

Комитет по образованию города Барнаула  
Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение «Гимназия №80»

«Согласовано» на заседании МО	«Согласовано»	«Утверждаю»
Протокол № 1 от 25.08.2022г	Заместитель директора по ВР	Директор МБОУ «Гимназия 80»
/Романенкова И.Л	/Соболева Е.А.	/А.А. Миронов
подпись /расшифровка/	подпись /расшифровка/	подпись /расшифровка/
	Дата «29» августа 2022г	Приказ № 279-осн Дата «29» августа 2022г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
Курса внеурочной деятельности:  
«Ядерная физика»  
направление: общеинтеллектуальное  
11 «А, Б, В» класс среднего общего образования  
срок реализации программы 2022/2023 учебный год

Составитель рабочей программы:  
Хлебников Юрий Алексеевич  
учитель физики

г. Барнаул, 2022

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Рабочая программа внеурочной деятельности разработана в соответствии с ФГОС ООО.

Курс «Ядерная физика» предназначен учащимся старшей школы, выбравшим естественно-научный, физико-математический профили или проявившим повышенный интерес к изучению физики, химии, биологии, экологии. Данный курс интегрированный, он связан содержательно с курсом физики и математики основной школы. Изучение предлагаемого курса направлено на углубление и обобщение знаний школьников о современной картине мира, основанной на квантовой механике и специальной теории относительности. Предлагаемый курс посвящён рассмотрению таких тем, как элементы квантовой механики и теории относительности в применении к атомной и ядерной физике, различные виды радиоактивности, в том числе и спонтанное деление ядер, свойства и модели атомных ядер, традиционные ядерные реакции и ядерные реакции при энергиях коллайдеров. Рассмотрено происхождение элементов во Вселенной и синтез новых сверхтяжёлых элементов в лабораториях учёных. Часть разделов посвящена ядерной энергетике и прикладным исследованиям в области радиационной биологии, экологии и применению методов ядерной физики в медицине. Значительная часть курса отведена практическим работам, большая часть которых имеет исследовательский характер.

Формами контроля за усвоением материала могут служить отчёты по практическим работам, самостоятельные творческие работы, тесты, итоговые учебно-исследовательские проекты. Итоговое занятие проходит в виде научно-практической конференции или круглого стола, на котором заслушиваются доклады учащихся по выбранной теме исследования, которые могут быть представлены в форме реферата или отчёта по исследовательской работе.

### **Направление программы:** общеинтеллектуальное

Программа предназначена учащимся старшей школы, выбравшим естественно-научный, физико-математический профили или проявившим повышенный интерес к изучению физики, химии, биологии, экологии.

**Актуальность программы** курса «Ядерная физика» заключается в том, что изучение направлено на углубление и обобщение знаний школьников о современной картине мира, основанной на квантовой механике и специальной теории относительности. Это позволяет по-другому взглянуть на изучаемый предмет, вызывает заинтересованность в изучении физики.

**Цель программы:** расширение, углубление и обобщение знаний о физических процессах в области ядерной физики, причинах и механизмах их протекания, развитие познавательных интересов и творческих способностей учащихся через практическую направленность обучения физике и интегрирующую роль физики в системе естественных наук.

### **Задачи программы:**

- развитие естественно-научного мировоззрения учащихся;
- развитие приёмов умственной деятельности, познавательных интересов, склонностей и способностей учащихся;
- развитие мотивации учения, формирование потребности в получении новых знаний и применении их на практике;
- расширение, углубление и обобщение знаний по физике, химии, биологии;

- использование межпредметных связей физики с математикой, биологией, химией, историей, экологией, рассмотрение значения этого курса для успешного освоения смежных дисциплин;
- совершенствование экспериментальных умений и навыков в соответствии с требованиями правил техники безопасности;
- рассмотрение связи ядерной физики с жизнью, с важнейшими сферами деятельности человека;
- развитие у учащихся умения самостоятельно работать с дополнительной литературой и другими средствами информации;
- формирование у учащихся умений анализировать, сопоставлять, применять теоретические знания на практике;
- формирование умений по решению экспериментальных и теоретических задач.

**Отличительные особенности программы:** программа курса «Ядерная физика» позволяет ученику овладеть функциональной грамотностью, что и является, по сути, целью современного образования.

### **Средства обучения и воспитания**

- Интернет-ресурсы.
- Мультимедийный проектор.
- Видеофильмы.

**Формами контроля за усвоением материала** могут служить отчёты по практическим работам, самостоятельные творческие работы, тесты, итоговые индивидуальные учебно-исследовательские проекты по профилю

**Адресат программы:** учащиеся 17-18 лет.

**Объем программы:** 34 часа.

**Формы обучения и виды занятий по программе:** групповые лекции, семинары, практические и лабораторные работы, исследовательские работы.

**Срок освоения программы:** 9 месяцев

**Режим занятий:**

№	Направление программы	Возрастная категория	Наполняемость группы	Количество занятий в неделю	Число и продолжительность занятий в день
1	общеинтеллектуальное	17-18 лет	10-25 человек	1	1 по 30 минут

**Количество часов в неделю - 1**

**Количество часов в год-34**

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ КУРСА ВНЕУРОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Изучение курса внеурочной деятельности «Ядерная физика» направлено на формирование личностных, метапредметных и предметных результатов обучения, соответствующих требованиям федерального государственного образовательного стандарта основного общего образования:

**Личностные результаты:**

1. Воспитание российской гражданской идентичности: патриотизма, уважения к Отечеству, осознания вклада отечественных учёных в развитие мировой науки;
2. Ответственные отношения к учению, готовность и способность к самообразованию и саморазвитию на основе мотивации к обучению и познанию, развитие самостоятельности в приобретении и совершенствовании новых знаний;

3. Познавательные интересы, развитие интеллектуальных, творческих способностей, формирование осознанного выбора и построение дальнейшей индивидуальной траектории образования;

4. Формирование целостного мировоззрения, соответствующего современному уровню развития науки и общественной практики, убежденности в возможности познания природы, в необходимости разумного использования достижений науки и технологий для дальнейшего развития человеческого общества, уважения к творцам науки и техники, отношения к физике как к элементу общечеловеческой культуры;

5. Умение контролировать процесс и результат учебной и исследовательской деятельности в процессе изучения законов природы;

6. Критичность мышления, инициатива, находчивость, активность при решении практических задач.

#### **Метапредметные результаты:**

1. Умение самостоятельно определять цели своего обучения, ставить и формулировать для себя новые задачи в учёбе, развивать мотивы и интересы своей познавательной деятельности;

2. Умение соотносить свои действия с планируемыми результатами, осуществлять контроль своей деятельности в процессе достижения результата, определять способы действий в рамках предложенных условий и требований, корректировать свои действия в соответствии с изменяющейся ситуацией;

3. Умение определять понятия, создавать обобщения, устанавливать аналогии, классифицировать, самостоятельно выбирать основания и критерии для классификации;

4. Устанавливать причинно-следственные связи, строить логическое рассуждение, умозаключение (индуктивное, дедуктивное и по аналогии) и делать выводы;

5. Развитие компетентности в области использования информационно-коммуникационных технологий.

6. Первоначальные представления об идеях и о методах физики как об универсальном инструменте науки и техники, о средстве моделирования явлений и процессов;

7. Умение видеть физическую задачу в контексте проблемной ситуации в других дисциплинах, в окружающей жизни;

8. Понимание сущности алгоритмических предписаний и умение действовать в соответствии с предложенным алгоритмом.

#### **Предметные результаты.**

*Учащийся научится:*

— раскрывать на примерах роль ядерной физики в формировании современной научной картины мира и в практической деятельности человека, взаимосвязь между физикой и другими естественными науками;

— объяснять и анализировать роль и место физики в формировании современной научной картины мира, в развитии современной техники и технологии, в практической деятельности людей;

— характеризовать взаимосвязь между физикой и другими естественными науками;

— понимать и объяснять целостность физической теории, различать границы её применимости и место в ряду других физических теорий;

— владеть приёмами построения теоретических доказательств, а также прогнозирования особенностей протекания физических явлений и процессов на основе полученных теоретических выводов и доказательств;

— самостоятельно планировать и проводить физические эксперименты;

— решать практико-ориентированные качественные и расчётные физические задачи с

опорой как на известные физические законы, закономерности и модели, так и на тексты с избыточной информацией;

— объяснять границы применения изученных физических моделей при решении физических и межпредметных задач;

— выдвигать гипотезы на основе знания основополагающих физических закономерностей и законов;

— объяснять принципы работы и характеристики изученных машин, приборов и технических устройств;

— объяснять условия применения физических моделей при решении физических задач, находить адекватную предложенной в задаче физическую модель, разрешать проблему как на основе имеющихся знаний, так и при помощи методов оценки.

*Учащийся получит возможность научиться:*

— описывать и анализировать полученную в результате проведённых физических экспериментов информацию, определять её достоверность;

— понимать и объяснять системную связь между основополагающими научными понятиями: пространство, время, материя (вещество, поле), движение, сила, энергия;

— решать экспериментальные, качественные и количественные задачи олимпиадного уровня сложности, используя физические законы, а также уравнения, связывающие физические величины;

— анализировать границы применимости физических законов, понимать всеобщий характер фундаментальных законов и ограниченность использования частных законов;

— формулировать и решать новые задачи, возникающие в ходе учебноисследовательской и проектной деятельности;

— усовершенствовать приборы и методы исследования в соответствии с поставленной задачей;

— использовать методы математического моделирования, в том числе простейшие статистические методы, для обработки результатов эксперимента.

## Содержание курса

### Введение (1 ч)

Излучение абсолютно чёрного тела и квантовая гипотеза Планка, открытие Дж. Дж. Томсоном электрона. Открытие рентгеновского излучения. Открытие А. А. Беккерелем радиоактивности. опыты Пьера и Марии Кюри. Создание А. Эйнштейном специальной теории относительности. Взаимосвязь между массой и энергией. Эксперимент Э. Резерфорда по открытию «планетарной» модели атомного ядра. Квантование энергии и модель Н. Бора. Последствия этих открытий для создания квантовой механики и ядерной физики как основы технического прогресса человечества в XX и XXI вв., создания картины микро- и макрокосмоса на основе Стандартной модели.

Формы организации деятельности – классно-урочная, работа над мини-проектами

Виды деятельности –обсуждение докладов, составление и решение задач, обсуждение способов решения.

### Тема 1. Квантовый мир атомов и молекул (1 ч)

Модель атома Бора и линейчатые спектры. Квантование энергии. Волны материи Л. де Бройля. Корпускулярно-волновой дуализм. Дифракция электронов на кристаллах. Фотоэффект и эффект Комптона. Принцип неопределённости Гейзенберга. Уравнение Шредингера. Волновая функция и её вероятностная интерпретация. Квантовый эффект туннелирования. Квантование углового момента. Спин электрона. Принцип запрета

Паули. Электронные оболочки атомов и Периодический закон Менделеева. Молекулы. Спектры атомов и молекул.

Формы организации деятельности – классно-урочная, работа над мини-проектами

Виды деятельности –обсуждение докладов и презентаций, составление и решение задач, обсуждение способов решения.

Тема 2. Масса и энергия в релятивистской теории (2 ч)

Основные постулаты специальной теории относительности. Преобразования Галилея и Лоренца. Инвариантность интервала.

Масса в классической механике и теории относительности. Преобразования Лоренца для импульса и энергии. Масса — релятивистский инвариант. Связь энергии и массы покоя. Примеры перехода массы в энергию и энергии в массу. Дефект массы и энергия связи ядер. Массы и энергия составных систем. Релятивистская кинематика и законы сохранения энергии и импульса.

Формы организации деятельности – классно-урочная, работа над мини-проектами

Виды деятельности –обсуждение докладов, составление и решение задач, обсуждение способов решения.

Тема 3. Атомные ядра и радиоактивность (2 ч)

Основные свойства атомных ядер: состав, размер, форма, заряд, масса ядра, энергия связи. Изотопы. Границы стабильности атомных ядер. Спин протона и нейтрона. Угловой момент ядра. Ядерные силы. Классическая протон-нейтронная модель ядра. Ядерные модели: ферми-газ, капельная, оболочечная и обобщённая модель ядра. Короткодействующие нуклонные корреляции в ядрах и кумулятивный ядерный эффект. Радиоактивность. Виды радиоактивности:  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -распад, спонтанное деление. Границы стабильности атомных ядер. Закон радиоактивного распада. Период полураспада. Активность радиоактивного источника. Качественные и расчётные задачи. Математический практикум «Статистический характер радиоактивного распада».

Формы организации деятельности – классно-урочная, работа над мини-проектами

Виды деятельности –обсуждение докладов и презентаций, составление и решение задач, обсуждение способов решения.

Тема 4. Ядерные реакции (1 ч)

Ядерные превращения в экспериментах Резерфорда. Открытие протона и нейтрона. Реакции деления ядер. Цепная ядерная реакция. Термоядерные реакции. Подпороговые реакции. Рождение антипротонов. Изучение структуры протонов и ядер в пучках электронов. Качественные и расчётные задачи.

Формы организации деятельности – классно-урочная, работа над мини-проектами

Виды деятельности –обсуждение докладов, составление и решение задач, обсуждение способов решения.

Тема 5. Происхождение элементов во Вселенной (1 ч)

Фундаментальные взаимодействия. Стандартная модель. Большой взрыв. Атомы водорода и легчайших элементов. Синтез элементов в звёздах. Взрывы сверхновых звёзд и нейтронные звёзды.

Формы организации деятельности – классно-урочная, работа над мини-проектами

Виды деятельности –обсуждение докладов и презентаций

Тема 6. Синтез новых сверхтяжёлых элементов (1 ч)

Трансурановые и трансфермиевые элементы. «Остров стабильности» и синтез новых сверхтяжёлых элементов. Лаборатория ядерных реакций имени академика Г. Н. Флёрва.

Модель циклотрона и детектора для регистрации сверхтяжёлых элементов. Как регистрируют сверхтяжёлые элементы.

Формы организации деятельности – классно-урочная, работа над мини-проектами

Виды деятельности –обсуждение докладов и презентаций.

Тема 7. Ускорители и коллайдеры (1 ч)

Принципы работы линейных и циклических ускорителей. Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном поле. В. И. Векслер: принцип автофазировки. А. М. Будкер: идея электронного охлаждения и первые встречные кольца. Большой адронный коллайдер (LHC) в Европе и коллайдер релятивистских ядер (RHIC). Модель ускорительного комплекса НИКА — российского коллайдера тяжёлых ионов.

Формы организации деятельности – классно-урочная, работа над мини-проектами

Виды деятельности –обсуждение докладов и презентаций.

Тема 8. Исследование столкновений релятивистских ядер (1 ч)

Что происходит при столкновениях релятивистских ядер. Детекторы для регистрации продуктов ядерных реакций. Основные характеристики реакций. Триггер для отбора событий. Время-проекционная камера. Электромагнитный калориметр, кремниевые детекторы для определения вершины взаимодействия.

Формы организации деятельности – классно-урочная, работа над мини-проектами

Виды деятельности –обсуждение докладов и презентаций.

Тема 9. Ядерная энергетика и глобальные проблемы человечества (1 ч)

Ядерная энергетика и глобальные проблемы человечества. Ядерные реакторы. Природные ядерные реакторы. Решение качественных и расчётных задач. Интерактивная модель ядерного реактора.

Формы организации деятельности – классно-урочная, работа над мини-проектами

Виды деятельности –обсуждение докладов и презентаций.

Тема 10. Ядерная физика и медицина (1 ч)

Ядерная физика и медицина. Модель ускорительного комплекса для протонной радиотерапии.

Формы организации деятельности – классно-урочная, работа над мини-проектами

Виды деятельности –обсуждение докладов и презентаций.

Тема 11. Ядерная физика с нейтронами (1 ч)

Ядерные исследования с нейтронами. Свойства нейтронных пучков. Модель исследовательского импульсного реактора на быстрых нейтронах ИБР-2. Применение нейтронного активационного анализа в экологии. Ядерная планетология. Поиск воды на Марсе при помощи источника нейтронов.

Формы организации деятельности – классно-урочная, работа над мини-проектами

Виды деятельности –обсуждение докладов и презентаций.

Тема 12. Радиобиология (1 ч)

Что изучает радиобиология. Состав космического излучения и его воздействие на живые организмы. Пилотируемые полёты в космос и радиационные риски. Астробиология. Моделирование радиационных повреждений клеток в среде GEANT.

Формы организации деятельности – классно-урочная, работа над мини-проектами

Виды деятельности –обсуждение докладов и презентаций.

Тема 13. Взаимодействие излучения с веществом (1 ч)

Взаимодействие заряженных частиц, фотонов и электронов с веществом.

Формы организации деятельности – классно-урочная, работа над мини-проектами

Виды деятельности –обсуждение докладов и презентаций.

Тема 14. Детекторы заряженных частиц и гамма-квантов (1 ч)

Различные типы детекторов: газовый, фотоэмульсии, пузырьковая камера, сцинтилляционный, полупроводниковый, детектор на основе микроканальных пластин. Съём сигнала с детектора. Энергетические и время-пролётные спектры. Современные методы съёма и оцифровки информации.

Формы организации деятельности – классно-урочная, работа над мини-проектами

Виды деятельности –обсуждение докладов и презентаций.

### ТЕМАТИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ

№п/п	Наименование разделов и общих тем	Всего часов	Теория	Практика
	Введение	1	1	
1	Квантовый мир атомов и молекул	1	1	
2	Масса и энергия в релятивистской теории	2	1	1
3	Атомные ядра и радиоактивность	2	1	1
4	Ядерные реакции	1	1	
5	Происхождение элементов во Вселенной	1	1	
6	Синтез новых сверхтяжелых элементов	1	1	
7	Ускорители и коллайдеры	1	1	
8	Исследование столкновений релятивистских ядер	1	1	
9	Ядерная энергетика и глобальные проблемы человечества	1	1	
10	Ядерная физика и медицина	1	1	
11	Ядерная физика с нейтронами	1	1	
12	Радиобиология	1	1	
13	Взаимодействие излучения с веществом	1	1	
15	Детекторы заряженных частиц и гамма-квантов	1	1	
	Итого	17	15	2

### КАЛЕНДАРНО-ТЕМАТИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ

№ занятия	№ занятия в теме	Тема занятия	Основное содержание	Дата
1	2	3	4	5
1	1	Великие открытия конца XIX — начала XX в.	Излучение абсолютно чёрного тела и квантовая гипотеза Планка, открытие Дж. Дж. Томсоном электрона. Открытие рентгеновского излучения. Открытие А. А. Беккерелем радиоактивности. Опыты Пьера и Марии	



			Кюри. Создание А. Эйнштейном специальной теории относительности. Взаимосвязь между массой и энергией. Главная формула XX в.: $E_0 = mc^2$ .	
<b>Тема 1. Квантовый мир атомов и молекул 3</b>				
2	1	Основные принципы квантовой механики	Модель атома Бора и линейчатые спектры. Квантование энергии. Волны материи Л. де-Бройля.	
3	2	Уравнение Шредингера. Понятие волновой функции. Квантовое туннелирование	Уравнение Шредингера. Волновая функция и её вероятностная интерпретация. Квантовый эффект туннелирования	
4	3	Квантование углового момента. Спин электрона. Принцип Паули	Квантование углового момента. Спин электрона. Принцип запрета Паули. Электронные оболочки атомов и Периодический закон Менделеева.	
<b>Тема 2. Масса и энергия в релятивистской теории</b>				
5	1	Основные постулаты специальной теории относительности	Основные постулаты специальной теории относительности.	
6	2	Масса, энергия, импульс в релятивистской физике	Масса в классической механике и теории относительности. Преобразования Лоренца для импульса и энергии. Масса — релятивистский инвариант. Связь энергии и массы покоя $E_0 = mc^2$ . Примеры перехода массы в энергию и энергии в массу. <i>Решение задач</i>	
<b>Тема 3. Атомные ядра и радиоактивность</b>				
7	1	Основные свойства атомных ядер	Основные свойства атомных ядер: состав, размер, форма, заряд, масса ядра, энергия связи. Изотопы.	
8	2	Ядерные модели	Ядерные силы. Классическая протон-нейтронная модель ядра. Ядерные модели: ферми-газ, капельная, оболочечная и обобщённая модель ядра.	
9	3	Радиоактивность. Виды радиоактивности	Радиоактивность. Виды радиоактивности: $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ -распад, спонтанное деление. <i>Качественные и расчётные задачи.</i>	
<b>Тема 4. Ядерные реакции</b>				

10	1	Ядерные реакции	Ядерные превращения в экспериментах Резерфорда. Открытие протона и нейтрона. Реакции деления ядер. Цепная ядерная реакция. Термоядерные реакции	
11	2	Примеры ядерных реакций	<i>Качественные и расчётные задачи</i>	
<b>Тема 5. Происхождение элементов во Вселенной</b>				
12	1	От большого взрыва до атома водорода	Фундаментальные взаимодействия. Стандартная модель. Большой взрыв. Атомы водорода и легчайших элементов	
13	2	Синтез элементов в звёздах	Синтез элементов в звёздах. Взрывы сверхновых звёзд и нейтронные звёзды	
<b>Тема 6. Синтез новых сверхтяжёлых элементов</b>				
14	1	Синтез новых сверхтяжёлых элементов	Трансурановые и трансфермиевые элементы. «Остров стабильности» и синтез новых сверхтяжёлых элементов. Как регистрируют сверхтяжёлые элементы	
<b>Тема 7. Ускорители и коллайдеры</b>				
15	1	Ускорители, принципы их работы	Принципы работы линейных и циклических ускорителей. Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях.	
16	2	Современные коллайдеры протонов и ядер	Большой адронный коллайдер (ЛHC) в Европе и коллайдер релятивистских ядер (RHIC). Модель ускорительного комплекса НИКА — российского коллайдера тяжёлых ионов	
<b>Тема 8. Исследование столкновений релятивистских ядер</b>				
17	1	Столкновения ядер при высоких энергиях и их регистрация	Что происходит при столкновениях релятивистских ядер. Детекторы для регистрации продуктов ядерных реакций. Основные характеристики реакций.	
<b>Тема 9. Ядерная энергетика и глобальные проблемы человечества</b>				
18	1	Ядерная энергетика и глобальные проблемы человечества	Ядерная энергетика и глобальные проблемы человечества. Ядерные реакторы. Природные ядерные реакторы.	
<b>Тема 10. Ядерная физика и медицина</b>				
19	1	Ядерная физика и медицина	Ядерная физика и медицина. Модель ускорительного комплекса для протонной радиотерапии	
<b>Тема 11. Ядерная физика с нейтронами</b>				
20	1	Ядерная физика с нейтронами	Ядерные исследования с нейтронами. Свойства нейтронных пучков. Модель исследовательского импульсного реактора на быстрых нейтронах ИБР-2.	
21	1	Радиобиология	Что изучает радиобиология. Состав космического излучения и его воз-	

			действие на живые организмы.	
22	1	Взаимодействие заряженных частиц с веществом	Взаимодействие заряженных частиц, фотонов и электронов с веществом	
<b>Тема 14. Детекторы заряженных частиц и гамма-квантов</b>				
23	1	Детекторы заряженных частиц и гамма-квантов	Различные типы детекторов: газовый, фотоэмульсии, пузырьковая камера, сцинтилляционный, полупроводниковый, детектор на основе микроканальных пластин.	
24-25	1-2	<i>Проведение виртуальной лабораторной работы «Основы измерения сигналов с детекторов»</i>	Обработка полученных результатов и оформление работы	
26-27	3-4	<i>Проведение виртуальной лабораторной работы «Сцинтилляционный телескоп для изучения космических лучей»</i>	Обработка полученных результатов и оформление работы	
28-29	5-6	<i>Проведение виртуальной лабораторной работы «Гамма-спектроскопия»</i>	Обработка полученных результатов и оформление работы	
30-31	7-8	<i>Проведение виртуальной лабораторной работы «Спонтанное деление ядер»</i>	Обработка полученных результатов и оформление работы	
32-33	9-10	Проведение математического практикума по обработке результатов измерений в среде ROOT	Обработка полученных результатов и оформление работы	
34	11	Проведение математического практикума по моделированию радиационных повреждений клетки в среде GEANT	Обработка полученных результатов и оформление работы	

#### ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ УЧИТЕЛЯ И УЧАЩИХСЯ

1. Окунь Л. Б. Элементарное введение в физику элементарных частиц / Л. Б. Окунь. — М.: Наука, 1985.

Эйнштейн А. Эволюция физики / А. Эйнштейн, Л. Инфельд. — М.: Наука, 1965.