

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»  
(НИЯУ МИФИ)

УДК 539.12, 539.143, 524.8

№ госрегистрации 123032300001-3

УТВЕРЖДАЮ

Советник при ректорате

НИЯУ МИФИ, д.т.н., проф.

\_\_\_\_\_ Н. И. Каргин

«28» декабря 2025 г.

ОТЧЁТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

в рамках конкурсной части государственного задания № FSWU-2023-0073

по теме

**НОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ФИЗИКЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ  
И РАННЕЙ ВСЕЛЕННОЙ**

(заключительный, 3-й этап)

Руководитель проекта,

д.ф.-м.н., с.н.с., г.н.с.

\_\_\_\_\_ С. Г. Рубин

Москва 2025

# СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель проекта

д.ф.-м.н., с.н.с., г.н.с. \_\_\_\_\_ С. Г. Рубин

Исполнители проекта

степень, звание, должность \_\_\_\_\_ И. О. Фамилия

к.ф.-м.н., доц. \_\_\_\_\_ И. О. Фамилия

к.ф.-м.н., доц. \_\_\_\_\_ И. О. Фамилия

д.ф.-м.н., проф., проф. \_\_\_\_\_ И. О. Фамилия

д.ф.-м.н., проф. \_\_\_\_\_ И. О. Фамилия

# РЕФЕРАТ

## ГОСТ:

- Реферат должен содержать:
  - сведения об общем объеме отчета, количестве книг отчета, иллюстраций, таблиц, использованных источников, приложений;
  - перечень ключевых слов;
  - текст реферата.
- Перечень ключевых слов должен включать от 5 до 15 слов или словосочетаний из текста отчета, которые в наибольшей мере характеризуют его содержание и обеспечивают возможность информационного поиска.
- Текст реферата должен отражать:
  - объект исследования или разработки;
  - цель работы;
  - методы или методологию проведения работы;
  - результаты работы и их новизну;
  - область применения результатов;
  - рекомендации по внедрению или итоги внедрения результатов НИР;
  - экономическую эффективность или значимость работы;
  - прогнозные предположения о развитии объекта исследования.
- Если отчет не содержит сведений по какой-либо из перечисленных структурных частей реферата, то в тексте реферата она опускается, при этом последовательность изложения сохраняется. Оптимальный объем текста реферата — 850 печатных знаков, но не более одной страницы машинописного текста.

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>Реферат</b>	<b>3</b>
<b>Перечень сокращений и обозначений</b>	<b>6</b>
<b>Введение</b>	<b>7</b>
<b>Основная часть отчёта по НИР</b>	<b>8</b>
1    Работа с математикой . . . . .	9
2    Рисунки и таблицы . . . . .	12
2.1    Рисунки . . . . .	12
2.2    Таблицы . . . . .	12
3    Перечни и ссылки на литературу . . . . .	14
3.1    Перечни . . . . .	14
3.2    Литература . . . . .	14
<b>Заключение</b>	<b>18</b>

## ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

ГОСТ:

- Структурный элемент «ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ» содержит определения, необходимые для уточнения или установления терминов, используемых в отчете о НИР.
- Перечень терминов и определений начинают со слов: «В настоящем отчете о НИР применяют следующие термины с соответствующими определениями».

## ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

ГОСТ:

- Структурный элемент «ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ» начинают со слов: «В настоящем отчете о НИР применяют следующие сокращения и обозначения».
- Если в отчете используют более трех условных обозначений, требующих пояснения (включая специальные сокращения слов и словосочетаний, обозначения единиц физических величин и другие специальные символы), составляется их перечень, в котором для каждого обозначения приводят необходимые сведения. Допускается определения, обозначения и сокращения приводить в одном структурном элементе «ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ».
- Если условных обозначений в отчете приведено менее трех, отдельный перечень не составляют, а необходимые сведения указывают в тексте отчета или в подстрочном примечании при первом упоминании.

# ВВЕДЕНИЕ

ГОСТ:

- Введение должно содержать оценку современного состояния решаемой научно-технической проблемы, основание и исходные данные для разработки темы, обоснование необходимости проведения НИР, сведения о планируемом научно-техническом уровне разработки, о патентных исследованиях и выводы из них, сведения о метрологическом обеспечении НИР. Во введении должны быть отражены актуальность и новизна темы, связь данной работы с другими научно-исследовательскими работами.
- Во введении промежуточного отчета по этапу НИР должны быть указаны цели и задачи исследований, выполненных на данном этапе, их место в выполнении отчета о НИР в целом.
- Во введении заключительного отчета о НИР приводят перечень наименований всех подготовленных промежуточных отчетов по этапам и их регистрационные номера, если они были представлены в соответствующий орган для регистрации.

# ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ ОТЧЁТА ПО НИР

ГОСТ:

- В основной части отчета о НИР приводят данные, отражающие сущность, методику и основные результаты выполненной НИР.
- Основная часть должна содержать:
  - выбор направления исследований, включающий обоснование направления исследования, методы решения задач и их сравнительную оценку, описание выбранной общей методики проведения НИР;
  - процесс теоретических и (или) экспериментальных исследований, включая определение характера и содержания теоретических исследований, методы исследований, методы расчета, обоснование необходимости проведения экспериментальных работ, принципы действия разработанных объектов, их характеристики;
  - обобщение и оценку результатов исследований, включающих оценку полноты решения поставленной задачи и предложения по дальнейшим направлениям работ, оценку достоверности полученных результатов и технико-экономической эффективности их внедрения и их сравнение с аналогичными результатами отечественных и зарубежных работ, обоснование необходимости проведения дополнительных исследований, отрицательные результаты, приводящие к необходимости прекращения дальнейших исследований.



# 1 РАБОТА С МАТЕМАТИКОЙ

Все математические выражения внутри текста набираются в «долларах»  $E_{\text{порог}}$ ,  $m_p$ ,  $ds^2 = dt^2 - a^2(t)d\mathbf{r}^2$ ,  ${}^4\text{He}$ , и т.п.

Ниже приводятся примеры оформления выключных формул.

Для одиночных однострочных выражений используется окружение `equation`:

$${}^4\text{He} + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{16}\text{O} + \gamma. \quad (1)$$

Другой пример:

$$\frac{d^2 R}{dz^2} + \frac{dR}{dz} S(z) + \left( \frac{1 + \delta_i}{R^2} - R \right) \frac{\Omega_{\text{m},0}(1+z)}{2E^2(z)} = \dots \quad (2)$$

Ссылка на формулу (2).

Если нумерация не требуется, после объявления окружения ставится «звёздочка»:

$$\frac{d^2 R}{dz^2} + \frac{dR}{dz} S(z) + \left( \frac{1 + \delta_i}{R^2} - R \right) \frac{\Omega_{\text{m},0}(1+z)}{2E^2(z)} = \dots$$

Когда перечисляется несколько формул подряд, можно использовать окружение `gather`:

$$\text{div } \mathbf{D} = 4\pi\rho, \quad (3)$$

$$\text{div } \mathbf{B} = 0, \quad (4)$$

$$\text{rot } \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}, \quad (5)$$

$$\text{rot } \mathbf{H} = \frac{4\pi}{c} \mathbf{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}. \quad (6)$$

Ссылки на уравнения: (3), (4), (5), (6).

Длинные выражения оформляются через окружение `multline`:

$$\begin{aligned}
 Z(J) &= \sum_{s=0}^{\infty} \frac{1}{s!} J_{i_1} \dots J_{i_s} \int_{-\infty}^{\infty} \left( \prod_l dq_l \right) e^{-\frac{1}{2}qAq - \frac{\lambda}{4!}q^4} q_{i_1} \dots q_{i_s} = \\
 &= Z(0, 0) \sum_{s=0}^{\infty} \frac{1}{s!} J_{i_1} \dots J_{i_s} G_{i_1 \dots i_s}^{(s)}. \quad (7)
 \end{aligned}$$

Другой вариант:

$$\begin{aligned}
 Z(J) &= \sum_{s=0}^{\infty} \frac{1}{s!} J_{i_1} \dots J_{i_s} \int_{-\infty}^{\infty} \left( \prod_l dq_l \right) e^{-\frac{1}{2}qAq - \frac{\lambda}{4!}q^4} q_{i_1} \dots q_{i_s} = \\
 &= Z(0, 0) \sum_{s=0}^{\infty} \frac{1}{s!} J_{i_1} \dots J_{i_s} G_{i_1 \dots i_s}^{(s)}. \quad (8)
 \end{aligned}$$

Варианты оформления длинных выражений с выравниваниями по вертикали:

$$\begin{aligned}
 T^\mu{}_\nu &= \partial_\nu h_{\alpha\beta} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial (\partial_\mu h_{\alpha\beta})} - \delta_\nu^\mu \mathcal{L} = -\frac{1}{32\pi G} \left( \frac{1}{2} \partial_\nu h \partial^\mu h - \partial_\nu h^\mu{}_\beta \partial^\beta h - \right. \\
 &\quad \left. - \partial_\nu h \partial_\alpha h^{\mu\alpha} + 2\partial_\nu h^\mu{}_\beta \partial_\alpha h^{\alpha\beta} - \partial_\nu h_{\alpha\beta} \partial^\mu h^{\alpha\beta} \right) - \delta_\nu^\mu \mathcal{L} \quad (9)
 \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned}
 T^\mu{}_\nu &= \partial_\nu h_{\alpha\beta} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial (\partial_\mu h_{\alpha\beta})} - \delta_\nu^\mu \mathcal{L} = -\frac{1}{32\pi G} \left( \frac{1}{2} \partial_\nu h \partial^\mu h - \partial_\nu h^\mu{}_\beta \partial^\beta h - \right. \\
 &\quad \left. - \partial_\nu h \partial_\alpha h^{\mu\alpha} + 2\partial_\nu h^\mu{}_\beta \partial_\alpha h^{\alpha\beta} - \partial_\nu h_{\alpha\beta} \partial^\mu h^{\alpha\beta} \right) - \delta_\nu^\mu \mathcal{L}. \quad (10)
 \end{aligned}$$

Последовательность формул с выравниваниями:

$$\operatorname{div}(\mathbf{D} + \mathbf{D}_0) = 4\pi\rho. \quad (11)$$

$$\operatorname{div} \mathbf{B} = 0. \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \mathbf{E} &= -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}. \\ \operatorname{rot} \mathbf{H} &= \frac{4\pi}{c} \mathbf{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}. \end{aligned} \quad (13)$$

Дополнительная внутренняя нумерация уравнений:

$$\operatorname{div}(\mathbf{D} + \mathbf{D}_1) = 4\pi\rho, \quad \operatorname{rot} \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}; \quad (14a)$$

$$\operatorname{div} \mathbf{B} = 0, \quad \operatorname{rot} \mathbf{H} = \frac{4\pi}{c} \mathbf{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}. \quad (14b)$$

Ссылаемся на 2-ю пару уравнений (14b).

Матрицы:

$$\gamma^0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}. \quad (15)$$

Системы уравнений:

$$|x| = \begin{cases} x, & x \geq 0 \\ -x, & x < 0 \end{cases}. \quad (16)$$

## 2 РИСУНКИ И ТАБЛИЦЫ

### 2.1 РИСУНКИ

Вставка рисунков.



Рисунок 1 — Подпись рисунка

Ссылка на рисунок 1.

Несколько рисунков с общей подписью.



(а) Подпись вложенного рисунка 1



(б) Подпись вложенного рисунка 2

Рисунок 2 — Общая подпись совмещённого рисунка

Ссылаемся на рисунок 2. Ссылаемся на вложенный рисунок: 2б.

### 2.2 ТАБЛИЦЫ

Вставка таблиц.

Другой пример.

Таблица 1 — Пример таблицы

1	текст	$\Sigma$
текст	много текста	$1.2 \times 10^2$

Таблица 2 — Таблица с объединениями строк и столбцов

1	Объединённые столбцы		Столбец
2			
3	Объединённые строки	текст	
4		текста	

## 3 ПЕРЕЧНИ И ССЫЛКИ НА ЛИТЕРАТУРУ

### 3.1 ПЕРЕЧНИ

Ненумерованный перечень:

- пункт 1,
- пункт 2:
  - вложенный пункт 1,
  - вложенный пункт 2,
- пункт 3.

Нумерованный перечень:

- 1) пункт 1,
- 2) пункт 2:
  - а) подпункт 1,
  - б) подпункт 2,
- 3) Пункт 3.

Ссылка на элемент перечня: 2а.

### 3.2 ЛИТЕРАТУРА

Ссылки на статьи и книги: [1–3], [4], интернет-ресурсы: [5].

Библиография формируется после ссылки на элемент из базы данных, собранной в файле с расширением `bib`. `bib`-файл дополняется новыми элементами базы, которые всегда можно найти в интернете, составлять их вручную не нужно. Например, можно использовать arXiv (см. рисунок 3), откуда перейти на INSPIRE HEP (рисунок 4) или NASA ADS (рисунок 5). Прошу всех использовать в первую очередь базу INSPIRE и не менять метки статей, чтобы не возникло случаев повторного цитирования одной и той же работы, но разными метками. Это очень сложно отслеживать!

Если вы работаете в Overleaf, ссылки будут автоматически вставляться после компиляции документа. Если работаете оффлайн, чтобы ссылки вставились, потребуется 3 раза скомпилировать документ: первый раз с помощью `pdflatex`, второй — через `biber`, третий раз — снова через `pdflatex`.

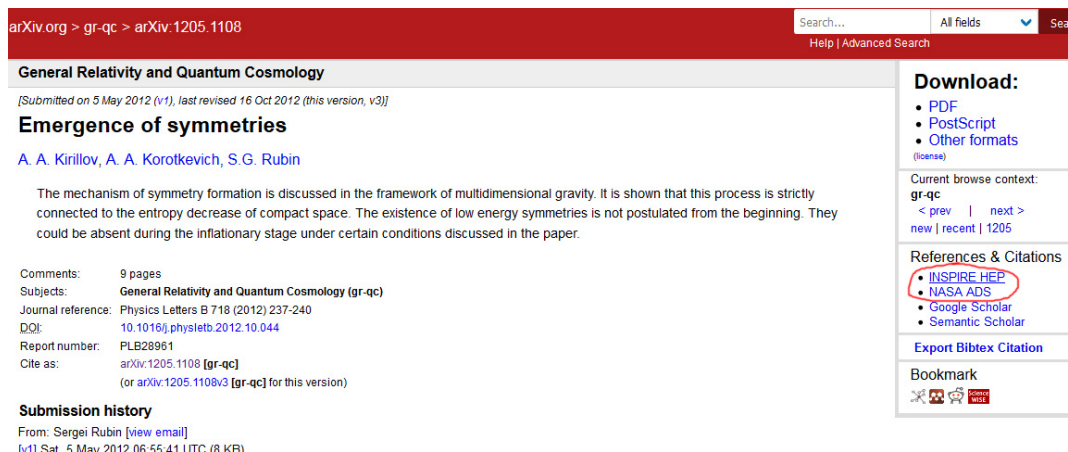


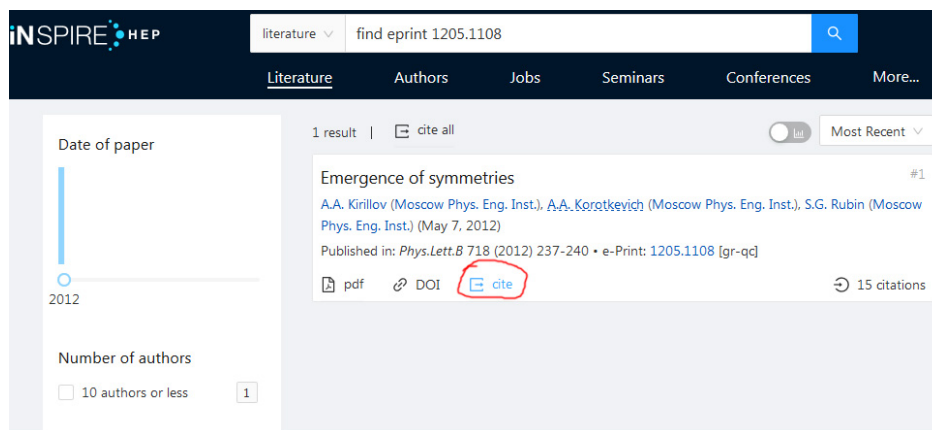
Рисунок 3 — Ссылки на INSPIRE HEP или NASA ADS на страничке статьи в arXiv

Названия журналов нужно приводить с правильными сокращениями ISO4. Большую часть этих сокращений я привёл в `reference.bib`, в начале файла, используйте их. На рисунке 4б название журнала набрано правильно, тогда как на 5б его нужно будет сокращать. Можно это делать с помощью следующей замены: `journal = plb` (для примера см. статьи с метками `Borexino:2017fbd` или `2003ApJ...584..621V`), либо вручную.

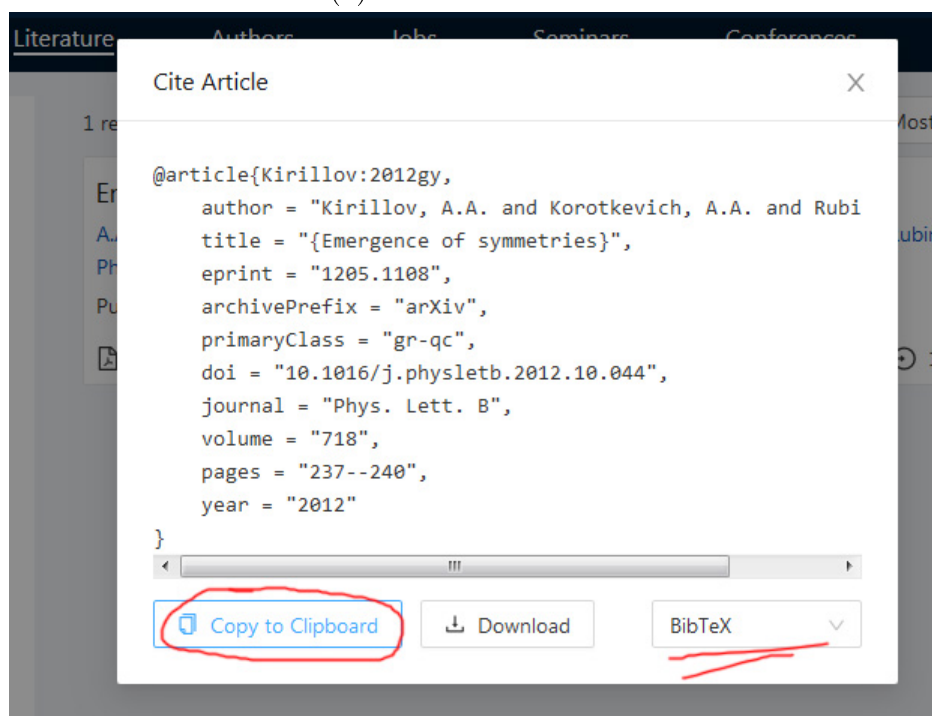
Чтобы локализация статей была правильной (не появлялись у англоязычной статьи русскоязычные обозначения: Т., С., ...), нужно добавить каждому элементу библиографии следующие строчки:

```
language = {english},
hyphenation={english},
langid = {english}
```

Примеры можно найти в `reference.bib`.



(а) Нажимаем «cite»



(б) Выбираем BibTeX, копируем информацию о ссылке и вставляем в reference.bib

Рисунок 4 — Доступ к библиографии в форме BibTeX на INSPIRE HEP



(a) Нажимаем «Export citation»

```
@ARTICLE{2012PhLB..718..237K,
  author = {{Kirillov}, A.-A. and {Korotkevich}, A.-A. and {Rubin}, S.-G.},
  title = "{Emergence of symmetries}",
  journal = {Physics Letters B},
  keywords = {General Relativity and Quantum Cosmology},
  year = 2012,
  month = dec,
  volume = {718},
  number = {2},
  pages = {237-240},
  doi = {10.1016/j.physletb.2012.10.044},
  archivePrefix = {arXiv},
  eprint = {1205.1108},
  primaryClass = {gr-qc},
  adsurl = {https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2012PhLB..718..237K},
  adsnote = {Provided by the SAO/NASA Astrophysics Data System}
}
```

(б) Выбираем BibTeX, копируем информацию о ссылке и вставляем в reference.bib

Рисунок 5 — Доступ к библиографии в форме BibTeX на NASA ADS

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ГОСТ: Заключение должно содержать:

- краткие выводы по результатам выполненной НИР или отдельных ее этапов;
- оценку полноты решений поставленных задач;
- разработку рекомендаций и исходных данных по конкретному использованию результатов НИР;
- результаты оценки технико-экономической эффективности внедрения;
- результаты оценки научно-технического уровня выполненной НИР в сравнении с лучшими достижениями в этой области.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Ландау Л., Лифшиц Е.* Теория поля. — М. : Физматлит, 2019. — 500 с.
2. *Agostini M.* [et al.]. Limiting neutrino magnetic moments with Borexino Phase-II solar neutrino data // Phys. Rev. D. — 2017. — Vol. 96, no. 9. — P. 091103. — arXiv: 1707.09355 [hep-ex].
3. *Venkatesan A., Tumlinson J., Shull J. M.* Evolving Spectra of Population III Stars: Consequences for Cosmological Reionization // Astrophys. J. — 2003. — Vol. 584. — P. 621–632. — arXiv: astro-ph/0206390.
4. *Rose M. E.* Elementary Theory of Angular Momentum. — New York : Wiley, 1957.
5. Pythia. — URL: <http://home.thep.lu.se/~torbjorn/Pythia.html>.