

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

_____ М.С. Тиванов

« ___ » _____ 20__ г.

Регистрационный № _____

Программа вступительных испытаний
для поступающих на I степень послевузовского образования
(аспирантура)

Специальность 01.04.14 Теплофизика и теоретическая теплотехника

Минск, 2019г.

СОСТАВИТЕЛИ:

А.В. Мазаник — зав. кафедрой энергофизики, канд. физ.-мат. наук, доцент;

Н.С. Конева — доцент кафедры энергофизики, канд. тех. наук;

М.С. Тиванов — доцент кафедры энергофизики, канд. физ.-мат. наук, доцент.

РАССМОТРЕНА И РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой энергофизики

Протокол от 23 мая 2019 г. № 12

Советом факультета

Протокол от 27 июня 2019 № 12

Ответственный за редакцию

(подпись)

Н.С. Конева

(инициалы, фамилия)

СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

РАЗДЕЛ 1

1. Исходные положения термодинамики. Основные понятия термодинамики. Исходные положения (постулаты) термодинамики. Энергия термодинамической системы, работа, теплота. Термические и калорическое уравнения состояния.

2. Первое начало термодинамики. Первое начало термодинамики. Вечный двигатель первого рода. Теплоемкость, энтальпия, закон Гесса. Уравнения Кирхгофа. Уравнение теплопроводности.

3. Второе начало термодинамики. Вечный двигатель второго рода. Формулировки второго начала термодинамики Томсона-Планка и Клаузиуса. Обратимые и необратимые процессы. Принцип Каратеодори.

4. Энтропия. Абсолютная термодинамическая температура. Второе начало термодинамики для равновесных процессов. Равенство Клаузиуса. Второе начало термодинамики для неравновесных процессов. Неравенство Клаузиуса.

5. Цикл и теоремы Карно. Физический смысл энтропии. Уравнение Гюи-Стодолы.

6. Термодинамические потенциалы. Общие условия устойчивого равновесия термодинамической системы. Методы термодинамики. Внутренняя энергия. Первое соотношение Максвелла. Энергия Гельмгольца. Второе соотношение Максвелла. Энергия Гиббса. Третье соотношение Максвелла. Энтальпия. Четвертое соотношение Максвелла. Уравнения Гиббса-Гельмгольца.

7. Системы с переменным числом частиц. Химический потенциал. Большой термодинамический потенциал. Уравнение Гиббса-Дюгема. Равновесие системы в отсутствие внешнего поля. Равновесие системы во внешнем поле. Условия устойчивости физически однородной системы (термодинамические неравенства). Принцип Ле Шателье-Брауна.

8. Фазовые переходы. Гомогенные и гетерогенные системы. Фазы и компоненты. Условия равновесия фаз химически однородной (однокомпонентной) системы. Фазовые переходы. Правило фаз Гиббса. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.

9. Фазовые переходы второго рода. Уравнения Эренфеста. Критическая точка. Условия устойчивости критического состояния. Закон соответствующих состояний. Термодинамически подобные вещества.

10. Поверхностное натяжение. Условия равновесия фаз химически однородной (однокомпонентной) системы с учетом поверхностного натяжения. Критический радиус зародыша.

11. Третье начало термодинамики. Химическое сродство. Третье начало термодинамики. Недостижимость 0 К.

12. Поведение термических коэффициентов при $T \rightarrow 0$ К. Вычисление энтропии и поведение теплоемкостей при $T \rightarrow 0$ К. Вычисление химического сродства.

13. Типы малых систем. Трех-, двух-, одно- и нульмерные нанообъекты. Кластеры и кластерные кристаллы. Углеродные наноструктуры.

14. Переход от классической термодинамики к термодинамике малых систем. Ограничения классической термодинамики. Отмена термодинамического предела. Формальные преобразования термодинамических потенциалов. Нарушение концепции о фазовых состояниях.

15. Сравнение подходов термодинамики малых систем: учет вклада поверхностной энергии, нанотермодинамика Хилла, химический подход, статистическая термодинамика малых систем, неэкстенсивная статистическая термодинамика, учет флуктуационных теорем и динамических уравнений, квантовая термодинамика.

16. Термодинамика наночастиц, наноматериалов и наноструктур. Поверхностные слои и межфазные границы. Термодинамика прямых и искривленных поверхностей. Давление насыщенного газа малых частиц. Температура плавления малых частиц.

17. Физическая и химическая адсорбция. Кинетика мономолекулярной адсорбции и двумерная конденсация. Полимолекулярная адсорбция. Капиллярная конденсация в мезопористых средах.

18. Движущие силы процесса кристаллизации и зародышеобразования. Кинетика процесса зародышеобразования.

19. Общие положения теории переноса. Тензор напряжений и вектор теплового потока. Уравнения баланса. Конститутивные уравнения.

20. Система дифференциальных уравнений переноса. Система дифференциальных уравнений переноса. Частные формы уравнений переноса. Краевые условия. Уравнения переноса в координатной форме.

21. Элементы теории размерности. П–теорема. Безразмерная форма уравнений переноса. Критерии подобия.

22. Базовые поля течений вязкой жидкости. Слоистые течения. Течение Пуазейля – Куэтта. Течение Хагена – Пуазейля в трубе.

23. Слоистые течения в движущихся системах. Установившееся течение между двумя вращающимися коаксиальными цилиндрами. Неустойчивость Тейлора. Плоская стенка в жидкости, внезапно приведенная в движение.

24. Неслоистые течения. Плоское течение вблизи критической точки. Функция тока. Решение задачи о плоском течении вблизи критической точки.

25. Элементы теории пограничного слоя. Уравнения пограничного слоя. Понятие о пограничном слое. Уравнения пограничного слоя Прандтля. Задача о пограничном слое на плоской пластине. Пограничный слой на плоской пластине. Соппротивление трения. Толщина пограничного слоя.

26. Системы уравнений ламинарного конвективного переноса. Уравнения теплового пограничного слоя. Уравнения теплового пограничного слоя. Аналогия Рейнольдса.

27. Уравнения свободно-конвективного переноса. Уравнения Буссинеска для свободно-конвективного теплообмена. Критерии подобия для свободной конвекции. Уравнения конвективного теплопереноса в каналах.

28. Конвективный теплообмен при обтекании плоской пластины. Свободно-конвективный теплообмен около вертикальной пластины. Решение Польгаузена. Конвективный теплообмен при течении жидкости в круглой трубе при постоянном тепловом потоке на стенке.

29. Теплообмен в круглой трубе при постоянной температуре стенки. Задача Гретца – Нуссельта. Решение задачи Гретца – Нуссельта. Числа Нуссельта в задаче Гретца – Нуссельта.

30. Турбулентные течения. Переход к турбулентности. Метод Рейнольдса. Уравнения Рейнольдса осредненного турбулентного течения. Модель турбулентности Прандтля. Гипотеза Буссинеска. Теория пути смешения Прандтля. Характеристики турбулентного пограничного слоя. Характеристики турбулентного теплопереноса.

31. k - ϵ модели турбулентности. Высокорейнольдсовы k - ϵ модели. Низкорейнольдсовы k - ϵ модели.

32. Уравнения теории массообмена. Основные понятия. Уравнение диффузии. Уравнение энергии. Диффузионный пограничный слой. Уравнения теории пограничного слоя при наличии массообмена. Массоотдача. Аналогия процессов тепло- и массопереноса.

РАЗДЕЛ 2

1. Плазма: основные понятия. Элементарные процессы в плазме. Термодинамика плазмы. Плазма в электрических и магнитных полях. Магнитогидродинамическое и кинетическое описание плазмы. Плазма газовых разрядов. Управляемый термоядерный синтез.

2. Ускорители плазмы, магнито-плазменные компрессоры. Электродуговые плазмотроны. Электрофизические и аэродинамические процессы в плазмотроне. Моделирование процессов в электродуговых плазмотронах.

3. Плазмохимические методы получения углеродных наноструктур. Плазменные технологии в металлургии. Плазменный катализ. Плазменные технологии в решении экологических задач. Плазменные технологии для переработки отходов.

4. Теплоперенос в наноструктурированных материалах. Классификация наноструктурированных материалов. Влияние масштабного фактора на процессы тепло- и массообмена. Механизмы переноса тепла в наноструктурах.

5. Кинетическое уравнение Больцмана, приближение времени релаксации. «Серое», «полусерое» и полностью дисперсионное приближения для фононного уравнения Больцмана.

6. Основы расчета переноса тепла в наноструктурах методами молекулярной динамики.

7. Теплопроводность одномерных и квазиодномерных наноструктур. Теплопроводность в нанотрубках. Теплопроводность графена, нанослоев и пленок. Теплопроводность наногетероструктур.

8. Тепло- и массоперенос в нанокompозитах и наножидкостях. Теплоперенос в нанокompозитах. Теория эффективной среды. Теплоперенос в нанокompозитах с нерегулярной структурой. Теплоперенос в нанокompозитах, содержащих нанотрубки и нановолокна.

9. Строение, получение и свойства наножидкостей. Механизм теплопереноса в наножидкостях. Теплопроводность наножидкостей. Конвективный теплообмен в наножидкостях. Теплообмен при кипении наножидкостей.

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Кричевский И.Р. Понятия и основы термодинамики. М.: Химия, 1970. - 440 с.
2. Базаров И.П. Термодинамика. СПб: Изд-во «Лань», 2010. – 384 с.
3. Байков В.И. Теплофизика: в 2 т. Т.1: Термодинамика, статистическая физика, физическая кинетика / В.И.Байков, Н.В.Павлюкевич; под ред. О.Г.Пенязькова; НАН Беларуси, Ин-т тепло- и массообмена им. А.В.Лыкова. - Минск: Ин-т тепло- и массообмена им. А.В.Лыкова, 2013. - 399 с.
4. Микрюков В.Е. Курс термодинамики. М.: Государственное учебно-педагогическое издательство министерства просвещения РСФСР, 1960. - 236 с.
5. Литвин А.М. Техническая термодинамика. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 312 с.
6. Родунер Э. Размерные эффекты в наноматериалах. М.: Техносфера, 2010. – 352 с.
7. Барыбин А.А. Физико-химия наночастиц, наноматериалов и наноструктур. / А.А. Барыбин, В.А. Бахтина, В.И. Томилин, Н.П. Томилина. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2011. — 236 с.
8. А.И. Морозов. Введение в плазмодинамику. М.: Физматлит, 2006.
9. Ю.П. Райзер. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987.
10. Б.А. Трубников. Теория плазмы. М.: Энергоатомиздат, 1996.
11. Л.А. Арцимович, Р.З.Сагдеев. Физика плазмы для физиков. М., 1979.
12. Л.А. Арцимович. Управляемые термоядерные реакции. М., 1963.
13. Д.А. Франк-Каменецкий. Лекции по физике плазмы. М., 1964.
14. Б.Б. Кадомцев. Коллективные явления в плазме. М.: Наука, 1976.
15. Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Тематический том 7 Химия низкотемпературной плазмы. / под ред. В.Е. Фортова. – М.: ЯНУС-К, 2005. – 576 с.
16. Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Тематический том XI-5 Прикладная химия плазмы. / под ред. В.Е. Фортова. – М.: ЯНУС-К, 2006. – 536 с.
17. Жуков М.Ф. Электродуговые генераторы термической плазмы. / М.Ф.Жуков, И.М. Засыпкин, А.Н. Тимошевский и др. – Новосибирск: Наука. Сиб. предпр. РАН, 1999. – 712 с. (Низкотемпературная плазма. Т. 17).
18. Моссэ А.Л. Плазменные технологии и устройство для переработки отходов. / А.Л. Моссэ, В.В. Савчин. – Минск: Беларуская навука, 2015. – 411 с.
19. Жуков Ф.М. Прикладная динамика термической плазмы. / Ф.М. Жуков, А.С. Коротеев, Б.А. Урюков. – Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1975 – 296 с.

20. Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Вводный том 1. / под ред. В.Е. Фортова. – М.: «Наука», 2000. – 633.
21. Моссэ А.Л. Применение низкотемпературной плазмы в технологии неорганических веществ. / А.Л. Моссэ, В.В. Печковский. – Минск: Наука и техника, 1973. – 216 с.
22. Плазмохимическая технология. / В.Д. Пархоменко, П.И. Сорока, Ю.И. Краснокутский и др. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 392 с. – (Низкотемпературная плазма. Т. 4).
23. Электроплазменные процессы и установки в машиностроении. / А.В. Донской, В.С. Клубникин. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1979. – 221 с.
24. Обработка дисперсных материалов в плазменных реакторах. / А.Л. Моссэ, И.С. Буров. – Мн.: Наука и техника, 1980. – 208 с.
25. Газотермическая обработка керамических оксидов. / М.Н. Бодяко, Ф.Б. Вурзель, Е.В. Кремко и др.; Под ред. О.В. Романа. – Мн.: Наука и техника, 1988. – 223 с.
26. Физика и техника низкотемпературной плазмы. / С.В. Дресвин, А.В. Донской, В.М. Гольдфарб, В.С. Клубникин. – М.: Атомиздат, – 1972. – 352 с.
27. Взаимодействие дуги с электродами плазмотрона. / А.П. Невский, Л.И. Шараховский, О.И. Ясько. – Мн.: Наука и техника, 1982. – 152 с.
28. Нигматулин Р. И. Динамика многофазных сред. Т. 1, 2. М.: Наука, 1987.
29. Павлюкевич Н.В. Введение в теорию тепло-и массопереноса в пористых средах. — Минск: ИТМО, 2003.
30. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики : учебное пособие для физико-математических специальностей университетов. Москва : Издательство Московского университета : Наука, 2004. — 798 с.
31. Дмитриев А. С. Введение в нанотеплофизику //М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. – 2015.
32. Дмитриев А. С. Тепловые процессы в наноструктурах //М.: Издательский дом МЭИ. – 2012.
33. Терехов В. И., Калинина С. В., Леманов В. В. Механизм теплопереноса в наножидкостях: современное состояние проблемы (обзор). Часть 1. Синтез и свойства наножидкостей //Теплофизика и аэромеханика. – 2010. – Т. 17. – №. 1. – С. 1-15.
34. Терехов В. И., Калинина С. В., Леманов В. В. Механизм теплопереноса в наножидкостях: современное состояние проблемы (обзор). Часть 2. Конвективный теплообмен //Теплофизика и аэромеханика. – 2010. – Т. 17. – №. 2. – С. 173-188.
35. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г.Лойцянский. — М.: Наука, 1973.
36. Harrats C., Thomas S., Groeninckx G. (ed.). Micro-and nanostructured multiphase polymer blend systems: phase morphology and interfaces. – CRC press, 2005.
37. Dobran F. Theory of structured multiphase mixtures. – Springer, 1991.

38. William A. Goddard, et al. Handbook of nanoscience, engineering, and technology. CRC press, 2012.
39. Dunne L. J., Manos G. (ed.). Adsorption and phase behaviour in nanochannels and nanotubes. – Springer Science & Business Media, 2009.
40. Ishii M., Hibiki T. Thermo-fluid dynamics of two-phase flow. – Springer Science & Business Media, 2010.
41. Елецкий А. В. Транспортные свойства углеродных нанотрубок //Успехи физических наук. – 2009. – Т. 179. – №. 3. – С. 225-242.
42. Choi S.U.S. Nanofluids: A new field of scientific research and innovative applications // Heat Transfer Engng. 2008. Vol. 29, No. 5. P. 429-431.
43. Chon C. H., Kihm K. D. Thermal conductivity enhancement of nanofluids by Brownian motion //Journal of Heat Transfer. – 2005. – Vol. 127. – No. 8. – P. 810-810.
44. Chopkar, Manoj, Prasanta K. Das, and Indranil Manna. Synthesis and characterization of nanofluid for advanced heat transfer applications. Scripta Materialia 55.6 (2006): 549-552.
45. Yu, Wenhua, et al. "Review and comparison of nanofluid thermal conductivity and heat transfer enhancements." Heat Transfer Engineering 29.5 (2008): 432-460.
46. Buongiorno, Jacopo. "Convective transport in nanofluids." Journal of Heat Transfer 128.3 (2006): 240-250.
47. Chandrasekar, M., and S. Suresh. A review on the mechanisms of heat transport in nanofluids. Heat Transfer Engineering 30.14 (2009): 1136-1150.
48. Z. Zhang. Nano/Microscale Heat Transfer. New York McGraw-Hill, 2007.
49. Heat and Fluid Flow in Microscale and Nanoscale Structures // Edited by: M. Faghri, V. Sunden. WIT Press. 2003. 392 p.
50. Cahill D., Ford W., Goodson K. et al. Nanoscale thermal transport // Journal Applied Physics. V. 93. 2003. pp. 793–818.
51. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теоретическая физика. Гидродинамика. 3-е изд., испр. -М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. - 736 с. (т. VI).
52. Павлюкевич, Н.В. Физическая кинетика и процессы переноса при фазовых превращениях / Н.В.Павлюкевич, Г.Е.Горелик и др. — Мн.: Наука и техника, 1980.

Дополнительная литература

1. Гельфер Я.М. История и методология термодинамики и статистической физики. М.: «Высшая школа», 1981. – 536 с.
2. Кубо Р. Термодинамика. М.: Мир, 1970. - 304 с.
3. Де Гроот С., Мазур П. Неравновесная термодинамика. М.: Мир, 1964. - 456 с.
4. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. М.: Едиториал УРСС, 2002. - В 3-х томах.

5. Салем Р.Р. Физическая химия. Термодинамика. М.: Физматлит, 2004. - 352 с.
6. Hill T.L. Thermodynamics of Small Systems. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 1965 (ed. 2013) – 210 p.
7. Rusanov A.I. Thermodynamics of graphene. / A.I. Rusanov // Surface Science Reports. – 2014. – Vol. 69. – P. 296–324.
8. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. – М.: Дрофа, 2003.
9. Седов, Л.И. Методы подобия и размерности в механике / Л.И. Седов. – М.: Наука, 1972.
10. Кутателадзе, С.С. Основы теории теплообмена / С.С. Кутателадзе. – М.: Атомиздат, 1979.
11. Цветков, Ф.Ф. Тепломассообмен / Ф.Ф. Цветков, Б.А. Григорьев. – М.: Издательство МЭИ, 2005.