

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой Геофизики



О. М. Муравина

17.05.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.04.02 Методы прикладной геофизики

1. Шифр и наименование направления подготовки/специальности:
05.03.01 Геология
2. Профиль подготовки/специализации: Геологические изыскания
3. Квалификация (степень) выпускника: бакалавр
4. Форма образования: очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: геофизики
6. Составители программы: Аузин Андрей Альбертович, д.т.н., профессор
7. Рекомендована: научно-методическим советом геологического факультета,
протокол № 7 от 17.05.2025 г.
8. Учебный год: 2028-2029 Семестр: 8

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целью преподавания дисциплины «Методы прикладной геофизики» является:

- подготовка бакалавров компетентных в сфере прикладных геофизических исследований, владеющих знаниями теоретических и физических основ геофизических методов, обладающих умениями и навыками проведения полевых геофизических исследований, обработки и комплексной интерпретации материалов геофизических исследований.

Задачами преподавания дисциплины являются:

- формирование у обучаемых представлений о геофизических полях, условиях их формирования и способах измерений их параметров;
- получение обучаемыми знаний о методиках проведения геофизических исследований, способах обработки и интерпретации получаемых материалов;
- приобретение обучаемыми практических навыков проведения полевых исследований и интерпретации получаемых данных.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: блок Б1, вариативная часть.

Требование к входным знаниям: базовые знания в области математического, естественнонаучного и общепрофессионального циклов дисциплин, а также в сфере применения математических методов в геофизике.

Дисциплины, для которых данная дисциплина является предшествующей: "Геофизические исследования скважин", "Разведка и геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых", "Инженерно-геологические изыскания".

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-4	Владеет геофизическими методами и методиками изучения геологического строения территорий, моделирует геологические характеристики объектов геологической съемки и поисков с использованием современных средств обработки и интерпретации геофизической информации	ПК-4.1	Владеет геофизическими методами и методиками изучения геологического строения закрытых территорий	Знать: возможности различных методов геофизических исследований; физические и теоретические основы методов. Уметь: проводить геофизические исследования основными методами и интерпретировать их результаты. Владеть: навыками обработки и интерпретации материалов геофизических исследований и приемами их проведения.
		ПК-4.2	Описывает и моделирует геологические характеристики объектов геологической съемки и поисков с использованием современных средств анализа и обработки информации	Знать: принципы решения прямых и обратных задач прикладной геофизики. Уметь: моделировать геофизические характеристики различных геологических и иных объектов. Владеть: навыками обработки и интерпретации данных геофизических исследований.
ПК-5	Выполняет экспериментальные наблюдения геофизических полей и лабораторные петрофизические исследования пород и руд, используя современные геофизические приборы, установки и иное	ПК-5.1	Выполняет экспериментальные наблюдения геофизических полей и лабораторные петрофизические исследования пород и руд, используя современные геофизические приборы, установки и иное оборудование	Знать: физические и теоретические основы геофизических методов, принципы действия применяемой аппаратуры. Уметь: выполнять геофизические исследования. Владеть: конкретными приемами проведения исследований. Выполняет экспериментальные наблюдения геофизических полей и лабораторные петрофизические исследования пород и руд, используя современные геофизические приборы, установки и иное

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час (в соответствии с учебным планом) — 2/72.

Форма промежуточной аттестации (зачет/экзамен): зачёт.

13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		7		...
Аудиторные занятия	72	72		
в том числе: лекции	16	16		
практические				
лабораторные	32	32		
Самостоятельная работа	24	24		
Форма промежуточной аттестации (зачет – 0 час. / экзамен – 36 час.)	0	0		
Итого:	72	72		

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1. Лекции		
1.1	Введение в дисциплину. Цели и задачи методов прикладной геофизики.	Основные понятия прикладной геофизики, содержание курса. Современные тенденции развития прикладных геофизических исследований. Обзор методов прикладной геофизики.
1.2	Физические основы применения геофизических методов. Методики проведения исследований. Принципы комплексирования геофизических исследований.	Физические основы и методики проведения магниторазведки, гравиразведки, электроразведки, сейсморазведки, терморазведки, ядерно-физических методов. Геофизические исследования скважин. Аэрогеофизические исследования.
1.3	Поисково-разведочные работы на рудные и твердые горючие полезные ископаемые.	Геофизические исследования при поисках и разведке различных типов месторождений руд цветных, черных и благородных металлов. Месторождения углей.
1.4	Поиски и разведка месторождений нефти и газа.	Геофизические исследования при поисках месторождений углеводородного сырья. Геофизические исследования на этапе разведки. Расчленение разрезов. Выделение коллекторов и определение их параметров.
1.5	Контроль за разработкой месторождений нефти и газа.	Контроль положения водонефтяного контакта и продвижения контура нефтегазоносности. Контроль притока в скважину.
1.6	Инженерно-геофизические исследования.	Геофизические исследования на этапе проектирования различных инженерных и иных сооружений. Геофизические методы контроля технического состояния различных сооружений. Геофизические методы изучения негативных геологических и инженерно-геологических явлений и процессов.
1.7	Геофизические методы при решении гидрогеологических задач.	Расчленение разрезов скважин, выделение водоносных коллекторов и определение их характеристик.
1.8	Геофизические методы при решении экологических задач.	Выявление и локализация областей загрязнения участков поверхности земли и подземных вод. Изучение площадок складирования твердых бытовых отходов.
2. Практические занятия		
3. Лабораторные работы		
3.1	Физические основы применения геофизических методов	Способы и методы измерения и регистрации различных геофизических полей.

3.2	исследований.	Методы изучения физических свойств горных пород и руд. Обработка результатов исследований.
3.3	Методики проведения геофизических исследований.	Аэрогеофизические исследования.
3.4		Акваторные геофизические исследования.
3.5		Наземные (полевые) геофизические исследования.
3.6		Геофизические исследования скважин.
3.7	Поисково-разведочные работы на рудные полезные ископаемые. Принципы комплексирования геофизических исследований.	Прогнозирование параметров геофизических полей для различных типов месторождений рудных полезных ископаемых.
3.8		Формирование оптимальных комплексов геофизических исследований при поисках и разведке для различных типов месторождений рудных полезных ископаемых.
3.9		Моделирование рудных объектов по данным геофизических исследований.
3.10	Поисково-разведочные работы на твердые горючие полезные ископаемые.	Формирование оптимального комплекса геофизических исследований при поисках и разведке месторождений углей.
3.11	Поиски и разведка месторождений нефти и газа.	Методики наземных геофизических исследований при поисках месторождений углеводородного сырья.
3.12		Расчленение разрезов скважин и выделение коллекторов. Определение фильтрационно-емкостных свойств коллекторов.
3.13	Контроль за разработкой месторождений нефти и газа.	Определение характера флюида притекающего в скважину
3.14	Инженерно-геофизические исследования.	Контроля технического состояния различных сооружений геофизическими методами.
3.15		Изучение негативных геологических и инженерно-геологических явлений и процессов геофизическими методами.
3.16	Геофизические методы при решении гидрогеологических задач.	Изучение динамики подземных вод геофизическими методами.

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)					
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Контроль	Всего
1	Введение в дисциплину. Цели и задачи методов прикладной геофизики.	2		0	2		4
2	Физические основы применения геофизических методов. Методики проведения исследований. Принципы комплексирования геофизических исследований.	2		12	4		18
3	Поисково-разведочные работы на рудные и твердые горючие полезные ископаемые.	2		8	2		12
4	Поиски и разведка месторождений нефти и газа.	2		4	4		10
5	Контроль за разработкой месторождений нефти и газа.	2		2	2		6
6	Инженерно-геофизические исследования.	2		4	4		10
7	Геофизические методы при решении гидрогеологических задач.	2		2	2		6
8	Геофизические методы при решении экологических задач.	2			4		6
	Итого:	16		32	24		72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

(рекомендации обучающимся по освоению дисциплины: работа с конспектами лекций, презентационным материалом, выполнение практических заданий, тестов, заданий текущей аттестации и т.д.)

Обучающимся следует использовать опубликованные методические пособия по курсам «Геофизические исследования скважин», «Промысловая геофизика» и др. из списка литературы, вопросы тестов и презентационные материалы электронных курсов лекций на Образовательном портале ВГУ - <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2430>.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины.

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Геофизика : учебник : [учебник для студ. вузов, обуч. по специальностям "Геология", "Геофизика", "Геохимия", "Гидрология и инженер. геология", "Геология и геохимия горючих ископаемых", "Экол. геология"] / [В.А. Богословский и др.] ; Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова, под ред. В.К. Хмелевского. — 3-е изд. — Москва : КДУ, 2012. — 318 с.
2	Мейер, В.А.. Геофизические исследования скважин : учебное пособие для студ. вузов, обуч. по спец. "Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых" / В.А. Мейер. — Л. : Изд-во Ленинград. ун-та, 1981. — 463 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3	Методические указания к лабораторным работам по курсу " Геофизические исследования скважин" для студентов 4 курса дневного отделения / Сост. А.А.Аузин. - Воронеж : ВГУ, 1995. - 16с.
4	Никитин, А.А. Комплексирование геофизических методов // А.А. Никитин, В.К. Хмелевской. – М.: ВНИИГеосистем, 2012. – 346 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
9	Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online» http://biblioclub.ru/
10	Электронно-библиотечная система «Лань» https://e.lanbook.com/
11	Электронно-библиотечная система «Консультант студента» http://www.studmedlib.ru
12	Электронный курс «Геофизические исследования скважин» – https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2430

* Вначале указываются ЭБС, с которыми имеются договора у ВГУ, затем открытые электронно-образовательные ресурсы

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1	Аузин А.А. Геофизические исследования скважин (обработка и интерпретация результатов геофизических исследований нефтегазовых скважин) / А.А. Аузин.. – Воронеж. Научная книга., 2017.- 32 с.
2	Геофизические исследования скважин (обработка и интерпретация результатов каротажа) : учебное пособие / сост. А.А. Аузин. — Воронеж : Научная книга, 2013. — 31 с. — Тираж 70. 1,9 п.л.

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)

Электронный курс лекций на Образовательном портале ВГУ – <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2430>.

Программа курса реализуется с применением дистанционных технологий.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Для материально-технического обеспечения дисциплины «Методы прикладной геофизики» используются: каротажная станция СКС-1 №304, электроразведочная аппаратура Рутил-1 и пр., Университетская пл., 1, ауд. 2п; учебно-научный геофизический полигон с учебной скважиной; аппаратура и оборудование, предназначенные для проведения скважинных исследований; методические материалы; лаборатория информационных технологий: 15 компьютеров Intel Pentium IV, мультимедийная система на ТВ, Университетская пл., 1, ауд. 104п.

19. Фонд оценочных средств:

19.1 Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС* (средства оценивания)
ПК-4.1 Владеет геофизическими методами и методиками изучения геологического строения территорий, моделирует геологические характеристики объектов геологической съемки и поисков с использованием современных средств обработки и интерпретации геофизической информации	Владеет геофизическими методами и методиками изучения геологического строения территорий, моделирует геологические характеристики объектов геологической съемки и поисков с использованием современных средств обработки и интерпретации геофизической информации	Введение в дисциплину. Цели и задачи методов прикладной геофизики. Физические основы применения геофизических методов. Методики проведения исследований. Принципы комплексирования геофизических исследований.	Тест № 1 Контроль освоения материала может осуществляться в дистанционной форме в соответствующем курсе на портале Moodle
ПК-4.2 Описывает и моделирует геологические характеристики объектов геологической съемки и поисков с использованием современных средств анализа и обработки информации	Описывает и моделирует геологические характеристики объектов геологической съемки и поисков с использованием современных средств анализа и обработки информации	Поисково-разведочные работы на рудные и твердые горючие полезные ископаемые. Поиски и разведка месторождений нефти и газа. Контроль за разработкой месторождений нефти и газа. Инженерно-геофизические исследования. Геофизические методы при решении гидрогеологических задач. Геофизические методы при решении экологических задач.	Тест № 2 Контроль освоения материала может осуществляться в дистанционной форме в соответствующем курсе на портале Moodle.
ПК 5.1 Выполняет экспериментальные наблюдения геофизических полей и лабораторные петрофизические исследования пород и руд, используя современные геофизические приборы, установки и иное оборудование	Выполняет экспериментальные наблюдения геофизических полей и лабораторные петрофизические исследования пород и руд, используя современные геофизические приборы, установки и иное оборудование	Физические основы применения геофизических методов. Методики проведения исследований. Принципы комплексирования геофизических исследований.	Тест 3 Контроль освоения материала может осуществляться в дистанционной форме в соответствующем курсе на портале Moodle.
Итоговая аттестация (зачет) Контроль освоения материала может осуществляться в дистанционной форме в соответствующем курсе на портале Moodle.			КИМ № 1

19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при итоговой аттестации

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся владеет, понятийным аппаратом и теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен иллюстрировать ответ примерами и фактами, фрагментарно способен применять теоретические знания для решения практических задач в области геофизических исследований скважин.	Пороговый уровень	Зачтено
Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания в базовых положениях и теоретических основах дисциплины, допускает грубые ошибки в иллюстрировании результатов и применении изученных методов при решении задач геофизических исследований скважин.	–	Не зачтено

19.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

19.3.1 Перечень вопросов к зачёту:

1. Особенности применения геофизических методов на различных этапах и стадиях геологоразведочных работ.
2. Физические параметры, используемые при геофизических исследованиях.
3. Методика петрофизических исследований. Современная аппаратура для определения физических свойств горных пород и руд.
4. Физические основы магниторазведки.
5. Основы гравиметрии.
6. Физические основы электроразведки.
7. Геофизические исследования скважин.
8. Ядерно-геофизические методы.
9. Сейсморазведка.
10. Геофизические методы при поисках месторождений цветных металлов.
11. Геофизические методы при поисках месторождений черных металлов.
12. Геофизические методы при поисках месторождений нефти и газа.
13. Контроль за разработкой месторождений нефти и газа.
14. Геофизические методы при инженерно-геологических исследованиях.
15. Геофизические методы при решении гидрогеологических задач.
16. Геофизические методы при решении экологических задач.
17. Изучение месторождений твердых горючих полезных ископаемых.

19.3.2 Перечень практических заданий

19.3.4 Тестовые задания

Тест № 1

1. Электромагнитные свойства горных пород и руд.
2. Наземные методы прикладной геофизики и их физические основы.
3. Геофизические исследования скважин.
4. Теоретические и петрофизические основы электромагнитных методов.
5. Способы измерения электромагнитных полей.
6. Способы решения прямых задач геофизики.
7. Интерпретация материалов электроразведки.
8. Гравимагнитные методы исследований.

Тест № 2

1. Физические основы геоэлектрохимических методов.
2. Ядерно-физические методы.
3. Основы комплексирования геофизических методов.
4. Геофизические методы поисков и разведки месторождения железа.
5. Геофизические методы поисков и разведки месторождений углей..
6. Геофизические методы поисков месторождений нефти.
7. Геофизические методы на этапе разведки нефтяных месторождений.
8. Геофизические методы при поисках месторождений полиметаллов.

Тест № 3

1. Упругие свойства пород.
2. Магнитные свойства горных пород и руд.
3. Прикладные возможности терморазведки.
4. Контроль за разработкой месторождений нефти и газа.
5. Контроль технического состояния искусственных сооружений.
6. Геофизические методы при инженерно-геологических исследованиях.
7. Задачи, решаемые гавиразведкой.
8. Аэрогеофизические методы.

19.3.4 Перечень заданий для контрольных работ

19.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме(ах): практических занятий, лабораторных работ, выполнение тестирования, курсовая работа. Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний, позволяющие оценить степень сформированности умений и навыков деятельности в области геофизических исследований скважин.

При оценивании используются качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.

ПК-4 Владеет геофизическими методами и методиками изучения геологического строения территорий, моделирует геологические характеристики объектов геологической съемки и поисков с использованием современных средств обработки и интерпретации геофизической информации

1) Закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности)

ЗАДАНИЕ 1. Какие из перечисленных групп методов относятся к методам скважинной геофизики и позволяют исследовать около- и межскважинное пространство?

1. Метод межскважинной корреляции, межскважинное акустическое просвечивание, скважинная магниторазведка.
2. Вертикальное сейсмическое профилирование, каротаж сопротивления, метод заряда.
3. Индукционный каротаж, скважинная магниторазведка, гамма-каротаж.
4. Нейтронный каротаж, скважинная гравиразведка, боковой каротаж.

3) Открытые задания (ситуационные задачи, повышенный уровень сложности)

ЗАДАНИЕ 1. Скважинное радиоволновое просвечивание.

Ответ (5 баллов): Скважинное радиоволновое просвечивание (СРВП) основано на изучении параметров, характеризующих прохождение искусственно создаваемого электромагнитного излучения радиоволнового диапазона частот через массивы горных пород. При радиоволновом просвечивании неоднородных по электромагнитным параметрам участков разреза наблюдаются такие явления, как неодинаковое поглощение радиоволн горными породами и рудами, их отражение и преломление, дифракция на краях геологических объектов, волноводные эффекты.

В большинстве случаев СРВП проводится с установками типа "скважина-скважина". Применение установок "скважина-поверхность" и "поверхность-скважина" практикуется гораздо реже. Исследования с односкважинными установками обычно сопровождают межскважинное просвечивание и имеют целью определение электромагнитных параметров пород в околоскважинном пространстве относительно небольшого объема.

В качестве источников и приёмников электромагнитного излучения в СРВП применяются электрические дипольные антенны, как правило, конструктивно близкие к четверть- и полуволновым вибраторам. Применительно к скважинным исследованиям такие антенны обладают наиболее благоприятными характеристиками, прежде всего, диаграммой направленности и габаритами.

Окончательным результатом интерпретации материалов межскважинного радиоволнового просвечивания должны являться геоэлектрические разрезы, дифференцированные на зоны с раз-

личным уровнем поглощения радиоволн, которые, как правило, совпадают с областями повышенной проводимости.

Ответ (2 балла): Скважинное радиоволновое просвечивание (СРВП) основано на изучении параметров, характеризующих прохождение искусственно создаваемого электромагнитного излучения радиоволнового диапазона частот через горные породы. Основным фактором, влияющим на величину регистрируемого сигнала, является неодинаковое поглощение радиоволн горными породами и рудами, вызванное их различной электропроводностью.

В большинстве случаев СРВП проводится с установками типа "скважина-скважина".

В качестве источников и приёмников электромагнитного излучения в СРВП применяются электрические дипольные антенны.

Результатом интерпретации материалов межскважинного радиоволнового просвечивания обычно являются геоэлектрические разрезы, дифференцированные на зоны с различным уровнем поглощения радиоволн, которые, как правило, совпадают с областями повышенной проводимости.

ПК-5 Выполняет экспериментальные наблюдения геофизических полей и лабораторные петрофизические исследования пород и руд, используя современные геофизические приборы, установки и иное

1) Закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

ЗАДАНИЕ 1. Какой из перечисленных методов относится к ядерно-физическим?

1. Гамма-каротаж.
2. Каротаж сопротивления.
3. Акустический каротаж.

3) Открытые задания (ситуационные задачи, средний уровень сложности):

ЗАДАНИЕ 1. Взаимодействие гамма-излучения с веществом горных пород.

Ответ (5 баллов): Основными видами взаимодействия гамма-квантов с веществом являются фотоэффект, комптон-эффект и образование электронно-позитронных пар. Вероятность протекания того или иного процесса определяется атомным номером вещества и энергией гамма-квантов.

Фотоэффектом называют такое взаимодействие гамма-кванта с атомом, при котором квант поглощается, полностью передавая свою энергию одному из электронов атома (чаще всего – электрону внутренних орбит). При этом электрон покидает атом. Фотоэлектрическое поглощение играет важную роль, когда энергия мягкого гамма-излучения соизмерима с энергией связи электронов в атоме. Фотоэлектрическое поглощение для атома не является законченным процессом. Атом, из которого выбиты электроны, оказывается возбуждённым и его возвращение в устойчивое состояние может сопровождаться испусканием характеристического рентгеновского излучения.

Комптон-эффект наблюдается при энергиях гамма-квантов существенно превышающих энергию связи электронов в атоме. В процессе взаимодействия, носящего характер упругого соударения, γ -квант передаёт электрону часть своей энергии и изменяет направление движения.

Образование пар состоит в превращении γ -кванта в электростатическом поле ядра или атомного электрона в электронно-позитронную пару. Процесс образования пар имеет энергетический порог равный удвоенной энергии покоя электрона: $0,511 \text{ МэВ} \times 2 = 1,022 \text{ МэВ}$. Эффект образования пар становится заметным при энергиях первичных γ -квантов больших 5 МэВ.

Ответ (2 балла): Основными видами взаимодействия гамма-квантов с веществом являются фотоэффект, комптон-эффект и образование электронно-позитронных пар.

Фотоэффектом называют такое взаимодействие гамма-кванта с атомом, при котором квант поглощается, полностью передавая свою энергию одному из электронов атома. При этом электрон покидает атом. Фотоэлектрическое поглощение играет важную роль, когда энергия мягкого гамма-излучения соизмерима с энергией связи электронов в атоме.

Комптон-эффект наблюдается при энергиях гамма-квантов существенно превышающих энергию связи электронов в атоме. В процессе взаимодействия, носящего характер упругого соударения, γ -квант передаёт электрону часть своей энергии и изменяет направление движения.

Образование пар состоит в превращении γ -кванта в электростатическом поле ядра или атомного электрона в электронно-позитронную пару.