\_jadernoj\\_phiziki.pdf](https://lib.inp.nsk.su/books/4404/4404.Onuchin-Eksperimentalnie_metodi_jadernoj_phiziki.pdf)

5) Уникальная подборка очень хороших и лаконичных книг по методике Ю.К.Акимова (в сети их нет), очень рекомендую:

а) Газовые детекторы:

[https://lib.inp.nsk.su/books/0799/0799.Akimov-Gazovie\\_detektori\\_yadernih\\_izlucheniy.djvu](https://lib.inp.nsk.su/books/0799/0799.Akimov-Gazovie_detektori_yadernih_izlucheniy.djvu)

б) Полупроводниковые детекторы:

[https://lib.inp.nsk.su/books/0798/0798.Akimov-Poluprovodnikovie\\_detektori\\_yadernih\\_izlucheniy.djvu](https://lib.inp.nsk.su/books/0798/0798.Akimov-Poluprovodnikovie_detektori_yadernih_izlucheniy.djvu)

в) Фотонные методы рег. излучений:

[https://lib.inp.nsk.su/books/0800/0800.Akimov-Photonnie\\_metodi\\_registracii\\_izlucheniy\\_Izdanie\\_II.djvu](https://lib.inp.nsk.su/books/0800/0800.Akimov-Photonnie_metodi_registracii_izlucheniy_Izdanie_II.djvu)

6) Книга К.Группена по детекторам ЭЧ:

[https://lib.inp.nsk.su/books/0582/0582.Grupen-Detektori\\_EP.pdf](https://lib.inp.nsk.su/books/0582/0582.Grupen-Detektori_EP.pdf)

7) Книга Глена Нолла по спектроскопии:

[https://lib.inp.nsk.su/books/4358/4358.Knoll-Radiation\\_Detection\\_and\\_Measurement.djvu](https://lib.inp.nsk.su/books/4358/4358.Knoll-Radiation_Detection_and_Measurement.djvu)

Это международный, ставший классическим, учебник по взаимодействию частиц с веществом. Очень рекомендую, особенно тем, кто будет заниматься гамма-спектроскопией.

8) Книга С.Ахмеда по физике и инженерии радиационных измерений:

[https://lib.inp.nsk.su/books/4419/4419.Ahmed-Physics\\_and\\_Engineering\\_of\\_Radiation\\_Detection.pdf](https://lib.inp.nsk.su/books/4419/4419.Ahmed-Physics_and_Engineering_of_Radiation_Detection.pdf)

в ней хорошо разобрана масса практических вопросов, возникающих при работе с различными детекторами частиц.

9) Шикарный труд от Клауса Группена и Ирэны Бувэ:

[https://lib.inp.nsk.su/books/4409/4409.Grupen-Handbook\\_of\\_Particle\\_Detection\\_and\\_Imaging.pdf](https://lib.inp.nsk.su/books/4409/4409.Grupen-Handbook_of_Particle_Detection_and_Imaging.pdf)

этот хорошо оформленный, могучий сборник материалов по экспериментальной физике. В этой книге есть также очень полезная Часть 4, посвящённая применению детекторных технологий в медицине. Даны довольно краткие, но информативные описания различных технологий: КТ, ПЭТ и др. Очень рекомендую.

10) Ёмкий и лаконичный учебник А.П.Черняева по взаимодействию частиц с веществом:

[https://lib.inp.nsk.su/books/4357/4357.Chernjaev-Vzaimodejstvie\\_Ionizirujushego\\_Izlucheniya\\_s\\_Veshestvom.djvu](https://lib.inp.nsk.su/books/4357/4357.Chernjaev-Vzaimodejstvie_Ionizirujushego_Izlucheniya_s_Veshestvom.djvu)

=====  
\* Книги лучше скачивать себе, сервер частенько "отваливается".

По тех. вопросам обращайтесь к И.Землянскому: [i.m.zemlyansky@inp.nsk.su](mailto:i.m.zemlyansky@inp.nsk.su)

