

Методические материалы учебной практики для студентов группы 131-ФЗо ИТНИТ ФГБОУ ВО «СГУ им. Питирима Сорокина»

Макаров П. А.

2020 – 2021 учебный год, 6 семестр

1 Общие положения

Цель учебной практики состоит в формировании и отработке у студентов навыков научно-исследовательской деятельности.

Задачи практики:

1. знакомство с научными поисковыми системами;
2. получение навыков работы с профессиональными базами данных;
3. моделирование физических явлений и процессов;
4. отработка навыков программирования;
5. подготовка отчётов и публикаций;

Предполагается знакомство студентов с общим курсом физики, курсом теоретической физики (в объёме теоретической, квантовой механики и электродинамики), а также с основами информатики и программирования.

Каждое задание представляет собой некую проблему, исследование которой предполагает выполнение следующих этапов:

1. изучение необходимой литературы;
2. выяснение подробностей условия задания;
3. разработка схемы моделирования и вычислительного алгоритма;
4. написание и отладка расчётной программы;
5. подготовка дополнительных скриптов, позволяющих получить изображения (и/или анимацию, там где это требуется), качественно иллюстрирующие особенности рассматриваемого процесса;

6. проведение численных экспериментов, проверка результатов на корректность и выявление ограничений разработанной реализации алгоритма;
7. подготовка статьи к публикации;
8. написание отчёта о результатах проделанной работы.

Основное требование для зачёта практики — **выполненный отчёт о проделанной работе.**

2 Теоретический минимум

1. Распад частиц [1, § 16], [2, § 11].
2. Упругие столкновения частиц [1, § 17], [2, § 13].
3. Рассеяние частиц [1, § 18].
4. Формула Резерфорда [1, § 19], [3, § 135].
5. Рассеяние под малыми углами [1, § 20].
6. Скорость распространения взаимодействий [2, § 1].
7. Интервал [2, § 2].
8. Преобразование Лоренца [2, § 4].
9. Четырёхмерные векторы [2, § 6].
10. Четырёхмерная скорость [2, § 7].
11. Принцип наименьшего действия [2, § 8].
12. Энергия и импульс [2, § 9].
13. Инвариантное сечение [2, § 12].
14. Общая теория рассеяния [3, § 123, § 124].
15. Условие унитарности для рассеяния [3, § 125].
16. Формула Борна [3, § 126].
17. Столкновения одинаковых частиц [3, § 137].
18. Упругое рассеяние при наличии неупругих процессов [3, § 142].
19. Кинематические инварианты [4, § 66].
20. Физические области [4, § 67].

3 Научные поисковые системы

- ScienceDirect www.sciencedirect.com [5];
- Google Академия scholar.google.com [6];
- Mendeley www.mendeley.com [7];
- arXiv arxiv.org [8];
- MathNet www.mathnet.ru [9];
- УФН ufn.ru [10];
- ЖЭТФ www.jetp.ac.ru [11];
- Журнальный портал ФТИ им. А.Ф. Иоффе journals.ioffe.ru [12];
- Научная электронная библиотека www.elibrary.ru [13];
- Scopus www.scopus.com [14];
- Web of Science webofknowledge.com [15].

4 Профессиональные базы данных

- Ядерная физика в интернете nuclphys.sinp.msu.ru [16];
- Particle Data Group pdg.lbl.gov [17];
- CERN Open Data Portal opendata.cern.ch [18];
- NIST Atomic Spectral Line Broadening Bibliographic Database <https://doi.org/10.18434/T4B59K> [19];
- NIST Handbook of Basic Atomic Spectroscopic Data <https://dx.doi.org/10.18434/T4FW23> [20].
- IAEA Nuclear Data Services www-nds.iaea.org [21].

5 Программные инструменты

5.1 $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ и $\text{L}_{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$

Лично я изучал $\text{L}_{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ по книге Котельникова и Чеботарева [22], поэтому рекомендую прочесть из неё по крайней мере главы 1–6. Ещё одна классическая книга по набору и вёрстке текстов в системе $\text{L}_{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ написана Львовским [23]. По большому счёту, этих источников вполне достаточно, однако, возможно,

вам больше понравится (или будет более полезной) книга Столярова [24] (по крайней мере, она гораздо короче). Кроме того, настойчиво рекомендую ознакомиться с книгой Дональда Кнута — создателя системы \TeX [25].

Также перед началом работы очень советую прочесть [Краткий курс благородного набора](#) [26]. Ещё один крайне полезный при наборе документов ресурс — detexify.kirelabs.org/classify.html [27].

Файлы с расширением `.tex` — это обычные текстовые файлы (написанные на языке разметки текста \LaTeX). Открывать и редактировать их можно с помощью любого текстового редактора¹, но я советую [Sublime Text](#) [28].

Для работы с издательской системой \LaTeX на локальном компьютере необходимо установить соответствующий набор программного обеспечения. Рекомендуется использовать актуальный дистрибутив [TeX Live](#) [29]. В настоящее время существуют и различные онлайн ресурсы для работы с системой \LaTeX , в частности проект [Overleaf](#) [30].

5.2 Работа с библиографией

Для работы с библиографией в \LaTeX есть две возможности:

1. ручной набор списка литературы текущего документа с помощью окружения `thebibliography`;
2. создание библиографической базы данных и автоматическая генерация списка литературы.

Во втором случае практически стандартом является [BibTeX](#) [31]. Вместе с тем, вручную составлять достаточно объёмные библиографической базы данных бывает весьма затруднительно, поэтому используются системы управления библиографической информацией, такие как [JabRef](#) [32] и [Mendeley Desktop](#) [33].

5.3 Научная графика

Одним из самых широко используемых инструментов для визуализации данных является [Gnuplot](#) [34]. Официальная документация проекта доступна по [данной ссылке](#) [35]. Также существует страница с [демонстрационными примерами](#) [36]. Кроме этих, имеется огромное множество и других источников, одно перечисление которых — весьма трудоёмкая задача. Поэтому ограничимся только ещё одной полезной [ссылкой](#) [37].

Ещё один мощный инструмент создания научной графики высокого качества — язык описания векторной графики [Asymptote](#) [38]. Официальная документация доступна по [данной ссылке](#) [39]. Крайне рекомендуются для изучения монографии [Ю. М. Волченко](#) [40] и [P. Ivaldi](#) [41]. В сети есть по крайней мере две обширных галереи примеров: [официальная \(англоязычная\)](#) [42] и

¹Ни в коем случае не пытайтесь использовать для этого MS Word или что-то подобное!

неофициальная (франкоязычная) [43]. В настоящее время существует даже веб-приложение [44], позволяющее запускать программы на языке Asymptote непосредственно в браузере.

5.4 Системы компьютерной математики

Системы компьютерной математики существенно облегчают преобразование и упрощение громоздких выражений, поиск корней систем уравнений, выполнение рутинных вычислений и тому подобную работу. Для всех этих задач в настоящее время существует множество самых разных инструментов, среди которых я особо выделил бы свободную систему [Maxima](#) [45]. Некоторая документация доступна [по данной ссылке](#) [46]. Очень рекомендуются к прочтению пособия Е. В. Маевского, П. В. Ягодовского [47] и В. А. Ильиной, П. К. Силаева [48]. С ситемой возможна работа с помощью [on-line интерфейса](#) [49].

Помимо Maxima, конечно, существуют и другие системы компьютерной математики. На мой взгляд, в первую очередь стоит обратить внимание на [SAGE](#) [50]. Кроме того, я бы упомянул [Octave](#) [51] и [R](#) [52].

5.5 Языки программирования, библиотеки и фреймворки

- [C](#) [53].
- [C++](#) [54].
- [GSL](#) [55].
- [Python](#) [56]:
 - [SymPy](#) [57].
 - [NumPy](#) [58].
 - [QuTiP](#) [59].
- [ROOT](#) [60].

6 Задания

1. Установите, настройте и протестируйте работоспособность всего необходимого программного обеспечения. Изучите необходимую документацию.
2. Используя данные [20] постройте при помощи `gnuplot` спектр последних линий (Persistent Lines) нейтрального атома Na. Выделите на рисунке область видимого излучения, а также инфракрасный и ультрафиолетовый диапазоны. Сколько линий попадает в видимый диапазон?

3. Для термов нейтрального атома Na, фигурирующих в предыдущем задании, изобразите с помощью Asymptote энергетическую диаграмму состояний. Покажите переходы между ними, происходящие с испусканием последних линий.
4. Известно [1, § 19] эффективное сечение как функция потерь энергии

$$d\sigma = 2\pi \frac{\alpha^2}{m_2 v_\infty^2} \cdot \frac{d\varepsilon}{\varepsilon^2}. \quad (1)$$

- Определите с помощью Maxima полное эффективное сечение рассеяния на ядре атома золота альфа-частиц, испущенных радиоактивным изотопом ^{224}Ra [61]. Постройте график, иллюстрирующий зависимость (1).
5. Определите основные типы ускорителей частиц и их параметры. Как развивались ускорительная техника до настоящего времени? Каковы параметры современных коллайдеров? Создайте инфографику по данной теме.
 6. Изучите строение и основные характеристики J/ψ мезона. Когда эта частица впервые была экспериментально обнаружена? Какие методики при этом использовались? Используя доступные научные поисковые системы и профессиональные базы данных проанализируйте публикационную активность, связанную с J/ψ мезоном с момента его открытия до настоящего времени. Существует ли корреляция между развитием ускорительной техники и исследованиями J/ψ , отражёнными в научной литературе?
 7. Используя источник [62] ознакомьтесь с основными способами измерения масс частиц и ядер. Особое внимание обратите на метод инвариантных масс (дополнительную информацию можно получить из публикации [63]).
 8. Изучите следующие источники, необходимые для понимания принципов работы детектора CMS LHC и элементарных основ анализа экспериментальных данных:
 - [Краткое описание детектора CMS \[64\]](#);
 - [Описание форматов данных и инструментов анализа CMS \[65\]](#);
 - [Руководство по использованию CMS Open Data в образовательных целях \[66\]](#);
 - [Учебное пособие по физике высоких энергий на основе данных CMS \[67\]](#).

Опишите строение и основные элементы детектора CMS. В каких форматах распространяются экспериментальные данные CMS и какие инструменты существуют для работы с ними?

9. Исследуйте с помощью инструмента [CMS Event Display \[68\]](#) несколько событий разных типов: диэлектронные, димюонные, дифотонные события, а также четырёхлептонные распады.
10. С помощью инструмента [CMS Histogram Visualiser \[69\]](#) постройте спектры инвариантных масс диэлектронных и димюонных процессов в различных диапазонах энергий в интервале $2 \div 110$ ГэВ. Какие выводы можно сделать по данным спектрам?

Список используемых источников

- [1] Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц Теоретическая физика: т. I. Механика. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. — 224 с.
- [2] Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц Теоретическая физика: т. II. Теория поля. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. — 536 с.
- [3] Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц Теоретическая физика: т. III. Квантовая механика (нерелятивистская теория). — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. — 800 с.
- [4] Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц Теоретическая физика: т. IV. / В. Б. Берестецкий, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский Квантовая электродинамика. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. — 720 с.
- [5] ScienceDirect www.sciencedirect.com.
- [6] Google Академия scholar.google.com.
- [7] Mendeley www.mendeley.com.
- [8] arXiv arxiv.org.
- [9] MathNet www.mathnet.ru.
- [10] УФН ufn.ru.
- [11] ЖЭТФ www.jetp.ac.ru.
- [12] Журнальный портал ФТИ им. А.Ф. Иоффе journals.ioffe.ru.
- [13] Научная электронная библиотека www.elibrary.ru.
- [14] Scopus www.scopus.com.
- [15] Web of Science webofknowledge.com.
- [16] Ядерная физика в интернете nuclphys.sinp.msu.ru.
- [17] Particle Data Group pdg.lbl.gov.

- [18] CERN Open Data Portal opendata.cern.ch.
- [19] A. Kramida, J.R. Fuhr (2020) NIST Atomic Spectral Line Broadening Bibliographic Database, NIST Standard Reference Database 109, National Institute of Standards and Technology, <https://doi.org/10.18434/T4B59K> (07.06.2021).
- [20] J.E. Sansonetti, W.C. Martin (2013) NIST Handbook of Basic Atomic Spectroscopic Data, NIST Standard Reference Database 108, National Institute of Standards and Technology, <https://dx.doi.org/10.18434/T4FW23> (07.06.2020).
- [21] IAEA Nuclear Data Services Home Page www-nds.iaea.org.
- [22] **И. А. Котельников, П. З. Чеботаев** \LaTeX по-русски. — 3-е изд., перераб. и доп. — Новосибирск: Сибирский хронограф, 2004. — 496 с.
- [23] **С. М. Львовский** Набор и вёрстка в системе \LaTeX . — 5-е изд., перераб. — М: МЦНМО, 2014. — 400 с.
- [24] **А. В. Столяров** Сверстай диплом красиво: \LaTeX за три дня. — М: МАКС Пресс, 2010. — 100 с.
- [25] **Д. Э. Кнут** Все про \TeX . — М.: Издательский дом “Вильямс”, 2003. — 560 с.
- [26] **А. В. Костырка** [Краткий курс благородного набора](#).
- [27] Detexify detexify.kirelabs.org/classify.html.
- [28] Sublime Text www.sublimetext.com.
- [29] TeX Live tug.org/texlive.
- [30] Overleaf www.overleaf.com.
- [31] BibTeX www.bibtex.org.
- [32] JabRef www.jabref.org.
- [33] Страница загрузки Mendeley Desktop www.mendeley.com/download-desktop-new.
- [34] Gnuplot homepage gnuplot.info.
- [35] Official gnuplot documentation gnuplot.info/documentation.html.
- [36] Demos for gnuplot gnuplot.sourceforge.net/demo.
- [37] Gnuplot и с чем его едят habr.com/ru/company/ruvds/blog/517450.

- [38] Asymptote homepage asymptote.sourceforge.io.
- [39] Asymptote documentation asymptote.sourceforge.io/doc/index.html.
- [40] Ю. М. Волченко Научная графика на языке Asymptote math.volchenko.com/AsyMan.pdf.
- [41] P. Ivaldi Euclidean geometry with Asymptote piprime.fr/files/res/geometry_en.pdf.
- [42] Asymptote Gallery asymptote.sourceforge.io/gallery/index.html.
- [43] Asymptote examples collection asy.marris.fr/asymptote.
- [44] Asymptote Web Application asymptote.ualberta.ca.
- [45] Maxima homepage maxima.sourceforge.io/ru/index.html.
- [46] Maxima Documentation maxima.sourceforge.io/ru/documentation.html.
- [47] Маевский Е. В., Ягодновский П. В. Компьютерная математика. Высшая математика в СКМ Maxima. Часть I. Введение. М: Финансовый университет, 2013.
- [48] Ильина В. А., Силаев П. К. Система аналитических вычислений МАХИМА для физиков-теоретиков. М, 2007.
- [49] Maxima on line maxima.cesga.es.
- [50] SAGE homepage www.sagemath.org.
- [51] Octave homepage www.gnu.org/software/octave.
- [52] The R Project for Statistical Computing www.r-project.org.
- [53] Керниган Б., Ритчи Д. Язык программирования Си. 3-е изд., испр. — СПб.: “Невский Диалект”, 2001. — 352 с.
- [54] Столяров А. В. Введение в язык Си++: Учебное пособие. — 5-е изд., испр. и доп. — М: МАКС Пресс, 2020. — 156 с.
- [55] GSL homepage www.gnu.org/software/gsl.
- [56] Python homepage www.python.org.
- [57] SymPy homepage www.sympy.org.
- [58] NumPy homepage numpy.org.
- [59] QuTiP homepage qutip.org.

- [60] ROOT homepage root.cern.
- [61] Alpha-particle energies and emission probabilities for actinides and natural decay products www-nds.iaea.org/sgnucdat/a2.htm.
- [62] Л. И. Сарычева, Лекция 6. Способы измерения масс частиц и ядер. Курс лекций Введение в физику микромира — Физика частиц и ядер nuclphys.sinp.msu.ru/astro/astro06.htm.
- [63] И. Иванов, Инвариантная масса elementy.ru/LHC/HEP/measures/invariant-mass.
- [64] About CMS cms.cern/detector.
- [65] About CMS opendata.cern.ch/docs/about-cms.
- [66] CMS Guide for education use of CMS Open Data opendata.cern.ch/docs/cms-guide-for-education.
- [67] C. Sander, A. Schmidt CMS HEP Tutorial opendata.cern.ch/record/50.
- [68] CMS Event Display opendata.cern.ch/visualise/events/cms.
- [69] CMS Histogram Visualiser opendata.cern.ch/visualise/histograms/cms.