



**Министерство науки и высшего
образования Российской Федерации**
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
**«Калужский государственный университет
им. К.Э. Циолковского»**

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ,
ПРОВОДИМЫХ УНИВЕРСИТЕТОМ САМОСТОЯТЕЛЬНО
ПО ПРОГРАММАМ ПОДГОТОВКИ НАУЧНЫХ И НАУЧНО-
ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ В АСПИРАНТУРЕ**

1.3. Физические науки

1.3.14. «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

Введение

Цель вступительного экзамена в аспирантуру:

Выявить у соискателей общие представления по теплофизическим свойствам веществ, термодинамическим процессам, процессам переноса тепла и массы в различных средах, импульса и энергии при конвекции, излучении и физико-химических превращениях веществ.

Требования к поступающим в аспирантуру по специальности.

Соискатель должен знать:

1. Определение, основные свойства и характеристики веществ в различных агрегатных состояниях.
2. Особенности аналитических и численных методов исследования веществ в зависимости от агрегатного состояния.
3. Методы и способы преобразования энергии в источниках, передающих и приемных устройствах.
4. Основные термодинамические процессы и циклы в энергетических установках.
5. Основные положения, законы и уравнения, применяемые при физическом и численном моделировании процессов переноса массы, импульса и энергии.

Вступительное испытание проводится в виде тестирования максимальное число баллов за выполнение 25 заданий 100 (4 за каждое задание). Минимальное количество баллов – 40.

2. Содержание программы.

1. Термодинамика и статистическая физика

1. Основные термодинамические процессы. Термодинамические циклы тепловых машин. Первое начало термодинамики. Второе начало термодинамики. Энтропия.
2. Законы термодинамики. Термодинамические функции. Термодинамические неравенства. Распределение Гиббса. Энтропия. Статистическое обоснование закона возрастания энтропии. Распределение Гиббса для систем с переменным числом частиц.
3. Статистическое описание идеального газа. Распределение Больцмана. Термодинамические свойства двухатомного газа с молекулами одинаковых и разных атомов. Постулат равновероятности Эйнштейна.
4. Квантовая статистика идеального газа. Распределение Бозе-Эйнштейна. Распределение Ферми-Дирака. Условия вырождения.

2. Физика газов и плазмы

1. Взаимодействие молекул. Источники сведений о межмолекулярных силах. Различные составляющие межмолекулярных сил. Потенциальные функции межмолекулярного взаимодействия. Упругие и неупругие столкновения.
2. Уравнение состояния идеального газа. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Закон соответственных состояний, термодинамическое подобие. Теплоемкость. Сжимаемость. Эффект Джоуля-Томпсона. Методы измерения

термодинамических величин.

3. Явление переноса в газах. Вязкость. Теплопроводность. Диффузия. Термодиффузия. Пристеночные явления в умеренно разреженном газе. Термомолекулярная разность давлений. Кинетические явления в сильно разреженном газе (газ Кнудсена).

4. Методы исследования явлений переноса. Методы получения сверхнизких и высоких давлений. Диффузионные методы разделения изотопов.

5. Низкотемпературная плазма. Дебаевский радиус.

6. Ионизационное равновесие. Формула Саха. Кинетика ионизации. Явление переноса в плазме. Излучение плазмы.

3. Физика жидкостей

1. Строение жидкости. Радиальная функция распределения. Изучение структуры жидкости методом рассеяния рентгеновских лучей.

2. Уравнения состояния жидкости и плотных газов. Плотность, сжимаемость, теплоемкость.

3. Явление переноса и релаксации в жидкости. Вязкость, теплопроводность, диффузия и самодиффузия.

4. Сопротивление и теплопередача в ламинарном потоке.

5. Конвективный теплообмен.

6. Турбулентное движение и турбулентный теплообмен.

7. Кризис сопротивления.

8. Радиационный теплообмен и радиационная газовая динамика.

4. Фазовые переходы

1. Диаграммы состояния. Условия равновесия фаз. Закон Клапейрона-Клаузиуса. Критическая точка и физические свойства системы в окрестности критической точки. Соотношения между критическими показателями. Экспериментальные методы исследования критических состояний. Методы термостатирования и получения низких температур.

2. Кипение. Кризис кипения. Методы расчета.

3. Метастабильные состояния. Перегрев, переохлаждение. Давление насыщенных паров над раствором.

4. Плавление, кристаллизация. Возгонка и сублимация.

5. Физика твердого тела

1. Строение твердых тел: кристаллические и аморфные твердые тела. Пространственная решетка кристалла. Трансляционная симметрия. Дефекты в кристаллах: точечные дефекты и дислокации.

2. Термодинамика твердых тел. Уравнение состояния твердых тел. Термодинамическое описание термоупругих свойств.

3. Теплопроводность твердых тел. Уравнение теплопроводности в твердых телах, теплопроводность кристаллов. Механизмы теплопроводности в диэлектриках и металлах. Вязкость и ее проявление при поглощении звука в твердых телах.

4. Взаимодействие молекул с поверхностью твердого тела. Адсорбция и хемосорбция. Мономолекулярная и полимолекулярная адсорбция.

5.

3. Вопросы программы-минимума кандидатского экзамена

1. Законы термодинамики.
2. Распределение Гиббса.
3. Энтропия.
4. Статистическое описание идеального газа.
5. Распределение Больцмана.
6. Квантовая статистика идеального газа.
7. Распределение Бозе-Эйнштейна.
8. Распределение Ферми-Дирака.
9. Условие химического равновесия.
10. Неидеальные газы.
11. Фазовые переходы первого и второго рода.
12. Теория флуктуаций. Распределение Гаусса. Формула Пуассона.
13. Термодинамика поверхности раздела фаз. Поверхностное натяжение и поверхностное давление.
14. Теория неравновесных процессов. Основные положения.
15. Уравнения переноса, основы термодинамики необратимых явлений.
16. Релаксационные явления, основное кинетическое уравнение.
17. Распространение звука в газе, дисперсия и затухание звука.
18. Движение со сверхзвуковой скоростью.
19. Ударные волны.
20. Истечение газа через сопло.
21. Потенциальные функции межмолекулярного взаимодействия. Упругие и неупругие столкновения.
22. Уравнение состояния идеального газа. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
23. Закон соответственных состояний, термодинамическое подобие.
24. Теплоемкость.
25. Сжимаемость.
26. Эффект Джоуля-Томпсона.
27. Методы измерения термодинамических величин.
28. Явление переноса в газах. Вязкость. Теплопроводность. Диффузия.
29. Уравнения состояния жидкости и плотных газов.
30. Плотность, сжимаемость, теплоемкость.
31. Явление переноса и релаксации в жидкости. Вязкость, теплопроводность, диффузия и самодиффузия.
32. Сопротивление и теплопередача в ламинарном потоке.
33. Конвективный теплообмен.
34. Турбулентное движение и турбулентный теплообмен.
35. Радиационный теплообмен и радиационная газовая динамика.
36. Поверхностные явления. Поверхностное натяжение, смачивание. Осмотическое давление.
37. Диаграммы состояния. Условия равновесия фаз.
38. Закон Клапейрона-Клаузиуса.
39. Возгонка и сублимация.
40. Строение твердых тел: кристаллические и аморфные твердые тела.
41. Колебание решетки, спектральная плотность колебаний решетки. Ангармонизм и тепловое расширение. Теплоемкость кристаллов.

Модели Эйнштейна и Дебая.

42. Электронные состояния кристаллов. Модели свободных электронов.

43. Зонная структура энергетического спектра кристаллов.

44. Проводники, полупроводники и диэлектрики.

45. Электронная теплоемкость.

46. Термодинамика твердых тел. Уравнение состояния твердых тел. Термодинамическое описание термоупругих свойств.

47. Теплопроводность и вязкость твердых тел. Уравнение теплопроводности в твердых телах, теплопроводность кристаллов.

48. Механизмы теплопроводности в диэлектриках и металлах. Вязкость и ее проявление при поглощении звука в твердых телах.

49. Взаимодействие молекул с поверхностью твердого тела.

50. Адсорбция и хемосорбция. Мономолекулярная и полимолекулярная адсорбция.

Основная литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. М.: Наука, 2001.

2. А.Н. Матвеев «Молекулярная физика» М.: Высшая школа, 1987.—400 с.

3. А.С. Василевский, В.В. Мултановский Статистическая физика и термодинамика. М. Просвещение, 1985.

4. Исихара А. Статистическая физика. М.: Мир, 1973.

5. Силин В.П. Введение в кинетическую теорию газов. М.: Изд-во ФИ АН, 1998.

6. П. Эткинс Порядок и беспорядок в природе. Изд. Мир, 1987.

7. Гордиев Б.Ф., Осипов А.И., Шелепин Л.А. Кинетические процессы в газах и молекулярные лазеры. М.: Наука, 1980.

8. Физика простых жидкостей: Сб. М.: Мир, 1971.

9. Стенли Г. Фазовые переходы и кинетические явления. М.: Мир, 1973.

10. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1992.

11. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М.: Наука, 1986.

12. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1973.

Дополнительная литература

1. Баранников Алексей Алексеевич. Основные концепции современной физики: уч. пособие/ Баранников А.А., Фирсов А.В.- 2-е изд., доп.- М.: Высш.шк., 2009.- 348 с.: ил.

2. Багдасаров Хачик Саакович Тепло- и массоперенос при вращении монокристаллов направленной кристаллизацией/ Багдасаров Х. С., Горяинов Леонид Алексеевич. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 223с.: ил.

3. Анищенко Вадим Семенович Знакомство с нелинейной динамикой/ Анищенко В. С. - М.: URSS, 2008. - 222с.: ил.

4. М. Каку Физика будущего. Изд. АНФ, 2012.

5. Современные математические модели конвекции / Андреев В. К. [и др.]. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 367с.: ил.

6. С.Хокинг Высший замысел. Изд. Амфора, 2012., 206 с.

Примеры тестовых заданий

1. Термодинамическая система, не обменивающаяся теплотой с окружающей средой, называется:

- 1) открытой;
- 2) закрытой;
- 3) изолированной;
- 4) адиабатной.

2. Удельная объёмная теплоёмкость определяется по формуле:

$$\begin{array}{ll} 1) c = \frac{\partial Q}{m \cdot dt}; & 2) c' = \frac{\partial Q}{V \cdot dt}; \\ 3) \mu c = \frac{\partial Q}{n \cdot dt}; & 4) C = \frac{\partial Q}{dt}. \end{array}$$

3. Закон Майера утверждает что:

$$\begin{array}{ll} 1) \mu c_V = 4.115 \cdot z; & 2) \mu c_P = \mu c_V + \mu R; \\ 3) c_P + c_V = R; & 4) k = \frac{\mu C_P}{\mu C_V} = \frac{C_P}{C_V}. \end{array}$$

4. Уравнение для расчета подведенной теплоты в изобарном процессе имеет вид:

$$\begin{array}{ll} 1) Q = m \cdot c_P \cdot (T_2 - T_1); & 2) Q = m \cdot c_V \cdot (T_1 - T_2); \\ 3) Q = m \cdot p_1 \cdot v_1 \cdot \ln \frac{v_2}{v_1}; & 4) Q = m \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{v_2}{v_1}. \end{array}$$

5. Уравнение для расчета изменения энтропии в адиабатном процессе имеет вид:

$$\begin{array}{ll} 1) \Delta S = m \cdot c_V \cdot \ln \frac{v_2}{v_1}; & 2) \Delta S = 0; \\ 3) \Delta S = m \cdot c_V \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}; & 4) \Delta S = m \cdot c_p \cdot \ln \frac{p_2}{p_1}. \end{array}$$

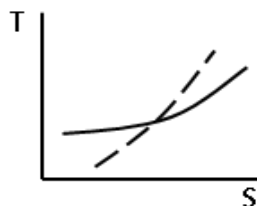
6. Уравнение первого закона термодинамики через энтальпию рассчитывается по формуле:

$$\begin{array}{ll} 1) \frac{\delta Q}{T} = dS; & 2) dh = \delta u + v \cdot dp; \\ 3) dh = c_p \cdot dT; & 4) \delta Q = dU + \delta l. \end{array}$$

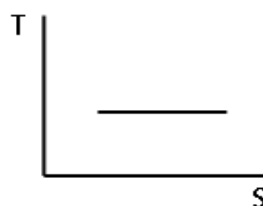
7. Изображение изохорного процесса на диаграмме в координатах Т – S имеет вид:



1)



2)



3)



4)

8. Уравнение для расчета энтропии газа в политропном процессе имеет вид:

1) $\Delta S = 0$

2) $\Delta S = m \cdot c_{\Pi} \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}$

3) $\Delta S = m \cdot c_V \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}$

4) $\Delta S = m \cdot c_P \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}$.

9. По циклу Отто работают:

- 1) дизельные двигатели;
- 2) карбюраторные двигатели;
- 3) паровые турбины;
- 4) тепловые насосы.

10. Степень сжатия двигателя внутреннего сгорания определяется выражением:

1) $\lambda = \frac{p_3}{p_2}$;

2) $\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$;

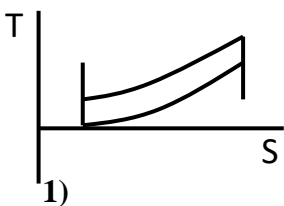
3) $\rho = \frac{v_4}{v_3}$;

4) $\varepsilon = \frac{C}{C_0}$.

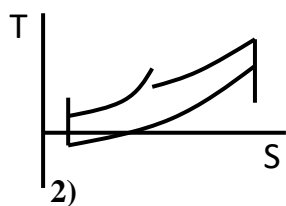
11. Наибольший термический КПД будет у цикла:

- 1) с изобарным подводом теплоты;
- 2) Карно;
- 3) с изохорным подводом теплоты;
- 4) со смешанным подводом теплоты.

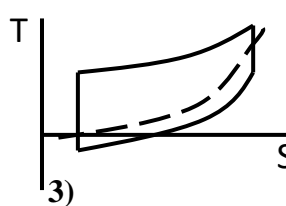
12. Цикл Дизеля в координатных осях Т–S показан на диаграмме:



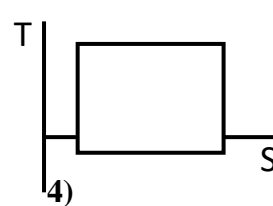
1)



2)

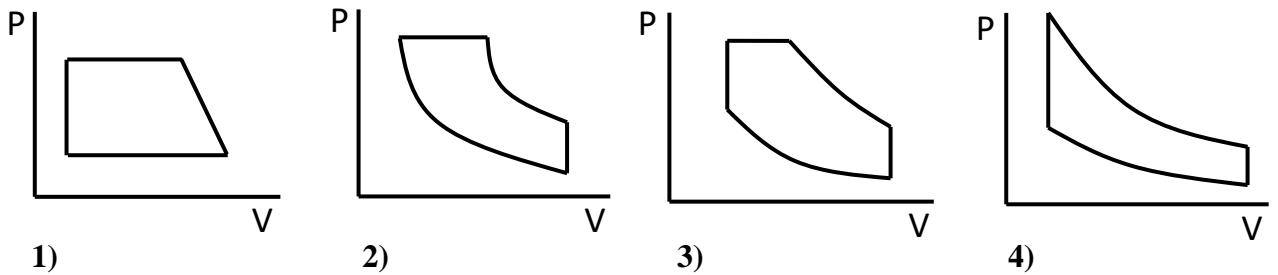


3)



4)

13. Цикл Отто в координатных осях P – V показан на диаграмме:



14. Теплота, затраченная на перегрев пара, определяется по формуле:

- 1) $q_0 = c_p \cdot (t_k - t_0)$; 2) $q_{ne} = h_{ne} - h''$;
 3) $q = \Delta U + \ell$; 4) $q_1 = c_v \cdot (T_2 - T_1)$.

15. В металлах передача теплоты осуществляется за счет:

- 1) колебаний молекул в кристаллической решетке;
- 2) колебаний молекул в межмолекулярном пространстве;
- 3) свободных электронов;
- 4) свободных атомов.

16. В жидкостях передача теплоты осуществляется за счет:

- 1) колебаний молекулярной решетки;
- 2) колебаний молекул в межмолекулярном пространстве;
- 3) столкновение молекул;
- 4) соприкосновения свободных молекул.

17. Количество теплоты, отдаваемое или принимаемое поверхностью стенки площадью F за время $t=1c$ называется:

- 1) плотностью теплового потока;
- 2) тепловым потоком;
- 3) термическим сопротивлением;
- 4) коэффициентом теплопередачи.

18. В вакууме процесс переноса теплоты осуществляется:

- 1) теплопроводностью; 2) конвекцией;
- 3) тепловым излучением; 4) теплопередачей.

19. Тепловой поток, прошедший через многослойную стенку, равен:

- 1) $\Phi = \frac{t_1 - t_2}{R_{об}} \cdot F$; 2) $\Phi = k \cdot (t_1 - t_2) \cdot F$;
 3) $\Phi = C_0 \cdot \varepsilon \cdot \left(\frac{T}{100} \right)^4 \cdot F$; 4) $Q = \frac{(t_1 - t_2)}{R_{общ}} \cdot F \cdot \tau$.

20. Плотность теплового потока в стационарном поле для конвективного теплообмена находятся из выражения:

$$1) \bar{q}_K = -\frac{\lambda_{град}}{\delta} \cdot T; \quad 2) \bar{q}_K = \alpha \cdot (T_c - T_{жс});$$

$$3) \bar{q}_T = \alpha \cdot \Delta_{град} \cdot T; \quad 4) \bar{q}_K = \alpha \cdot F \cdot (T_c + T_{жс}).$$

21. Если коэффициент отражения равен 1, то тело является:

- 1) абсолютно белым; 2) абсолютно черным;
3) абсолютно прозрачным; 4) серым.

22. Критерий конвективного переноса теплоты (число Стентона) характеризует:

- 1) увеличение теплообмена за счёт конвекции;
2) соотношение конвективного и молекулярного переносов теплоты;
3) соотношение скорости переноса теплоты и линейной скорости потока;
4) подобие скоростных и температурных полей.

УСТАНОВИТЕ СООТВЕТСТВИЕ

23. Соответствие между процессом и показателем политропы

Процесс	Показатель политропы
1. Изохорный	А. $n = \kappa$
2. Изобарный	Б. $n = 1$
3. Изотермный	В. $n = 0$
	Г. $n = \pm \infty$

Ответ: 1 __, 2 __, 3 __, 4 __

24. Соответствие между видом теплообмена и законом

Вид теплообмена	Закон
1. Теплопроводность	А. Закон Стефана-Больцмана
2. Теплоотдача	Б. Закон Фурье
3. Излучательная способность абсолютно черного тела	В. Закон Кирхгофа
	Г. Закон Ньютона - Рихмана

Ответ: 1 __, 2 __, 3 __, 4 __

25. Соответствие между способом переноса теплоты и явлением

Способ переноса теплоты	Название явления
1. Непосредственный контакт между частицами тела с различной температурой	А. Теплоизлучение
2. Перемешивание, перемещение между собой частиц газа или жидкости	Б. Конвекция
3. Электромагнитные волны	В. Теплопроводность
	Г. Теплоотдача

Ответ: 1 __, 2 __, 3 __, 4 __