

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»
Факультет фундаментальной физико-химической инженерии

УТВЕРЖДЕН

на заседании Ученого совета

« 14 » июня 2013 г.

протокол № 4

Заместитель декана по учебной работе

_____ / Григорьева Л.Д. /

« 14 » июня 2013 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

дисциплины «ТЕРМОДИНАМИКА И СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА»

Специальность
010701 "Физика"

Квалификация
"Физик"

Форма обучения
очная

УМК соответствует учебному плану
подготовки,
утвержденному ректором Московского
государственного университета им.
М.В.Ломоносова академиком РАН В.А.
Садовничим 23.10.2009

Москва 2013

Название дисциплины: Термодинамика и статистическая физика.

1. Цели и задачи освоения дисциплины:

Цель: дать студенту систематическое изложение статистической физики вместе с термодинамикой и обучить соответствующим методам основанных на статистическом и феноменологическом рассмотрении различных физических явлений.

Задачи: развитие у студентов навыков физического мышления и умения ставить и решать задачи о поведении сложных систем, используя методы статистической физики и термодинамики.

2. Требования к результатам освоения содержания дисциплины:

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать: основные законы и закономерности термодинамики и статистической физики, способы аналитического представления этих закономерностей.

Уметь: формулировать конкретные задачи на основе законов и закономерностей, освоенных в курсе термодинамики и статистической физики; получать данные, проводить их математическую обработку, обобщать полученные результаты.

Владеть: расчетными методами решения задач, навыками поиска данных в открытых источниках (в том числе, в информационных базах данных) и применять их при решении практических задач.

Приобрести опыт деятельности: в анализе, формулировке и решении конкретных задач, интересующих фундаментальную науку и практику.

3. Содержание и структура дисциплины

3.1. Содержание разделов дисциплины (К – коллоквиум, Т – проверочная самостоятельная работа (тест), РК – рубежная контрольная работа, ДЗ – домашнее задание, РГЗ – расчетно-графическое задание)

№ раздела	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
1	Основные положения термодинамики	Основные положения термодинамики, основное уравнение термодинамики для равновесных процессов, энтропия, парадокс Гиббса.	ДЗ, РК
2	Второе начало термодинамики	Второе начало термодинамики для неравновесных процессов, пределы применимости второго закона термодинамики, третий закон термодинамики, следствия третьего закона термодинамики, вычисление энтропии и поведение теплоемкостей при $T \rightarrow 0$ К.	
3	Термодинамические потенциалы	Термодинамические потенциалы, преобразование Лежандра, якобианы, соотношения Максвелла, термодинамические системы.	
4.	Условия термодинамического	Условия термодинамического равновесия и устойчивости, условия равновесия двухфазной однокомпонентной системы, соотношения Онсагера, принцип Ле Шателье – Брауна.	

	го равнове- сия	
5	Термоди- намика гальвани- ческих и топливных элементов	Термодинамика гальванических и топливных элементов, охлаждение газа при обратимом и необратимом адиабатных расширениях, эффект Джоуля—Томсона.
6	уравнения термоди- намики для диэлектри- ков	Основные уравнения термодинамики для диэлектриков, уравнения систем в магнитном поле.
7	Равновесие систем	Равновесие гомогенной системы, равновесие гетерогенной системы, правило фаз Гиббса, тройная точка, равновесие бинарных систем, классификация фазовых переходов, критические и за- критические явления.
8	Термоди- намические свойства воды	Термодинамические свойства переохлажденной воды, теория второй критической точки воды; аномалии удельного объема, теплоемкости, К.Т.Р. и сжимаемости для переохлажденной воды.
9	Теория Ландау фа- зовых пе- реходов второго рода	Теория Ландау фазовых переходов второго рода, термодинамический потенциал, фазовые переходы второго рода в сегнетоэлектриках, суперионные фазовые переходы.
10	Распреде- ления Гиб- бса и Маквелла	Общие методы равновесной статистической механики. Распределение Гиббса, распределение Максвелла; свободная энергия в распределении Гиббса, распределение Гиббса с переменным числом частиц.
11	Распреде- ление Больцмана,	Теория идеальных систем. Распределение Больцмана, свободная энергия больцмановского идеального газа, статистическое уравнение состояния идеального газа.
12	Распреде- ления Ферми и Бозе	Статистическая теория неидеальных систем. Теория флуктуаций. Броуновское движение и случайные процессы. Распределение Ферми, распределение Бозе, вырожденный электронный газ, теплоёмкость электронного газа, вырожденный Бозе-газ, конденсация Бозе – Эйнштейна, теплоёмкость кристаллической решетки, классическая модель для вычисления энергии решетки, модель Эйнштейна, модель Дебая (низкие температуры), флуктуации энергии.

3.2. Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 134 часа, из них лекции – 68 часов, семинары – 34 часа, самостоятельная работа – 32 часа.

Вид работы	Семестр 7	Семестр 8	Всего
Общая трудоемкость	72	62	134
Аудиторная работа:	54	48	102
Лекции (Л)	36	32	68
Практические занятия (ПЗ)	18	16	34
Лабораторные работы (ЛР)	0	0	0
Самостоятельная работа	18	14	32
Вид итогового контроля	экзамен	экзамен	

Разделы дисциплины по семестрам

№ раз-дела	Наименование раздела	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Внеаудиторная работа
			Л	ПЗ	ЛР	
1	Основные положения термодинамики	18	8	4		6
2	Второе начало термодинамики	18	8	4		6
3	Термодинамические потенциалы	14	8	4		2
4	Условия термодинамического равновесия	8	4	2		2
5	Термодинамика гальванических и топливных элементов	8	4	2		2
6	уравнения термодинамики для диэлектриков	8	4	2		2
7	Равновесие систем	8	4	2		2
8	Термодинамические свойства воды	8	4	2		2
9	Теория Ландау фазовых переходов второго рода	8	4	2		2
10	Распределения Гиббса и Максвелла	14	8	4		2
11	Распределение Больцмана,	8	4	2		2
12	Распределения Ферми и Бозе	14	8	4		2
	Итого:	134	68	34		32

3.3. Практические занятия (семинары)

№ раз-	№ за-	Тема	Кол-во
--------	-------	------	--------

дела	нятия		часов
1	1	Основные положения термодинамики	4
2	2	Второе начало термодинамики	4
3	3	Термодинамические потенциалы	4
4	4	Условия термодинамического равновесия	2
5	5	Термодинамика гальванических и топливных элементов	2
6	6	Уравнения термодинамики для диэлектриков	2
7	7	Равновесие систем	2
8	8	Термодинамические свойства воды	2
9	9	Теория Ландау фазовых переходов второго рода	2
10	10	Распределения Гиббса и Максвелла	4
11	11	Распределение Больцмана,	2
12	12	Распределения Ферми и Бозе	4

3.4. Самостоятельное изучение разделов дисциплин

№ раздела	№ вопроса	Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение	Кол-во часов
1	1	Уравнение состояния.	2
	2	Законы термодинамики.	2
	3	Энтропия.	2
2	4	Термодинамические потенциалы, преобразование Лежандра, якобианы	2
	5	Соотношения Максвелла, термодинамические системы	2
	6	Условия термодинамического равновесия и устойчивости	2
3	7	Термодинамика гальванических и топливных элементов	2
4	8	Эффект Джоуля—Томсона	2
5	9	Основные уравнения термодинамики для диэлектриков.	2
6	10	Равновесие гомогенной системы, равновесие гетерогенной системы, правило фаз Гиббса, тройная точка, равновесие бинарных систем, классификация фазовых переходов, критические и закритические явления.	2
7	11	Термодинамические свойства переохлажденной воды, теория второй критической точки воды; аномалии удельного объема, теплоемкости, К.Т.Р. и сжимаемости для переохлажденной воды.	2
8	12	Теория Ландау фазовых переходов второго рода, термодинамический потенциал, фазовые переходы второго рода в сегнетоэлектриках, суперионные фазовые переходы.	2

9	13	Статистическое распределение. Фазовое пространство. Фазовая траектория. Статистическая независимость. Энтропия	2
10	14	Распределение Гиббса, распределение Максвелла; свободная энергия в распределении Гиббса, распределение Гиббса с переменным числом частиц	2
11	15	Больцмана, свободная энергия больцмановского идеального газа, статистическое уравнение состояния идеального газа.	2
12	16	Распределение Ферми, распределение Бозе, вырожденный электронный газ, теплоёмкость электронного газа, вырожденный Бозе-газ, конденсация Бозе – Эйнштейна, теплоёмкость кристаллической решетки, классическая модель для вычисления энергии решетки, модель Эйнштейна, модель Дебая (низкие температуры), флуктуации энергии.	2

4. Образовательные технологии

4.1. Интерактивные образовательные технологии, используемые в аудиторных занятиях

Семестр	Вид занятия	Интерактивные образовательные технологии	Кол-во часов
7,8	Лекции, семинары	мультимедийный проектор, презентация, интерактивная доска	102
Итого			102

5. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

1) Типовые варианты (2 билета) контрольной работы по термодинамике.

Билет №1.

1. Найти плотность ρ морской воды на глубине 5км, если на поверхности океана плотность $\rho_0=1,03 \text{ гр/см}^3$, а сжимаемость воды в пределах давлений от 1атм до 500атм постоянна и составляет $\gamma=47,4 \times 10^{-6} \text{ атм}^{-1}$.
2. Показать, что если в некотором состоянии $(\partial T/\partial S)_p = 0$, то для устойчивости такого состояния должна одновременно обращаться в нуль также и вторая производная $(\partial^2 T/\partial S^2)_p = 0$, а $(\partial^3 T/\partial S^3)_p > 0$.
3. Термодинамический потенциал G одного моля некоторого вещества дается выражением

$$G = -\frac{RT}{2} \ln \left(\frac{AT^5}{p^2} \right)$$

Где A =конст. Найти теплоемкость C_V этого вещества.

Билет №2.

1. Химический потенциал однокомпонентного идеального газа имеет вид

$$\mu = \varphi(T) + kT \ln \left[\frac{p(T)}{p_0} \right]$$

Получить выражение для большого термодинамического потенциала $\Omega(T, V, \mu)$

2. Температурная зависимость э. д. с. некоторого элемента задается формулой

$$U(\text{вольт}) = 0.96446 + 1.74(T-25)10^{-4} + 3.8(T-25)^2 10^{-7}$$

Определить, какая часть э. д. с. элемента доставляется тепловым резервуаром и чему равна теплота реакции при 25° С.

3. Давление электромагнитного излучения, пребывающего в тепловом равновесии с веществом, дается формулой:

$$P = \alpha T^4 \quad \text{где } \alpha \text{ - постоянная.}$$

Определить энергию U такого излучения в заданном объеме.

2) Типовые варианты (2 билета) зачетной контрольной по термодинамике и статфизике.

Билет №1.

1. Моль гелия занимает объем $V = 0,1$ л и находится при температуре $T = 0^\circ\text{C}$. Измерение величины $[C_p/C_v - 1]$ в этих условиях показало, что она превышает на 3 % свое значение для разреженного (идеального) газа. Найти постоянную a для гелия, используя уравнение Ван-дер-Ваальса. Членами высшего порядка (пропорциональными a^2 , ab , b^2) пренебречь.

2. Определить и изобразить фазовую траекторию для частицы массой m с электрическим зарядом $-e$, движущейся под действием кулоновской силы притяжения к неподвижному заряду $+e_1$. Начальное расстояние между зарядами r_0 и начальная скорость частицы $v_0 = 0$.

3. Найти число микросостояний $d\Gamma(E)$ с энергией E в интервале $E \div E+dE$ для частицы газа, энергия которой связана с импульсом соотношением $E = cv$ (где c - скорость света в вакууме).

4. Вычислить среднюю и среднеквадратичную скорости свободных электронов в металлическом серебре при $T = 0$ К, если известно, что концентрация свободных электронов в металлическом серебре равна $5 \times 10^{22} \text{ см}^{-3}$.

5. Химический потенциал однокомпонентного идеального газа имеет вид

$$\mu = \varphi(T) + kT^2 \ln \left[\frac{p(T)}{p_0} \right]$$

Получить выражение для большого термодинамического потенциала $\Omega(T, V, \mu)$

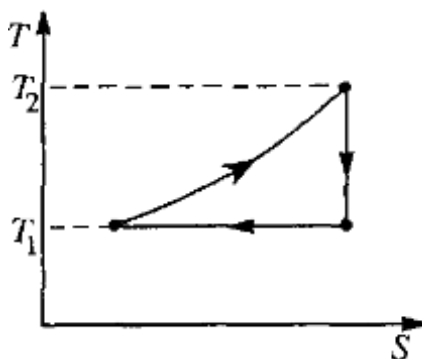
Билет №2.

1. Покажите, что в случае однородной изотропной системы для частных производных энтропии справедливы следующие соотношения:

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V} \right)_p = \frac{C_p}{T} \left(\frac{\partial T}{\partial V} \right)_p \quad \left(\frac{\partial S}{\partial p} \right)_V = \frac{C_v}{T} \left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_V$$

2. Пользуясь распределением Больцмана, найти среднюю потенциальную энергию молекул идеального газа в поле $U(x) = ax^2$, $a > 0$.

3. Найти статистический интеграл идеального одноатомного газа, подчиняющегося распределению Максвелла и рассчитать свободную энергию такого газа.
4. Найти вероятность того, что молекула имеет угловые скорости ω_1 , ω_2 , ω_3 вращения вокруг главных осей инерции из интервалов $\omega_1 \div \omega_1 + d\omega_1$; $\omega_2 \div \omega_2 + d\omega_2$; $\omega_3 \div \omega_3 + d\omega_3$, если главные моменты инерции равны соответственно I_1 , I_2 , I_3 . Внутримолекулярными колебаниями атомов пренебречь.
5. Найти к.п.д. цикла, изображенного на рис. Все процессы политропические и $T_2=2T_1$. Уравнение состояния рабочего вещества НЕ ЗАДАНО!!!



3) Список экзаменационных вопросов.

1. Первый закон термодинамики. Уравнение состояния реальных газов (термическое и калорическое).
2. Критическая точка типа жидкость-пар.
3. Второе начало термодинамики для равновесных и неравновесных процессов. Цикл Карно и теорема Карно. Температура.
4. Третье начало термодинамики. Поведение термических коэффициентов при $T \rightarrow 0$ К.
5. Термодинамические потенциалы сложных систем и систем с переменным числом частиц.
6. Термодинамика гальванических и топливных элементов. Эффект Джоуля—Томсона. Точка инверсии.
7. Термодинамика диэлектриков. Зависимость поляризации полярных диэлектриков от температуры.
8. Уравнения систем в магнитном поле. Магнитокалорический эффект.
9. Классификация фазовых переходов. Условия термодинамического равновесия и устойчивости.
10. Равновесие гомогенных и гетерогенных систем. Правило фаз Гиббса. Тройная точка.
11. Термодинамические потенциалы и преобразование Лежандра. Якобианы.
12. Теория Ландау фазовых переходов второго рода в сегнетоэлектриках.
13. Теория Ландау фазовых переходов второго рода в сегнетоэлектриках.
14. Статистическое распределение. Фазовое пространство. Фазовая траектория. Статистическая независимость. Энтропия.
15. Распределение Гиббса. Распределение Гиббса с переменным числом частиц. Свободная энергия в распределении Гиббса.
16. Распределение Гиббса (2ой вывод).
17. Распределение Больцмана. Свободная энергия больцмановского идеального газа. Уравнение состояния идеального газа.

18. Распределение Максвелла. Средняя скорость, средняя энергия, среднее число ударов.
19. Многоатомные газы. Вращение молекул. Закон равнораспределения. Уравнение состояния и статистический интеграл двухатомного газа.
20. Распределение Ферми-Дирака (по Ландау). Вырожденный электронный газ. Теплоемкость электронного газа.
21. Распределение Ферми-Дирака (2ой вывод).
22. Распределение Бозе-Эйнштейна (по Ландау). Вырожденный Бозе-газ.
23. Распределение Бозе-Эйнштейна (2ой вывод).
24. Конденсация Бозе – Эйнштейна.
25. Теория теплоемкости кристаллического тела: классическая модель, модель Эйнштейна.
26. Теория теплоемкости кристаллического тела: модель Дебая. Флуктуации энергии.

6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

7.1. Основная литература

1. И.П. Базаров. Термодинамика. М.: Высшая школа. 1991.- 376 с.
2. Р.Кубо. Термодинамика. Под ред. Д.Н.Зубарева и Е.Е.Тареевой, Издательство «МИР». 1970. — 400 с.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Т.5 Теоретической физики. Наука, 1976.

6.1. Дополнительная литература

4. Б.А.Струков, А.П.Леванюк. Физические основы сегнетоэлектрических явлений в кристалле. Москва, Наука, «Физматлит». 1995 – 304с.
5. Ч.Киттель. Введение в физику твердого тела. Под ред. А.А.Гусева, «Наука» М., 1978 – 792с.

6.2. Интернет-ресурсы

<http://allphysics.ru/>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Лекционные занятия проводятся в специально оборудованной аудитории с мультимедийным оборудованием. Вспомогательный материал в виде презентаций и электронных учебных материалов доступен студентам на сайте факультета.

Title discipline: Thermodynamic and statistical physics.

1. Goals and objectives of development disciplines:

Goals: To give students the systematical statement of statistical physics along with thermodynamics and educate them by corresponding methods based on statistical and phenomenological considerations of different physical phenomena.

Objectives: To develop physical experience of students and skill to formulate and solve tasks about complicated system behavior using statistical and thermodynamics approaches.

2. A discipline Place in structure OOP VPO

The discipline concerns block V-PD in a preparation direction «Applied mathematics and physics»

Structural element of OOP БПО - БМ (the bachelor of the Moscow State University) in a preparation direction «Applied mathematics and physics»

The discipline concerns to parts of variability of an educational cycle.

3. Requirements to results of development of the maintenance of discipline:

(1) universal (OK):

General scientific:

Possession knowledge of a subject and objects of studying, methods of research, modern concepts, achievements and restrictions of natural sciences: physicists, chemistry, biology, sciences about the earth and the person, ecology; possession of bases of methodology of scientific knowledge of various levels of the organization of a matter, space and time; ability, using interdisciplinary system communications of sciences, independently to allocate and solve the basic world outlook both methodological natural-science and social problems for the purpose of sustainable development planning (OHK-1);

Possession of methodology of scientific researches in professional area, knowledge of bases of business dialogue (OHK-4);

Readiness to use knowledge as tools for the complete decision of informative and professional problems (OHK-5);

Possession of base sections of mathematics, physics, chemistry, computer science and the programming, necessary for the decision of problems in professional area (OHK-6);

Ability to use in professional work base knowledge in area of mathematics, physics, chemistry, computer science and programming (OHK-7);

Ability to create mathematical models of typical professional problems and to interpret the received mathematical results, possession of knowledge of restrictions and borders of applicability of models (OHK-8);

Possession of knowledge in area of technics, technology and innovation, necessary for practical development of modern technical systems and technologies, for the decision of research and practical problems in professional area (OHK-9);

The tool:

Possession of norms of Russian literary language and functional styles of speech; ability to show in speech dialogue personal and professional culture, spiritually-moral belief; ability to put and solve communicative problems in all spheres of dialogue to operate processes of an information exchange in various communicative (ИК-1 environments);

Possession of skills of use of software and work in computer networks, uses of resources the Internet; possession of the basic methods, ways and means of reception, storage, information processing (ИК-3);

Ability to use modern computer facilities and the specialized software in research work (ИК-4);

Possession of the basic methods of protection of the industrial personnel and the population from possible consequences of failures, accidents, acts of nature (ИК-7);

Possession of means of independent, methodically correct use of methods of physical training and health strengthening, readiness for achievement of due level of physical readiness for maintenance high-grade social and professional work (ИК-8);

Possession of methods of patent search and knowledge in the field of the patent researches, necessary in professional work (ИК-9);

Possession of skills of management of the information for a writing of reports, reports, reviews and articles (ИК-10);

Possession of methods of the tool researches necessary for carrying out of experimental works in professional area (ИК-11);

Ability to the analysis of knowledge and their synthesis in professional work sphere (ИК-12);

Ability to the organization and planning of experimental and theoretical researches in professional work and to forming of strategy of research work (ИК-13);

The system:

Ability to creativity, generation of innovative ideas, promotion of independent hypotheses (CK-1);

Ability to search, the critical analysis, generalization and ordering of the scientific information, to statement of research objectives and choice of optimum ways and methods of their achievement (CK-2);

Ability to independent training and working out of new methods of research, to change of a scientific and research-and-production profile of activity; to innovative scientifically-educational activity (CK-3);

Ability to put knowledge into practice (CK-4);

Ability to working out of projects and their management, ability to leadership (CK-5);

Ability to the initiative and business, ability to work independently (CK-6);

(2) professional (personal computers):

Possession of skills and methodological culture of application of the received fundamental knowledge in area of mathematics, physics, chemistry and biology for performance of scientific researches (PC 1);

Ability to work with the modern software, devices and installations to apply experimental and theoretical methods of researches and to process the received experimental data for performance of a concrete research and engineering problem (PC 2);

Ability to apply the theory and methods of mathematics, physics and computer science for construction of qualitative and quantitative models (PC 3);

Ability to work with the scientific literature, readiness to compare known experimental and theoretical results with the received original

By experimental and theoretical results and to do substantiated conclusions (PC 4);

Readiness to discuss in the scientific environment the received experimental and theoretical results and to do conclusions; ability to state the received scientific results in the oral form (presentations and reports at conferences) and the written form (articles, reviews, messages) (PC 5).

Possession of skills of planning and control of performance of the established plans in professional work sphere (PC 6);

Ability to active search of the new information, ability to work with various sources of the information; readiness to analyze and solve engineering problems with use of the interdisciplinary approach (PC 7);

Readiness for creation of competitive production on the basis of the received fundamental knowledge (PC 9);

Ability to participate in working out of breadboard models of products and their modules and to apply instrumentation to definition of technical characteristics of breadboard models (PC 10);

Ability to combine research and engineering-industrial activity for working out of the high technologies providing creation of substances, materials and complex artificial systems with the set properties (PC 11);

Readiness for search of technical and technological innovations, susceptibility for innovations (PC 12);

Readiness for carrying out of experimental works on check and development of technical and technological innovations (PC 13);

Readiness for working out of programs of carrying out of research and engineering-industrial works on all chain of an innovative cycle (PC 14);

Readiness for commercialization of scientific workings out (PC 15).

Readiness for communications and work as a part of collective of executors in scientifically - research and engineering-industrial spheres (PC 16);

Possession of skills of management of research and engineering-industrial activity for creation of a healthy, safe and productive working environment, maintenance of conformity of products of professional work to the quality standards (PC 17);

Possession of the basic methods of a management: statements and distributions of problems, delegation and control, feedback and an estimation of execution, training on a workplace, individual and group decision-making (PC 18);

Readiness to show in practice aspiration and ability to realize the potential (knowledge, abilities, experience, personal qualities) the expert of new generation for the economy based on knowledge, for successful productive activity in professional and social spheres (PC 19);

As a result of the development of the discipline the student must:

Know: the basic laws and rules of thermodynamic and statistical physics, methods, analytical representation of these laws.

Be able to: formulate specific tasks based on the laws and laws developed in the course of thermodynamic and statistical physics to obtain data to carry out their mathematical treatment, summarize the results obtained.

Own: computational methods solving, data retrieval skills in open source (including information in databases) and apply them to solve practical problems.

Gain experience of: in the analysis, formulation and solution of concrete problems of interest to the fundamental science and practice.

4. The Content and Discipline Structure

4.1. The Content of discipline sections (C - Colloquium, T - verifying independent work (the test), ICW - interim control work, HW - homework, SGT - settlement-graphic task)

№ section № employment The Theme At o'clock

7.1.

Section Number	Name of Section	Section Contents	Form monitoring
1	General thermodynamic statements	General thermodynamic statements, main thermodynamic equation for equilibrium processes, entropy, Gibbs paradox.	
2	Second thermodynamic	Second thermodynamic law for non-equilibrium processes, validity range of the second law, third thermodynamic law and consequence from it, heat capacitor	

	law	and entropy behaviors at $T \rightarrow 0$ K.	
3	Thermodynamic potentials	Thermodynamic potentials, Legendre transformations, Jacobian determinant, Maxwell's relations, thermodynamic systems.	
4.	The conditions of thermodynamic equilibrium	The conditions of thermodynamic equilibrium and stability, the equilibrium conditions of two-phase system, Le Chatelier-Broun principle.	
5	Galvanic and fuel cell thermodynamics	Galvanic and fuel cell thermodynamics, equilibrium and non-equilibrium adiabatic gas cooling, Joule-Thomson effect.	
6	Thermodynamic equations for dielectric	Basic thermodynamic equations for dielectric, equation of thermodynamic system in magnetic field.	
7	System equilibrium	Homogeneous system equilibrium, heterogeneous system equilibrium, Gibbs phase rule, triple point, binary system equilibrium, phase transitions classification, critical and sub-critical phenomena.	
8	Thermodynamic properties of water	Thermodynamic properties of supercooled water, second critical point of water, anomalous of specific volume, thermal expansion, heat capacitor and compressibility of supercooled water.	
9	Second order phase transition	Landau theory of second order phase transition, thermodynamic potential, second order phase transition in ferroelectrics, superionic phase transitions.	
10	Gibbs and Maxwell distributions	Gibbs distribution, Maxwell distribution, ideal gas free energy in Gibbs distribution, Gibbs distribution with variable particle number.	
11	Boltzmann distribution	Boltzmann distribution, free energy of Boltzmann ideal gas, statistical equation of ideal gas state	

12	Fermi-Dirac and Bose-Einstein distributions	Fermi-Dirac distribution, Bose-Einstein distribution, degenerate electron gas, heat capacitor of degenerated electron gas, degenerated Bose gas, Bose-Einstein condensation, heat capacitor of crystalline lattice, classical model for energy calculation of crystalline lattice, Einstein model, Debye model (low temperature), energy fluctuations.	
----	---	--	--

4.2. Discipline Structure

Total labor discipline is 4 credits (144 hours), of which 0.89 - lectures on optics (32 hours), 1.33 - seminars (48 hours), 1.78 - independent work of students (64 hours) and 2 credit units (72 hours), laboratory work, 0.86 - self-preparation for laboratory work (31 hours).

Type	Term 7	Total
Total labor	3 (108)	3 (108)
Class work:	2 (72)	2 (72)
Lectures (L)	1 (36)	1 (36)
Practical classes (PC)	1 (36)	1 (36)
Laboratory work (LW)		
Independent work	1 (36)	1 (36)
View the final control	test, exam	

Discipline Sections per Semester

Section Number	Name of Section	Number of hours				
		Total	Class work			Extracurricular work
			L	PC	LW	
1	Equations of state. Thermodynamic laws. Entropy.		4	5		4
2	Thermodynamic potentials, Legendre transformations, Jacobian determinant, Maxwell's relations, thermodynamic systems.		4	6		4
3	The conditions of thermodynamic equilibrium and stability, the equilibrium conditions of two-phase system, Le Chatelier-Broun principle.		2	2		1
4	Galvanic and fuel cell thermodynamics, equilibrium and non-equilibrium adiabatic gas cooling, Joule-Thomson effect.		2	1		1

5	Basic thermodynamic equations for dielectric, equation of thermodynamic system in magnetic field.		2	2		1
6	Homogeneous system equilibrium, heterogeneous system equilibrium, Gibbs phase rule, triple point, binary system equilibrium, phase transitions classification, critical and sub-critical phenomena.		2	2		1
7	Thermodynamic properties of supercooled water, second critical point of water, anomalous of specific volume, thermal expansion, heat capacitor and compressibility of supercooled water.		2	0		2
8	Landau theory of second order phase transition, thermodynamic potential, second order phase transition in ferroelectrics, superionic phase transitions.		2	1		4
9	Statistical distribution. Phase space. Phase trajectory. Statistical independence. Entropy.		4	4		2
10	Gibbs distribution, Maxwell distribution, ideal gas free energy in Gibbs distribution, Gibbs distribution with variable particle number.		4	4		2
11	Boltzmann distribution, free energy of Boltzmann ideal gas, statistical equation of ideal gas state		4	4		4
12	Fermi-Dirac distribution, Bose-Einstein distribution, degenerate electron gas, heat capacitor of degenerated electron gas, degenerated Bose gas, Bose-Einstein		4	4		10

	condensation, heat capacitor of crystalline lattice, classical model for energy calculation of crystalline lattice, Einstein model, Debye model (low temperature), energy fluctuations.					
	Total:		36	36		36

4.3. Seminars

Number section	Number classes	Theme	Number of hours
1	1	Equations of state. Thermodynamic laws. Entropy.	5
	2	Thermodynamic potentials, Legendre transformations, Jacobian determinant, Maxwell's relations, thermodynamic systems.	6
	3	The conditions of thermodynamic equilibrium and stability, the equilibrium conditions of two-phase system, Le Chatelier-Broun principle.	2
	4	Galvanic and fuel cell thermodynamics, equilibrium and non-equilibrium adiabatic gas cooling, Joule-Thomson effect.	1
	5	Basic thermodynamic equations for dielectric, equation of thermodynamic system in magnetic field.	2
2	6	Homogeneous system equilibrium, heterogeneous system equilibrium, Gibbs phase rule, triple point, binary system equilibrium, phase transitions classification, critical and sub-critical phenomena.	2
	7	Thermodynamic properties of supercooled water, second critical point of water, anomalous of specific volume, thermal expansion, heat capacitor and compressibility of supercooled water.	4
	8	Landau theory of second order phase transition, thermodynamic potential, second order phase transition in ferroelectrics, superionic phase transitions.	4
	9	Statistical distribution. Phase space. Phase trajectory. Statistical independence. Entropy.	4
	10	Gibbs distribution, Maxwell distribution, ideal gas free energy in Gibbs distribution, Gibbs distribution with variable particle number.	6
3	11	Boltzmann distribution, free energy of Boltzmann ideal gas, statistical equation of ideal gas state	4
	12	Fermi-Dirac distribution, Bose-Einstein distribution, degenerate electron gas, heat capacitor of degenerated electron gas, degenerated Bose gas, Bose-Einstein condensation, heat capacitor of crystalline lattice, classical model	4

		for energy calculation of crystalline lattice, Einstein model, Debye model (low temperature), energy fluctuations.	
--	--	--	--

4.4. Course work (possible topics)

4.5. Independent study sections disciplines

Section number	Issue number	Issues for independent study	Number of hours
1	1	Equations of state.	1
	2	Thermodynamic laws.	2
	3	Entropy.	1
2	4	Thermodynamic potentials, Legendre transformations	2
	5	Maxwell's relations, thermodynamic systems.	2
	6	The conditions of thermodynamic equilibrium and stability.	1
3	7	Galvanic and fuel cell thermodynamics	0,5
4	8	Joule-Thomson effect	0,5
5	9	Basic thermodynamic equations for dielectric.	1
6	10	Homogeneous system equilibrium, heterogeneous system equilibrium, Gibbs phase rule, triple point, binary system equilibrium, phase transitions classification, critical and sub-critical phenomena.	1
7	11	Thermodynamic properties of supercooled water, second critical point of water, anomalous of specific volume, thermal expansion, heat capacitor and compressibility of supercooled water.	2
8	12	Landau theory of second order phase transition, thermodynamic potential, second order phase transition in ferroelectrics, superionic phase transitions.	4
9	13	Statistical distribution. Phase space. Phase trajectory. Statistical independence. Entropy.	2
10	14	Gibbs distribution, Maxwell distribution, ideal gas free energy in Gibbs distribution, Gibbs distribution with variable particle number.	2
11	15	Boltzmann distribution, free energy of Boltzmann ideal gas, statistical equation of ideal gas state	4
12	16	Fermi-Dirac distribution, Bose-Einstein distribution, degenerate electron gas, heat capacitor of degenerated electron gas, degenerated Bose gas, Bose-Einstein condensation, heat capacitor of crystalline lattice, classical model for energy calculation of crystalline lattice, Einstein model, Debye model (low temperature), energy fluctuations.	10

8. Educational Technology

8.1. Interactive educational technology used in the classroom

Semester	Name of classes	Interactive Educational Technologies	Number of hours
		multimedia projector, presentation, interactive whiteboard	72
Total			72

6. Evaluation tools for monitoring progress and interim certification

1) Questions to intermediate Colloquium

Two typical example of control work on thermodynamic.

Test 1.

- To find the density of the sea water at the depth of 5 km, if the ocean surface density is $\rho_0=1,03 \text{ гp/cm}^3$ and the compressibility of water in the range of pressures from 1 atm to at constant and is $\gamma=47,4 \times 10^{-6} \text{ атм}^{-1}$.
- To show that if a state $(\partial T/\partial S)_p = 0$, then for the sustainability of such status must be equal to zero and also the second derivative $(\partial^2 T/\partial S^2)_p = 0$, and $(\partial^3 T/\partial S^3)_p > 0$.
- Thermodynamic potential G of one mole of a certain substance is given as feared

$$G = -\frac{RT}{2} \ln\left(\frac{AT^5}{p^2}\right)$$

Where A=const. To find the heat capacity C_V of this substance.

Test 2.

- The chemical potential of single-component ideal gas has the form

$$\mu = \varphi(T) + kT \ln\left[\frac{p(T)}{p_0}\right]$$

Get the expression for large thermodynamic potential $\Omega(T, V, \mu)$.

- The temperature dependence of the electromotive force certain element is defined by the formula

$$U(\text{Volt}) = 0.96446 + 1.74(T-25)10^{-4} + 3.8(T-25)^2 10^{-7}$$

To determine which part of the electromotive force item is delivered with a thermal reservoir and what is the heat of reaction at 25° C.

- The pressure of electromagnetic radiation, staying in thermal equilibrium with matter, is given by the formula:

$P = \alpha T^4$, where α is constant.

Determine the energy U of such radiation in a given volume.

2) Questions to final Colloquium

Two typical example of control work on thermodynamic and statistical physics.

Test 1.

1. Mol helium occupies a volume of $V = 0.1$ l and is at the temperature $T = 0^\circ\text{C}$. Measure $[C_p/C_v - 1]$ in these conditions, showed that it exceeds 3 % of its value for the sparse (ideal) of gas. Find the permanent and helium, using the equation of van der Waals forces. Members of the highest order (proportional to a^2 , ab , b^2) can be neglected.

2. To define and to portray the phase trajectory of a particle of mass m and electric charge e moving under the action of the Coulomb forces of attraction to still charge $+e$. The initial distance between the charges r_0 and elementary particle velocity $v_0 = 0$.

3. To find the number of microstates $d\Gamma(E)$ energy E in the range $E \div E+dE$ for gas particles, the energy of which is connected with pulse ratio $E = cp$ (where C is the speed of light in vacuum).

4. To calculate the mean and the mean speed of free electrons in metallic silver at $T = 0$ K, if it is known that the concentration of free electrons in metallic silver equal $5 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$.

5. The chemical potential of single-component ideal gas has the form

$$\mu = \varphi(T) + kT^2 \ln \left[\frac{p(T)}{p_0} \right]$$

Get the expression for large thermodynamic potential $\Omega(T, V, \mu)$

Test 2.

1. Show that in the case of homogeneous isotropic system for partial derivatives entropy fair the following relations:

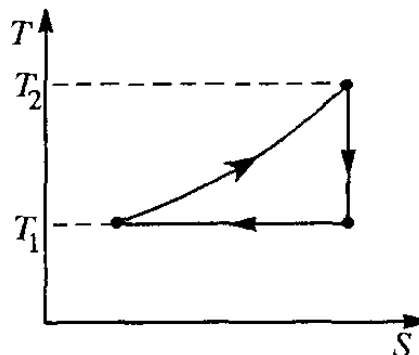
$$\left(\frac{\partial S}{\partial V} \right)_p = \frac{C_p}{T} \left(\frac{\partial T}{\partial V} \right)_p \quad \left(\frac{\partial S}{\partial p} \right)_V = \frac{C_v}{T} \left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_V$$

2. Using the Boltzmann distribution, find the mean potential energy of the molecules of an ideal gas field $U(x) = ax^2$, $a > 0$.

3. To find statistical integral ideal monatomic gas obeys the Maxwell distribution and calculate the free energy of such a gas.

4. Find the probability that a molecule is the angular velocity $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ rotation about the principal axes of inertia of the intervals $\omega_1 \div \omega_1 + d\omega_1$; $\omega_2 \div \omega_2 + d\omega_2$; $\omega_3 \div \omega_3 + d\omega_3$, if the principal moments of inertia are equal, respectively, I_1, I_2, I_3 . Intramolecular vibrations of the atoms are ignored.

5. To find the efficiency of the cycle, depicted in Fig. All processes are polytropic and $T_2 = 2T_1$. The equation of state of working substance is NOT SET!!!



List of exam questions.

1. The first law of thermodynamics. The equation of state of real gases (thermal and caloric).
2. A critical point type liquid-vapor.
3. The second law of thermodynamics for equilibrium and nonequilibrium processes. The circle and the theorem Carnot. The temperature.
4. The third law of thermodynamics. The thermal behavior of the coefficients at $T \rightarrow 0$ K.
5. Thermodynamic potentials of complex systems and systems with variable number of particles.
6. Thermodynamics of galvanic and fuel cells. The Joule-Thomson. Point inversion.
7. Thermodynamics of dielectrics. Polarization polar dielectrics on temperature.
8. Equations systems in a magnetic field. Magnetocaloric effect.
9. Classification of phase transitions. Conditions of thermodynamic equilibrium and stability.
10. The balance of homogeneous and heterogeneous systems. The Gibbs phase rule. Triple point here.
11. Thermodynamic potentials and the Legendre transformation. Jacobians.
12. Landau theory of phase transitions of the second kind in ferroelectrics.
13. Landau theory of phase transitions of the second kind in ferroelectrics.
14. Statistical distribution. The phase space. The phase trajectory. Stati-statistical independence. Entropy.
15. Gibbs Distribution. Gibbs distribution with a variable number of particles. The-free energy in the Gibbs distribution.
16. Gibbs distribution (2nd conclusion).
17. The Boltzmann Distribution. The free energy of a Boltzmann ideal gas. The equation of state of an ideal gas.
18. The Maxwell Distribution. The average speed, average energy, the average number of strikes.
19. Polyatomic gases. The rotation of the molecules. The law of raversbeuren. The equation of state and the statistical integral diatomic gas.
20. The distribution of Fermi-Dirac (Landau). A degenerate electron gas. Heat capacity of the electron gas.
21. The distribution of Fermi-Dirac (2nd conclusion).
22. The distribution of Bose - Einstein (Landau). Degenerate Bose gas.
23. The distribution of Bose - Einstein (2nd conclusion).
24. Condensation Of The Bose - Einstein.
25. The theory of the heat capacity of crystal body: the classical model, the model Ein Stein.
26. The theory of the heat capacity of crystal body: the Debye model. Fluctuations of energy.

7. Educational-methodical maintenance of discipline

7.1. Basic literature

1. Bazarov I.P. Thermodynamics. "Visshaya shkola", 1991.
2. Kubo R. Thermodynamics. North-holland Publication, 1968.
3. Landau L., Lifschiz E. Statistical physics. Thejretical physics, Vol.5, Nauka, 1976.
4. Strukov B.A., Levanyuk A.P. Physical basis of ferroelectrics phenomena in crystal. Nauka, 1995.
5. Kittel Ch. Introduction to solid state physics. The University of California at Berkeley, 1996

7.3. Periodicals

7.4. Internet resources

<http://allphysics.ru/>

7.5. Guidelines for laboratory work

7.6. Methodical instructions for practical exercises are located on site -

7.7. Methodological guidelines for coursework and independent work are located on site -

7.8. Software of modern information and communication technologies

Training programs for:

located on sites and

8. Logistics discipline

Lectures are held in specially equipped classrooms with multimedia equipment . Settlement workshop performed in a special room, each student has an individual workplace and individual tasks . Supporting material in the form of presentations and training materials is available to students in the faculty site.