Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 19.06.2024 11:35:06
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Факультет машиностроения

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета машиностроения
_____ /Е.В. Сафонов/
«15» февраля 2024 г.

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

# Физические свойства твердых тел

Направление подготовки
**22.03.02. «Металлургия**

Образовательная программа (профиль подготовки)
**«Инновации в металлургии»**

Квалификация (степень) выпускника
**Бакалавр**

Форма обучения
**Очно-заочная, заочная**

Москва, 2024 г.

**Разработчик:**
Ст. преподаватель кафедры металлургии  Козырева О.Е.

**Согласовано:**
Заведующий кафедрой металлургии  Шульгин А.В.

# Содержание

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине....4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы....5
3. Структура и содержание дисциплины....5
3.1. Виды учебной работы и трудоемкость....5
3.2. Тематический план изучения дисциплины....6
3.3. Содержание дисциплины....7
3.4. Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий....7
3.5. Тематика курсовых проектов (курсовых работ)....8
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение....9
4.1. Нормативные документы и ГОСТы....9
4.2. Основная литература....9
4.3. Дополнительная литература....9
4.4. Электронные образовательные ресурсы....9
4.5. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение....9
4.6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы....10
5. Материально-техническое обеспечение....10
6. Методические рекомендации....10
6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения....10
6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины....11
7. Фонд оценочных средств....11
7.1. Методы контроля и оценивания результатов обучения....11
7.2. Шкала и критерии оценивания результатов обучения....12
7.3. Оценочные средства....13

## 1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

Целью учебной дисциплины «Физические свойства твердых тел» является формирование знаний о структурах, свойствах и техническом применении современных конструкционных материалов с упорядоченным и аморфным строением.

Задачи:

- приобретение теоретических знаний об основных характеристиках структуры и свойств упорядоченных и аморфных твердых тел;
- экспериментальное и практическое изучение физических и механических свойств тел с упорядоченным и аморфным строением;
- формирование представления о наиболее важных технических характеристиках (ультразвуковые, электрические) твердых тел;
- освоение основных областей их технического применения.

Планируемые результаты обучения: формирование знаний об основных свойствах упорядоченных и аморфных тел и их применении в современной промышленности; приобретение практических навыков использования основных их физических и механических свойств, в соответствии с требуемой инженерной задачей; формирование навыков и знаний в области технического применения полупроводниковых материалов и оптических квантовых генераторов

Обучение по дисциплине «Физические свойства твердых тел» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

| **Код и наименование компетенций** | **Индикаторы достижения компетенции** |
|---|---|
| УК-1<br>Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач | ИУК-1.1. Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие<br><br>ИУК-1.2. Осуществляет поиск, критически оценивает, обобщает, систематизирует и ранжирует информацию, требуемую для решения поставленной задачи<br>ИУК-1.3. Рассматривает и предлагает рациональные варианты решения поставленной задачи, используя системный подход, критически оценивает их достоинства и недостатки |
| ПК-1<br>Способен выбирать методы планирования, подготовки и проведения исследований, наблюдений, испытаний, измерений и применять их на практике, анализировать, обрабатывать и представлять результаты | ИПК-1.1 - Знает методы исследований, проведения, обработки и анализа результатов испытаний и измерений. Критерии выбора методов и методик исследований<br>ИПК-1.2 Умеет проводить испытания, измерения и обработку результатов. Регистрировать показания приборов. Проводит расчёты и критически анализирует результаты, делает выводы<br>ИПК-1.3 Владеет выбором испытательного и измерительного оборудования, необходимого для проведения |

| | |
|---|---|
| | исследований.<br>Выполняет оценки и обработки результатов исследования |

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.2.ЭД.3 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина «Физико – химические методы анализа» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами и практиками ООП:

- физика;
- физическая химия;
- материаловедение;
- математический анализ.

## 3. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных(е) единиц(ы) (108 часов).

### 3.1 Виды учебной работы и трудоемкость

(по формам обучения)

3.1.1.Очно-заочная форма обучения

| № п/п | Вид учебной работы | Количество часов | Семестр |
|---|---|---|---|
| **1** | **Аудиторные занятия** | **36** | 5 |
| | В том числе: | | |
| 1.1 | Лекции | 18 | 5 |
| 1.2 | Семинарские/практические занятия | | |
| 1.3 | Лабораторные занятия | 18 | 5 |
| **2** | **Самостоятельная работа** | **72** | 5 |
| **3** | **Промежуточная аттестация** | | |
| | Зачет/диф.зачет/экзамен | | Экзамен |
| | **Итого** | **108** | 5 |

3.1.2.Заочная форма обучения

| № п/п | Вид учебной работы | Количество часов | Семестр |
|---|---|---|---|
| **1** | **Аудиторные занятия** | **10** | 7 |
| | В том числе: | | |
| 1.1 | Лекции | 6 | 7 |
| 1.2 | Семинарские/практические занятия | | 7 |
| 1.3 | Лабораторные занятия | 4 | |
| **2** | **Самостоятельная работа** | **98** | 7 |
| **3** | **Промежуточная аттестация** | | |
| | Зачет/диф.зачет/экзамен | | Экзамен |
| | **Итого** | **108** | 7 |

### 3.2 Тематический план изучения дисциплины
(по формам обучения)

3.2.1.Очно-заочная форма обучения

| п/п | Разделы/темы Дисциплины | Трудоемкость, час | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Всего | Аудиторная работа | | | | Самостоятельная работа |
| | | | Лекции | Семинарские/ практические занятия | Лабораторные занятия | Практическая подготовка | |
| **1 1** | **Раздел 1. Структуры конденсированных твердых и жидких тел** | | **6** | | **4** | | **16** |
| 1.1 | Тема 1. Структуры конденсированных (твердых и жидких) тел | | 2 | | 4 | | 4 |
| 1.2 | Тема 2. Характеристика жидкого состояния вещества | | 2 | | | | 4 |
| 1.3 | Тема 3. Строение кристаллических тел | | 2 | | | | 4 |
| **2 2** | **Раздел 2. Физические свойства твердых тел** | | **2** | | **4** | | 4 |
| 2.1 | Тема 4. Физические свойства твердых тел | | 2 | | 4 | | **30** |
| **3** | **Раздел 3. Механические свойства твердых тел. Физическая природа разрушения материалов** | | **4** | | **4** | | 20 |
| 3.1 | Тема 5. Механические характеристики твердых тел | | 2 | | 4 | | 10 |
| 3.2 | Тема 6. Разрушение металлов | | 2 | | | | **4** |
| **4** | **Раздел 4.Физические явления в твердых телах** | | **4** | | **2** | | 4 |
| 4.1 | Тема 7.Физические явления в твердых телах | | 4 | | 2 | | **22** |
| **5** | **Раздел 5 Техническое использование некоторых свойств твердых тел** | | 2 | | 4 | | 4 |
| 5.1 | Тема 8. Техническое использование некоторых твердых тел | | 2 | | 4 | | 18 |
| | **Итого** | **108** | **18** | | **18** | | **72** |

3.2.2. Заочная форма обучения

| п/п | Разделы/темы Дисциплины | Трудоемкость, час | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Всего | Аудиторная работа | | | | Самостоятельная работа |
| | | | Лекции | Семинарские/ практические занятия | Лабораторные занятия | Практическая подготовка | |
| **1 1** | **Раздел 1. Структуры конденсированных твердых и жидких тел** | | **2** | | **1** | | **32** |
| 1.1 | Тема 1. Структуры конденсированных (твердых и жидких) тел | | | | | | 8 |
| 1.2 | Тема 2. Характеристика жидкого состояния вещества | | | | | | 8 |
| 1.3 | Тема 3. Строение кристаллических тел | | | | | | 8 |
| **2 2** | **Раздел 2. Физические свойства твердых тел** | | 1 | | 1 | | 8 |
| 2.1 | Тема 4. Физические свойства твердых тел | | | | | | |
| **3** | **Раздел 3. Механические свойства твердых тел. Физическая природа разрушения материалов** | | 1 | | 1 | | **16** |
| 3.1 | Тема 5. Механические характеристики твердых тел | | | | | | 16 |
| 3.2 | Тема 6. Разрушение металлов | | | | | | |
| **4** | **Раздел 4.Физические явления в твердых телах** | | 1 | | 1 | | 8 |
| 4.1 | Тема 7.Физические явления в твердых телах | | | | | | **8** |
| **5** | **Раздел 5 Техническое использование некоторых свойств твердых тел** | | 1 | | | | 8 |
| 5.1 | Тема 8. Техническое использование некоторых твердых тел | | | | | | 18 |
| | **Итого** | **108** | **6** | | **4** | | **98** |

### 3.3 Содержание дисциплины

Тема 1. 1.1. Особенности изменения агрегатных состояний вещества. Кристаллические и аморфные тела. Моно- и поликристаллы. Природа сил связи между атомами и молекулами в твёрдых телах. Ионная связь. Ковалентная связь. Молекулярные связи. Металлическая связь в твёрдых телах. Влияние кинетической и потенциальной энергии тел на их агрегатные состояния ..

Тема 2. Сопоставление свойств жидких и твёрдых тел. Поверхностный слой. Энергия поверхностного слоя вещества Формула Лапласа Смачиваемость и несмачиваемость поверхностей. Капиллярные явления.

Тема 3. Строение кристаллических тел: Рост реальных кристаллов. Виды симметрии кристаллических решёток. Дефекты в кристаллах.

Тема 4. Физические свойства твердых тел: Особенности строения поликристаллических тел. Тепловое расширение материалов. Теплоёмкости твёрдых тел. Закон Дюлонга и Пти. Теплопроводности твёрдых тел. Фононы и их свойства.

Тема 5. Механические характеристики твердых тел: Деформация твёрдых тел. Упругость, пластичность и хрупкость твёрдых тел. Работа разрушения и остаточный ресурс материалов.

Тема 6. Разрушение металлов: Остаточные напряжения. Трещины, характер их роста и особенности разрушения образцов. Физические процессы, протекающие при разрушении материалов.

Тема 7. Физические явления в твердых телах: Упругие волны в твёрдых телах Источники и приёмники ультразвуковых волн Кавитация Технологическое использование ультразвука. Применение ультразвука для неразрушающего контроля изделий. Ультразвуковая медицинская диагностика Ультразвуковая очистка деталей Ультразвуковая пайка Ультразвуковое сверление. Другие направления технологического применения ультразвука. Элементы зонной теории твёрдых тел Металлы. Экспериментальные основы электропроводности металлов. Работа выхода и эмиссия электронов. Двойной электрический слой. Термоэлектронная эмиссия. Фотоэлектронная эмиссия. Красная граница фотоэффекта. Контактная разность потенциалов Внешняя контактная разность потенциалов. Внутренняя контактная разность потенциалов.

Тема 8. Техническое использование некоторых твердых тел: Полупроводники, их собственная проводимость. Примесная проводимость полупроводников. Полупроводниковые приборы. Диоды. Транзисторы. Источники рентгеновского излучения. Оптические квантовые генераторы (лазеры).

### 3.4Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

3.4.1.Семинарские/практические занятия
Учебным планом не предусмотрены

3.4.2.Лабораторные занятия

Лабораторная работа № 1. Определение параметров кристаллической решетки с использованием метода дифракции.

Лабораторная работа № 2. Исследование температурной зависимости теплоемкости.

Лабораторная работа № 3. Определение ударной вязкости

Лабораторная работа № 4. Измерение ширины запрещенной зоны полупроводника

Лабораторная работа № 5. Изучение фотоэлектрических свойств диода

### 3.5 Тематика курсовых проектов (курсовых работ)

Учебным планом не предусмотрены

## 4. Учебно-методическое и информационное обеспечение

### 4.1 Нормативные документы и ГОСТы

Не используются.

### 4.2 Основная литература

1. Васильев Д. М. Кристаллография: учебник для вузов. — СПбГПУ, 2003.
2. Верещагин И. К., Кокин С. М., Никитенко С. М. Физика твѐрдого тела. — Высшая школа, 2001.
3. Винтайкин Б. Е. Физика твѐрдого тела. — Изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008.
4. Гуревич А. Г. Физика твѐрдого тела. — БХВ-Петербург, 2004.
5. Гутов В. А., Осауленко Р. Н. Физика твѐрдого тела для инженеров. — Техносфера, 2007.

### 4.3 Дополнительная литература

1. Кривцов А. М. Деформирование и разрушение твѐрдых тел с микроструктурой. — Физматлит, 2007.
2. Неразрушающий контроль и диагностика. Справочник под ред. В. В. Клюева. — Машиностроение, 1995.
3. Павлов П. В., Хохлов А. Ф. Физика твѐрдого тела. — Высш. Шк., 2000.
4. Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 2. — Наука, 2007.

### 4.4 Электронные образовательные ресурсы

1. Физические свойства твердых тел.
https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=12340

### 4.5 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

| № | Наименование | Разработчик ПО (правообладатель) | Доступность (лицензионное, свободно распространяемое) | Ссылка на Единый реестр российских программ для ЭВМ и БД (при наличии) |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Мой Офис | ООО "НОВЫЕ ОБЛАЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ" | Лицензионное | https://reestr.digital.gov.ru/reestr/301558/?sphrase_id=943375 |

### 4.6 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

| № | Наименование | Ссылка на ресурс | Доступность |
|---|---|---|---|
| **Информационно-справочные системы** | | | |
| 1. | Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс | http:// www.consultant.ru | Доступно |
| **Электронно-библиотечные системы** | | | |
| 1. | Лань | https://e.lanbook.com/ | Доступна в сети Интернет без ограничений |
| 2. | IPR Books | https://www.iprbookshop.ru/ | Доступна в сети Интернет без ограничений |
| **Профессиональные базы данных** | | | |
| 1. | База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU) | http://www.elibrary.ru | Доступно |
| 2. | WebofScienceCoreCollection – политематическая реферативно-библиографическая и наукометрическая (библиометрическая) база данных | http://webofscience.com | Доступно |

## 5. Материально-техническое обеспечение

Аудитории кафедры «Металлургия» ав1204, ав1205, ав1206, ав1206а оснащены ноутбуками, проектором, экраном, учебным материалом.

## 6. Методические рекомендации

### 6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

При организации учебных занятий (лекций, семинаров, практических занятий, лабораторных, самостоятельных и выпускных работ, а также курсового проектирования)

следует использовать элементы интерактивного обучения на всех этапах для вовлечения студентов в процесс познания. Для этого целесообразно использовать следующие формы:

– диалоговое обучение, в ходе которого осуществляется взаимодействие преподавателя и студента;

– моделирование, то есть воспроизведение в условиях обучения по данной дисциплине процессов, происходящих в реальности;

– компьютеризация обучения для интенсификации и расширения возможностей образовательного процесса;

– использование средств наглядности: стенды с комплектом учебно-методической литературы, плакаты по темам, натурные образцы, мультимедийные системы, картотеку учебных видеослайдов и видеофильмов и др.

### 6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Для максимальной индивидуализации деятельности студента, Учебным планом предусматривается время для самостоятельной работы.

Среди основных видов самостоятельной работы традиционно выделяют: творческую деятельность студента в аудитории, при внеаудиторных контактах с преподавателем на консультациях и домашней подготовке к лекциям, семинарским и практическим занятиям, зачетам и экзаменам, презентациям и докладам; написание рефератов, выполнение лабораторных и контрольных работ; участие в научной работе и пр.

Цель самостоятельной работы студента – осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свою профессиональную квалификацию.

Планирование времени на самостоятельную работу студентам лучше осуществлять на весь семестр и предусматривать регулярное повторение пройденного учебного материала.

Для более углубленного изучения рекомендуется использовать издания, указанные в списке дополнительной литературы.

## 7. Фонд оценочных средств

### 7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения

Для контроля успеваемости и качества освоения дисциплины настоящей программой предусмотрены следующие виды контроля:

- контроль текущей успеваемости (текущий контроль, онлайн тестирования);

- промежуточная аттестация (экзамен).

## 7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения

**Форма промежуточной аттестации: экзамен.**

Промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю) методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

Обязательными условиями подготовки студента к промежуточной аттестации является выполнение студентом всех предусмотренных форм текущего контроля.

| Шкала оценивания | Описание |
|---|---|
| Отлично | Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков, предусмотренных при изучении дисциплины, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации. |
| Хорошо | Выполнены все обязательные условия подготовки студента к промежуточной аттестации, предусмотренные программой дисциплины. Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: основных способов ОМД, теории процессов, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях. |
| Удовлетвори-тельно | Выполнены все обязательные условия подготовки студента к промежуточной аттестации, предусмотренные программой дисциплины. Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: основных способов ОМД, теории процессов. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые |

| | |
|---|---|
| | ситуации. |
| Неудовлетво-рительно | Не выполнены обязательные условия подготовки студента к промежуточной аттестации, предусмотренные программой дисциплины, ИЛИ Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков, предусмотренных при изучении дисциплины, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации. |

## 7.3 Оценочные средства

7.3.1. Текущий контроль

В процессе обучения используются оценочные средства рубежного контроля успеваемости и промежуточных аттестаций и следующие виды самостоятельной работы:

- чтение рекомендуемой литературы при подготовке к лекционным, практическим и самостоятельным (контрольным) заданиям;
- бланковое и компьютерное тестирование;
- рефераты, доклады на СНК.

Планирование времени на самостоятельную работу студентам лучше осуществлять на весь семестр и предусматривать регулярное повторение пройденного учебного материала.

Для более углубленного изучения рекомендуется использовать издания, указанные в списке дополнительной литературы.

Для расширения знаний следует использовать также сведения, полученные из Интернет-источников на соответствующих сайтах, а также проводить поиск в различных системах, таких как Yandex, Rambler, и пользоваться специализированными сайтами, такими как www.anticor.ru, http://www.naukaran.ru, http://www.maik.ru и другими, рекомендованными преподавателем на лекционных занятиях.

7.3.2. Промежуточная аттестация

Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

В результате освоения дисциплины (модуля) формируются следующие компетенции:

| Код компетенции | В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать |
|---|---|
| УК-1 | Способностью осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач |
| ПК-1 | Способностью выбирать методы планирования, подготовки и проведения исследований, наблюдений, испытаний, измерений и применять их на практике, анализировать, обрабатывать и представлять результаты |

В процессе освоения образовательной программы данные компетенции, в том числе их отдельные компоненты, формируются поэтапно в ходе освоения обучающимися дисциплин (модулей), практик в соответствии с учебным планом и календарным графиком учебного процесса.

**Контрольные вопросы для промежуточной аттестации**

1. Кристаллические и аморфные тела. Моно- и поликристаллы
2. Природа сил связи между атомами и молекулами в твёрдых телах
3. Влияние кинетической и потенциальной энергии тел на их агрегатные состояния
4. Сопоставление свойств жидких и твёрдых тел
5. Поверхностный слой. Энергия поверхностного слоя вещества
6. Формула Лапласа
7. Смачиваемость и несмачиваемость поверхностей.
8. Капиллярные явления
9. Рост реальных кристаллов
10. Виды симметрии кристаллических решёток
11. Дефекты в кристаллах
12. Особенности строения поликристаллических тел
13. Тепловое расширение материалов
14. Теплоёмкости твёрдых тел. Закон Дюлонга и Пти
15. Теплопроводности твёрдых тел. Фононы и их свойства
16. Деформация твёрдых тел
17. Упругость, пластичность и хрупкость твёрдых тел
18. Работа разрушения и остаточный ресурс материалов
19. Остаточные напряжения
20. Трещины, характер их роста и особенности разрушения образцов

21. Физические процессы, протекающие при разрушении материалов
22. Упругие волны в твёрдых телах
23. Источники и приѐмники ультразвуковых волн
24. Кавитация
25. Технологическое использование ультразвука
26. Применение ультразвука для неразрушающего контроля изделий
27. Элементы зонной теории твёрдых тел
28. Металлы
29. Экспериментальные основы электропроводности металлов
30. Работа выхода и эмиссия электронов. Двойной электрический слой.
31. Термоэлектронная эмиссия
32. Фотоэлектронная эмиссия. Красная граница фотоэффекта
33. Контактная разность потенциалов
34. Внешняя контактная разность потенциалов
35. Внутренняя контактная разность потенциалов
36. Полупроводники, их собственная проводимость
37. Примесная проводимость полупроводников
38. Полупроводниковые приборы
39. Диоды
40. Транзисторы
41. Источники рентгеновского излучения
42. Оптические квантовые генераторы (лазеры)