

**ГОУ ВПО Российско-Армянский (Славянский)  
университет**

Директор Института

А.К. Агаронян



**«30» апреля 2025г., протокол № 05**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ**

**Наименование дисциплины: Б1.О.10 Физика макросистем**

**Автор (ы) к.ф.-м.н., преподаватель Апатеан Севак Суренович**  
*Ф.И.О, ученое звание (при наличии), ученая степень (при наличии)*

**Направление подготовки: 11.03.03 Электроника и нанoeлектроника**  
**Наименование образовательной программы: Конструирование и  
технология электронных средств**

**Согласовано:**

Заведующий Кафедрой общей физики и квантовых наноструктур

Айрапетян Д.Б.



(подпись)

## 1. АННОТАЦИЯ

### 1.1. Краткое описание содержания данной дисциплины;

Дисциплина "Физика макросистем" посвящена изучению закономерностей поведения систем с большим числом частиц на основе термодинамики и статистической физики. Рассматриваются фундаментальные понятия термодинамического равновесия, флуктуаций, фазовых переходов и коллективных явлений. Курс формирует представление о взаимосвязи между микроскопическими свойствами частиц и макроскопическими параметрами среды.

### 1.2. Трудоемкость в академических кредитах и часах, формы итогового контроля (экзамен/зачет);

6 академических кредитов / 216 часов. Форма итогового контроля — экзамен.

### 1.3. Взаимосвязь дисциплины с другими дисциплинами учебного плана специальности (направления)

Механика, Волновые процессы, Электромагнетизм, Квантовая физика.

### 1.4. Результаты освоения программы дисциплины:

| <b>Код компетенции</b> (в соответствии рабочим с учебным планом) | <b>Наименование компетенции</b> (в соответствии рабочим с учебным планом)                                                                                                  | <b>Код индикатора достижения компетенций</b> (в соответствии рабочим с учебным планом) | <b>Наименование индикатора достижений компетенций</b> (в соответствии рабочим с учебным планом)              |
|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| УК-2                                                             | Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений | УК-2.1                                                                                 | Знает виды ресурсов и ограничений для решения профессиональных задач                                         |
| УК-2                                                             | Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений | УК-2.2                                                                                 | Умеет проводить анализ поставленной цели и формулировать задачи, которые необходимо решить для ее достижения |
| УК-2                                                             | Способен определять круг задач в                                                                                                                                           | УК-2.3                                                                                 | Владеет методиками                                                                                           |

|       |                                                                                                                                             |         |                                                                                                                                          |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|       | рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений   |         | разработки цели и задач проекта                                                                                                          |
| ОПК-1 | Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности                   | ОПК-1.1 | Знает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы и методы накопления, передачи и обработки информации. |
| ОПК-1 | Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности                   | ОПК-1.2 | Умеет применять физические законы и математически методы для решения задач теоретического и прикладного характера.                       |
| ОПК-1 | Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности                   | ОПК-1.3 | Владеет навыками использования знаний физики и математики при решении практических задач.                                                |
| ОПК-2 | Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных | ОПК-2.1 | Знает основные методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации.                       |
| ОПК-2 | Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных | ОПК-2.2 | Умеет выбирать способы и средства измерений и проводить экспериментальные исследования.                                                  |
| ОПК-2 | Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных | ОПК-2.3 | Владеет способами обработки и представления полученных данных и оценки погрешности результатов измерений.                                |

## 2. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

### 2.1. Цели и задачи дисциплины

**Цель:** Сформировать у студентов фундаментальные представления о законах и методах описания поведения макроскопических систем на основе термодинамики и статистической физики.

**Задачи:**

- Изучить основные законы и принципы термодинамики;
- Ознакомить с методами статистического описания макроскопических систем;
- Понять природу фазовых переходов и флуктуационных явлений;
- Научиться применять теоретические модели для анализа физических процессов в макросистемах;
- Развить навыки решения задач, связанных с термодинамическими и статистическими характеристиками систем.

**2.2. Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы (в академических часах и зачетных единицах) (удалить строки, которые не будут применены в рамках дисциплины)**

| Виды учебной работы                                                    | Всего, в<br>акад.<br>часах | Распределение<br>по семестрам |
|------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
|                                                                        |                            | 1<br>сем                      |
| 1                                                                      | 2                          | 3                             |
| <b>1.Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:</b> | <b>216</b>                 | <b>216</b>                    |
| 1.1.Аудиторные занятия, в т. ч.:                                       | <b>112</b>                 | <b>112</b>                    |
| 1.1.1.Лекции                                                           | <b>48</b>                  | <b>48</b>                     |
| 1.1.2.Практические занятия, в т. ч.                                    | <b>32</b>                  | <b>32</b>                     |
| 1.1.3.Лабораторные работы                                              | <b>32</b>                  | <b>32</b>                     |
| 1.2.Самостоятельная работа, в т. ч.:                                   | <b>56</b>                  | <b>56</b>                     |
| 1.3. Консультации                                                      |                            |                               |
| Итоговый контроль (Экзамен, Зачет, диф. зачет - указать)               | Экзамен                    | <b>48</b>                     |

## 2.3. Содержание дисциплины

**2.3.1. Тематический план и трудоемкость аудиторных занятий (модули, разделы дисциплины и виды занятий) по рабочему учебному плану**

| Разделы и темы дисциплины           | Всего<br>(ак. часов) | Лекции<br>(ак.<br>часов) | Практ.<br>Занятия<br>(ак.<br>часов) | Лабор.<br>(ак.<br>часов) |
|-------------------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| 1                                   | 2=3+4+5+6<br>+7      | 3                        | 4                                   | 6                        |
| Тема 1. Первое начало термодинамики | 24                   | 8                        | 6                                   | 6                        |

|                                                          |            |           |           |           |
|----------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| Тема 2. Статистическая физика. Распределения Максвелла и | 8          | 8         | 4         | 4         |
| Тема 3. Второе начало термодинамики. Энтропия            | 8          | 8         | 4         | 4         |
| Тема 4. Квантовые статистики и их применения             | 8          | 8         | 4         | 4         |
| Тема 5. Состояния вещества                               | 8          | 8         | 4         | 4         |
| Тема 6. Неравновесные макросистемы                       |            | 8         | 4         | 4         |
| <b>ИТОГО</b>                                             | <b>120</b> | <b>48</b> | <b>32</b> | <b>32</b> |

### 2.3.2. Краткое содержание разделов дисциплины в виде тематического плана

**Тема 1. Первое начало термодинамики** Рассматриваются основные понятия внутренней энергии, теплоты и работы, формулировки первого начала термодинамики, а также применение закона сохранения энергии к термодинамическим процессам в макроскопических системах.

**Тема 2. Статистическая физика. Распределения Максвелла и Больцмана** Рассматриваются основы статистического описания макроскопических систем. Изучаются распределения Максвелла для скоростей молекул и Больцмана — для энергий, их физический смысл и применение к идеальному газу.

**Тема 3. Второе начало термодинамики. Энтропия** Рассматриваются формулировки второго начала термодинамики, понятие необратимости процессов и введение энтропии как меры беспорядка. Объясняется направление естественных процессов и роль энтропии в установлении теплового равновесия.

**Тема 4. Квантовые статистики и их применения** Рассматриваются различия между классической и квантовой статистикой. Изучаются статистики Бозе — Эйнштейна и Ферми — Дирака, их физический смысл и применение к системам с большим числом частиц, таким как электроны в металле и фотоны в излучении.

**Тема 5. Состояния вещества** Изучаются основные агрегатные состояния вещества: твёрдое, жидкое, газообразное и плазма. Рассматриваются их характеристики на микроскопическом уровне, переходы между состояниями и условия их существования.

**Тема 6. Неравновесные макросистемы** Рассматриваются системы, находящиеся вне термодинамического равновесия. Изучаются процессы переноса массы, импульса и энергии, а также роль градиентов и флуктуаций в их описании. *Литература:* [2], [5]

### 2.3.3. Краткое содержание семинарских/практических занятий/лабораторного практикума

Практические занятия включают решение задач, направленных на количественное описание макроскопических систем, анализ термодинамических процессов, моделирование распределений и неравновесных состояний с использованием программных средств (например, MATLAB, Python с SciPy), а также обработку экспериментальных данных.

1. Первое и второе начала термодинамики
2. Распределения Максвелла и Больцмана
3. Энтропия и термодинамическая вероятность
4. Квантовые статистики: Бозе — Эйнштейна и Ферми — Дирака
5. Переходы фаз и состояния вещества
6. Неравновесные процессы и транспортные явления

### 2.3.4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- Мультимедийное оборудование для лекций.
- Учебная лаборатория для проведения лабораторных занятий

### 2.4. Модульная структура дисциплины с распределением весов по формам контролей

| Формы контролей                                                                         | Вес формы (форм) текущего контроля в результирующей оценке текущего контроля (по модулям) |     | Вес формы промежуточного контроля в итоговой оценке промежуточного контроля |     | Вес итоговой оценки промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей |     | Вес итоговой оценки промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей (семестровой оценке) | Веса результирующей оценки промежуточных контролей и оценки итогового контроля в результирующей оценке итогового контроля |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------------------------------------------------------------------|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                         | M1 <sup>1</sup>                                                                           | M2  | M1                                                                          | M2  | M1                                                                                          | M2  |                                                                                                                  |                                                                                                                           |
| Вид учебной работы/контроля                                                             |                                                                                           |     |                                                                             |     |                                                                                             |     |                                                                                                                  |                                                                                                                           |
| Контрольная работа <i>(при наличии)</i>                                                 |                                                                                           |     | 0.5                                                                         | 0.5 |                                                                                             |     |                                                                                                                  |                                                                                                                           |
| Устный опрос <i>(при наличии)</i>                                                       |                                                                                           |     |                                                                             |     |                                                                                             |     |                                                                                                                  |                                                                                                                           |
| Лабораторные работы <i>(при наличии)</i>                                                | 0.5                                                                                       | 0.5 |                                                                             |     |                                                                                             |     |                                                                                                                  |                                                                                                                           |
| Письменные домашние задания <i>(при наличии)</i>                                        |                                                                                           |     |                                                                             |     |                                                                                             |     |                                                                                                                  |                                                                                                                           |
| Решение задач                                                                           | 0.5                                                                                       | 0.5 |                                                                             |     |                                                                                             |     |                                                                                                                  |                                                                                                                           |
| Веса результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей |                                                                                           |     |                                                                             |     | 0.5                                                                                         | 0.5 |                                                                                                                  |                                                                                                                           |

<sup>1</sup> Учебный Модуль

|                                                                                                  |              |              |              |              |              |              |              |              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Веса оценок промежуточных контролей в итоговых оценках промежуточных контролей                   |              |              |              |              |              |              |              |              |
| Вес итоговой оценки 1-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей |              |              |              |              |              |              | 0.5          |              |
| Вес итоговой оценки 2-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей |              |              |              |              |              |              | 0.5          |              |
| Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля     |              |              |              |              |              |              |              | 0.5          |
| <b>Вес итогового контроля (Экзамен/зачет)</b> в результирующей оценке итогового контроля         |              |              |              |              |              |              |              | 0.5          |
|                                                                                                  | $\Sigma = 1$ | $\Sigma = 1$ | $\Sigma = 1$ | $\Sigma = 1$ | $\Sigma = 1$ | $\Sigma = 1$ | $\Sigma = 1$ | $\Sigma = 1$ |

### 3. Теоретический блок *(указываются материалы, необходимые для освоения учебной программы дисциплины)*

#### 3.1. Материалы по теоретической части курса

##### 3.1.1. Учебник(и);

- Иродов И.Е., Физика макросистем, Основные законы, 2015г
- Молекулярная физика, Кикоин, Абрам Константинович; Кикоин, Исаак Константинович, 2008г.
- Курс общей физики, Т. 1. Механика. Молекулярная физика, Савельев, Игорь Владимирович, 2008г.

##### 3.1.2. Учебное(ые) пособие(я);

- Смирнов В.И. *Неравновесные процессы в физике*, СПб.: Лань, 2017

### 4. Фонды оценочных средств *(указываются материалы, необходимые для проверки уровня знаний в соответствии с содержанием учебной программы дисциплины).*

#### 4.1. Планы практических и семинарских занятий

| № | Тема практического занятия              | Основные понятия                                   | Упражнения и типовые задачи (по Иродову)          |
|---|-----------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 1 | Введение. Макросистемы и макропараметры | Состояние, параметры, термодинамическое равновесие | Обсуждение задач 1.1–1.5 (том «Молекулярная физи- |

| №  | Тема практического занятия                      | Основные понятия                                       | Упражнения и типовые задачи (по Иродову) |
|----|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------|
|    |                                                 |                                                        | ка»)                                     |
| 2  | Температура и её измерение                      | Термометры, температурные шкалы, нулевая термодинамика | Задачи 1.6–1.10                          |
| 3  | Молекулярно-кинетическая теория идеального газа | Средняя энергия, уравнение состояния, давление         | Задачи 2.1–2.15                          |
| 4  | Распределение Максвелла и характерные скорости  | Модель распределения, температурная зависимость        | Задачи 2.16–2.25                         |
| 5  | Работа и теплота. Первый закон термодинамики    | Внутренняя энергия, работа, теплоёмкость               | Задачи 3.1–3.10                          |
| 6  | Политропные процессы. Адиабата                  | Изменение параметров, графики процессов                | Задачи 3.11–3.18                         |
| 7  | Второй закон термодинамики. Энтропия            | Обратимость, циклы, изменение энтропии                 | Задачи 4.1–4.15                          |
| 8  | Циклы тепловых машин. КПД                       | Карно, холодильные машины, КПД и эксергия              | Задачи 4.16–4.25                         |
| 9  | Фазовые переходы                                | Условия фазового равновесия, диаграммы                 | Задачи 5.1–5.8                           |
| 10 | Повторение и анализ типовых задач               | Обобщение, подготовка к зачёту/контролю                | Обзор задач повышенной сложности         |

#### 4.2. Планы лабораторных работ и практикумов

| № | Название лабораторной работы                             | Цель работы                                                     | Основные измеряемые и рассчитываемые величины |
|---|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1 | Изучение закона Бойля–Мариотта                           | Проверка зависимости $PV = \text{const}$ при $T = \text{const}$ | Давление, объем, температура                  |
| 2 | Определение теплоемкости твёрдого тела                   | Исследование теплоёмкости методом нагрева                       | Температура, масса, мощность                  |
| 3 | Изучение уравнения состояния идеального газа             | Проверка $PV = nRT$ , определение постоянной $R$                | Объём, давление, температура                  |
| 4 | Определение коэффициента теплопроводности                | Измерение теплового потока через материалы                      | $\Delta T$ , мощность, геометрия образца      |
| 5 | Исследование изотермического и адиабатического процессов | Построение графиков $P-V$ процессов, сравнение с теорией        | Давление, объём, температура                  |
| 6 | Определение коэффициента линейного расширения            | Наблюдение теплового удлинения твёрдых тел                      | $\Delta L$ , температура, исходная длина      |

| №  | Название лабораторной работы                                   | Цель работы                                               | Основные измеряемые и рассчитываемые величины |
|----|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 7  | Определение скрытой теплоты плавления льда                     | Расчёт по энергии, затраченной на фазовый переход         | Масса, температура, энергия                   |
| 8  | Исследование термодинамического цикла (цикл Карно, модельный)  | Построение цикла, оценка КПД                              | Тепло, работа, температура                    |
| 9  | Статистический эксперимент: моделирование распределения частиц | Имитация макрораспределений в системах с микросостояниями | Распределения, средние значения               |
| 10 | Итоговая лабораторная (комбинированная или проектная работа)   | Подтверждение нескольких термодинамических законов        | Системный подход, обоснование результатов     |

#### 4.3. Материалы по практической части курса

##### 4.3.1. Задачники (практикумы);

1. Иродов И.Е. – *Задачи по общей физике*
2. Савельев И.В. – *Курс общей физики. Задачи и упражнения. Том*
3. Земанский М., Дитманн Р. — *Теплота и термодинамика: курс и задачи*

#### 4.4. Вопросы и задания для самостоятельной работы студентов

1. Рассчитать изменение внутренней энергии идеального газа при изотермическом, изобарическом и изохорическом процессах, используя первое начало термодинамики. Привести выводы и графики зависимости.
2. Проанализировать условия фазового перехода первого рода на примере перехода жидкость–пар. Описать физический смысл параметров Клапейрона–Клаузиуса и провести расчет температуры кипения вещества при пониженном давлении.
3. Исследовать модель теплопроводности в твердых телах с использованием уравнения теплопроводности Фурье. Составить расчетную задачу и решить её с применением соответствующих граничных условий.
4. Построить изотермы Ван-дер-Ваальса для реального газа и определить область метастабильных и нестабильных состояний. Описать метод Максвелла для построения изотермы с равновесием фаз.

5. Описать процессы переноса массы, импульса и энергии в макросистемах, определить уравнения непрерывности и на их основе рассчитать стационарное распределение плотности потока в цилиндрической системе координат.
6. Рассчитать энтропию и её изменение при квазистатическом адиабатическом и необратимом процессе. Обосновать термодинамическое неравенство Клаузиуса и его применение к реальным макросистемам.
7. Исследовать критическое состояние вещества, определить критические параметры (температуру, давление, объем) на основе уравнения состояния. Привести примеры практического значения критических параметров в технических системах.

#### 4.5. Образцы вариантов контрольных работ, тестов и/или других форм текущих и промежуточных контролей

Тест

##### Вариант 1

1. Как изменяется давление идеального газа при уменьшении объёма в 2 раза при постоянной температуре?
  - А) Уменьшается в 2 раза
  - Б) Увеличивается в 2 раза
  - В) Увеличивается в 4 раза
  - Г) Не изменяется
2. Средняя кинетическая энергия молекулы идеального газа пропорциональна:
  - А) массе молекулы
  - Б) объёму газа
  - В) температуре
  - Г) давлению
3. Первый закон термодинамики выражается уравнением:
  - А)  $Q = A + \Delta U$
  - Б)  $Q = \Delta U - A$
  - В)  $A = Q + \Delta U$
  - Г)  $Q = A - \Delta U$
4. Работа газа при изотермическом расширении рассчитывается по формуле:
  - А)  $A = p \Delta V$

Б)  $A = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$   $A = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$   $A = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$

В)  $A = \Delta U$   $A = \Delta U$   $A = \Delta U$

Г)  $A = C_V \Delta T$   $A = C_V \Delta T$   $A = C_V \Delta T$

**5.** Что происходит с внутренней энергией идеального одноатомного газа при адиабатическом расширении?

А) Увеличивается

Б) Не изменяется

В) Уменьшается

Г) Зависит от начального давления

**6.** Энтропия замкнутой системы:

А) Всегда остаётся постоянной

Б) Может уменьшаться

В) Может увеличиваться или уменьшаться

Г) Никогда не убывает

**7.** Какой процесс протекает при постоянной температуре?

А) Изобарный

Б) Изохорный

В) Адиабатный

Г) Изотермический

**8.** Уравнение состояния идеального газа:

А)  $pV = nRT$   $pV = nRT$   $pV = nRT$

Б)  $p = \rho gh$   $p = \rho gh$   $p = \rho gh$

В)  $F = ma$   $F = ma$   $F = ma$

Г)  $pV = \text{const}$   $pV = \text{const}$   $pV = \text{const}$

**9.** Коэффициент полезного действия идеального теплового двигателя Карно зависит от:

А) теплотворной способности топлива

Б) разности давлений

В) температуры нагревателя и холодильника

Г) объёма газа

**10.** При фазовом переходе первого рода (например, плавлении):

А) температура изменяется

Б) внутренняя энергия не меняется

В) происходит изменение агрегатного состояния

Г) энтропия не меняется

Ключи к тесту

| № вопроса | Правильный ответ |
|-----------|------------------|
| 1         | Б                |
| 2         | В                |
| 3         | А                |
| 4         | Б                |
| 5         | В                |
| 6         | Г                |
| 7         | Г                |
| 8         | А                |
| 9         | В                |
| 10        | В                |

#### 4.6. Перечень экзаменационных вопросов

1. Состояние системы. Процессы
2. Первое начало термодинамики
3. Теплоемкость идеального газа
4. Политропические процессы
5. Молекулярно-кинетическая теория
6. Гипотеза о равномерном распределении энергии по степеням свободы
7. Газ Ван-дер-Ваальса
8. Вероятность. Средние значения
9. Распределение Максвелла
10. Опытная проверка распределения Максвелла
11. Распределение Больцмана
12. Второе начало термодинамики
13. Энтропия
14. О вычислении и применении энтропии
15. Статистический смысл второго начала термодинамики
16. Энтропия и вероятность
17. Термодинамические соотношения
18. Квантовые статистики
19. Распределение Ферми-Дирака для электронов в металлах
20. О зонной теории. Электропроводность
21. Распределение Бозе-Эйнштейна для фотонного газа

22. Теплоемкость твердого тела
23. Изотермы Ван-дер-Ваальса
24. Фазовые переходы
25. Жидкое состояние
26. Кристаллическое состояние
27. Плазма
28. Инверсная среда. Лазеры
29. Явления переноса
30. Молекулярно-кинетическая интерпретация явлений переноса

#### 4.7. Образцы экзаменационных билетов

**ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**  
**Кафедра общей физики и квантовых наноструктур**

**Направление: Конструирование и технология электронных средств**

**Дисциплина: Физика Макросистем  
(бакалавриат III-ий курс, I-ый семестр)**

**Экзаменационный билет № \*\***

1. Второе начало термодинамики
2. Изотермы Ван-дер-Ваальса
3. Задача. В закрытом сосуде объемом  $V=10$  л находится  $n=0,5$  моль одноатомного идеального газа при температуре  $T_1=300$  К. Газ медленно нагревают при постоянном объеме до температуры  $T_2=600$  К. Определить изменение внутренней энергии газа, количество теплоты, переданное газу, работу, совершённую газом, изменение энтропии газа при нагревании, а также обсудить обратимость данного процесса.

Зав. кафедрой ОФКН \_\_\_\_\_ Д.Б. Айрапетян  
20 \_\_\_\_ г.

---

---