

## Рабочая программа курса "Общая физика" часть 2. Молекулярная физика.

### I. Введение

1. Молекулярное строение вещества и характер макроскопических законов.

Возникновение и развитие представлений о молекулярном строении вещества. Молекулярный и макроскопический уровни описания вещества. Невозможность детального микроскопического описания вещества. Молекулярный хаос и закон больших чисел. Макроскопические величины как наиболее вероятные или средние значения функций микроскопических переменных. Роль флуктуации. Макроскопические законы: фундаментальные принципы и материальные уравнения. Молекулярно-кинетический и термодинамический (феноменологический) методы теоретического исследования. Понятие сплошной среды.

### II. Молекулярно-кинетическая теория равновесных свойств идеального газа

2. Распределение молекул по скоростям: постановка задачи и общие свойства распределений.

Фазовое пространство скоростей. Распределение по скоростям - плотность числа молекул и плотность вероятности. Нормировка. Вычисление средних. Распределение по скоростям как совместное распределение по компонентам вектора условие независимости частных распределений.

3. Равновесное распределение по скоростям в идеальном газе из жестких сферических молекул.

Принцип детального равновесия. Основные свойства равновесного распределения молекул по скоростям: изотропность, равновесность по отношению к парным упругим столкновениям, максимальная хаотичность (понятие), статистическая ортогональность компонент скорости. Распределение Максвелла для вектора скорости и для абсолютного значения скорости: вывод и исследование.

4. Экспериментальное исследование распределения молекул по скоростям.

Характерные скорости.

Работы Штерна и Герлаха с молекулярными пучками. Наиболее вероятная, средняя абсолютная и средняя квадратичная скорости. Безразмерная форма функции распределения Максвелла.

5. Распределение по скоростям в произвольной системе. Газокинетическая шкала температур.

Равенство средних кинетических энергий для молекул в смеси газов. Независимость распределения по скоростям от наличия внешних и межмолекулярных силовых полей. Средняя кинетическая энергия как мера температуры. Постоянная Больцмана.

6. Уравнение состояния идеального газа.

Эмпирические газовые законы и уравнение Клайперона-Менделеева. Молекулярная модель идеального газа и область ее применимости. Тензор напряжения как плотность потока импульса. Вычисление тензора напряжений. Давление в равновесном газе: основное уравнение кинетической теории и уравнение

состояния, законы Дальтона и Авогадро.

#### 7. Распределение Больцмана.

Барометрическая формула для однородного и неоднородного полей. Распределение Больцмана. Равновесность распределения Максвелла-Больцмана. Неустойчивость планетных атмосфер.

#### 8. Классическая теория теплоемкости идеального газа.

Теорема Больцмана о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы. Поступательные, вращательные и колебательные степени свободы одноатомных, двухатомных, линейных трехатомных и нелинейных многоатомных молекул. Результаты классической теории для внутренней энергии и теплоемкости  $C_v$ . Трудности классической теории.

#### 9. Квантовомеханическая теория теплоемкости идеального газа.

Понятие о дуализме корпускулярных и волновых свойств материи, квантовании энергии при ограниченном движении, допускаемых значениях энергии поступательного, вращательного и колебательного движений. Распределение молекул по уровням энергии гармонического осциллятора. Внутренняя энергия и теплоемкость системы гармонических осцилляторов (вывод формулы Планка - Эйнштейна). Вращательный вклад в теплоемкость (качественно). Общая картина зависимости идеального газа от температуры (на примере газа из двухатомных молекул).

### III. Кинетические свойства идеального газа

#### 10. Взаимодействие молекул.

Понятие о природе межмолекулярного взаимодействия: кулоновские силы, диполь-дипольное притяжение - ориентационное, индукционное и дисперсионное; силы отталкивания. Общая форма зависимости силы и потенциальной энергии взаимодействия от расстояния. Модельные потенциалы: твердых сфер, твердых сфер с притяжением, степенной закон отталкивания, потенциал Леннарда-Джонса.

#### 11. Столкновение молекул.

Средняя частота столкновений молекулы, движущейся среди неподвижных частиц. Учет движения окружающих молекул. Распределение времен и расстояний свободных пробегов. Среднее время и средняя длина свободного пробега. Влияние температуры на эффективное сечение и среднюю длину свободного пробега - формула Сезерленда (без вывода). Экспериментальное изучение распределения свободных пробегов в молекулярных пучках.

#### 12. Макроскопическое уравнение переноса.

Диффузионный поток, тепловой поток, напряжение вязкого трения. Материальные соотношения для потоков: диффузионного потока в (первый закон Фика), теплового потока (закон Фурье), вязкого напряжения (закон Ньютона). Понятие о термодиффузии и эффекте Дюфора. Законы сохранения (баланса) - уравнения неразрывности для диффузионного и теплового потоков, уравнение движения. Второй закон Фика, уравнение Фурье, волновое уравнение для вязкой волны. Оценка времени выравнивания неоднородности. Области частот адиабатичности и изотермичности звуковых волн.

#### 13. Молекулярная теория явлений переноса в газах.

Общее молекулярно-кинетическое уравнение переноса - выражение для плотности потока молекулярного признака через градиент признака (или выражение для потоков числа молекул, энергии, импульса). Коэффициенты диффузии, вязкости теплопроводности. Их зависимость от плотности и температуры. Уточненные зна-

чения численных коэффициентов (без вывода). Формула Эйкена для коэффициента теплопроводности многоатомного газа. Использование измерений коэффициентов для изучения межмолекулярного взаимодействия.

#### 14. Явления переноса в ультраразреженном газе.

Понятие ультраразреженного газа и области его применения. Бесстолкновительная передача тепла и импульса, эффективные коэффициенты переноса. Изотермическая и температурная эффузия. Радиометрический эффект. Объяснение механизма термодиффузии.

#### 15. Получение и измерение высокого вакуума.

Механические насосы. Скорость откачки, кривая откачки и производительность идеального насоса. Паразитный объем и предельный вакуум. Многоступенчатый насос. Диффузионные насосы. Ловушки и адсорбенты. Скорость откачки через трубу при обычных давлениях и при высоком разряжении. Манометр Мак-Леода. Термопарный вакуумметр. Ионизационный вакуумметр.

### IV. Флуктуации и броуново движение

#### 16. Флуктуации.

Средний квадрат флуктуации числа частиц в объеме идеального газа, флуктуации плотности, флуктуации объема. Средняя кинетическая энергии и средняя квадратичная скорость макроскопической (броуновской) частицы. Правило вычисления средней квадратичной флуктуации произвольной величины через работу равновесного изменения состояния. Флуктуационный предел точности измерений и методы его преодоления. Понятие о рассеянии света и его использование для изучения свойств веществ.

#### 17. Броуново движение.

Закон случайных блужданий. Случайные блуждания и диффузионный поток. Уравнение Ланжевена для свободной броуновской частицы и его решение, для больших времен. Силовой и диффузионный потоки в потенциальном поле. Соотношение Эйнштейна между подвижностью частицы и коэффициентом диффузии. Работы Перрена по определению числа Авогадро.

### V. Принципы термодинамики

#### 18. Термодинамические системы и термодинамические переменные. Равновесные состояния.

Термодинамическая система, параметры системы и функции состояния. Внешние и внутренние переменные. Экстенсивные и интенсивные переменные. Работа и сопряженные пары переменных. Обобщенные координаты и обобщенные силы. Работа изменения объема газа или жидкости. Типы взаимодействий (механическое, тепловое) и типы изоляции (полная, силовая, адиабатическая); жесткая диаметрическая и адиабатическая оболочки. Общее начало термодинамики - постулат о существовании равновесного состояния изолированной системы. Полное и частичное равновесия. Динамический характер равновесия. Понятие времени релаксации.

#### 19. Температура. Эмпирические температурные шкалы. Термические уравнения состояния.

Механическое и термическое равновесие подсистем. Нулевое начало термодинамики - постулат о транзитивности термического равновесия. Температура как параметр термического равновесия. Методы измерения

температуры и принципы построения эмпирических температурных шкал. Идеальногазовая шкала температур. Термические уравнения состояния. Изотермическая сжимаемость и модуль сжатия идеального газа.

#### 20. Первое начало термодинамики.

Постулат о существовании адиабатического пути перехода между любыми состояниями. Первое начало термодинамики – независимость работы адиабатического перехода от пути. Внутренняя энергия системы. Калорическое уравнение состояния. Экстенсивность (аддитивность) внутренней энергии. Работа, совершаемая системой в калориметре. Теплота. Экспериментальные доказательства первого начала термодинамики - работы Джоуля. Математическая формулировка первого начала в интегральной и дифференциальной формах. Функции состояния и функции процессов. Неприменимость понятия полного дифференциала к работе и теплоте. Теплоемкость. Понятие об энергии неравновесного состояния и общем законе сохранения энергии.

#### 21. Равновесные процессы в идеальном газе.

Понятие равновесности процесса. Система дифференциальных уравнений состояния и энергии для идеального газа. Изохорная и изобарная теплоемкости, соотношение Майера между ними. Дифференциальное уравнение адиабаты и его интегрирование; уравнения Пуассона. Понятие о политропе. Адиабатическая сжимаемость и модуль объемного сжатия. Скорость звука – формулы Ньютона и Лапласа. Соответствие скорости звука и характерных скоростей молекул.

22. Энергетический баланс при равновесных процессах и циклах в идеальном газе. Диаграммы состояний. Изображение состояний и процессов на диаграммах. Возможно ли изображение неравновесных состояний на диаграмме? Работа на диаграмме давление-объем. Работы, теплоты и изменения энергии при изохорном, изобарном, изотермическом, адиабатическом процессах. Циклические процессы. Равновесный цикл Карно с идеальным газом. Машина Карно как двигатель, холодильная машина, тепловой насос: коэффициенты полезного действия. Выгодность динамического отопления.

#### 23. Обратимость и необратимость процессов.

Обратимость равновесных (квазистатических) процессов. Необратимость релаксации. Неравновесные (нестатические) процессы и их необратимость. Анализ примеров необратимых процессов: изотермическое расширение (сжатие) при конечной разности температур системы и термостата; адиабатическое расширение (сжатие) с большой скоростью или при неполной изоляции; деформация при ступенчатом нагружении; расширение газа в пустоту; перезарядка конденсатора. Роль сил трения. Полезная работа при обратимом и необратимом процессах. Обратимая теплопередача с помощью машины Карно. Теплообменник.

#### 24. Второе начало термодинамики: основные постулаты.

Существование необратимых процессов как существование второго начала. Различные формы основного постулата: необратимость теплопередачи (Клаузиус), невозможность вечного двигателя второго рода (Карно-Томпсон), существование состояний, адиабатически недостижимых из данного состояния (Каратеодори). Эквивалентность постулатов Клаузиуса и Карно-Томпсона. Роль компенсационных процессов в формулировках постулатов второго начала.

#### 25. Теоремы Карно и их следствия.

Теоремы Карно для обратимых и необратимых циклов. Термодинамическая шкала температур. Ее тождественность с газокинетической и идеальногазовой шкалами.

Приведенная теплота и неравенство Клаузиуса для цикла Карно. Максимальный коэффициент полезного действия теплового двигателя. Понятие об основных типах реальных двигателей и их циклах.

#### 26. Энтропия.

Неравенство Клаузиуса для произвольного цикла. Равенство Клаузиуса и независимость суммы приведенных теплот от пути при приведенных процессах. Энтропия. Аддитивность энтропии. Энтропия идеального газа и смеси газов.

#### 27. Неравновесные состояния и закон возрастания энтропии.

Изменение энтропии при неравновесных процессах. Примеры: расширение газа в пустоту, теплообмен при конечной разности температур. Понятие об энтропии неравновесного состояния.

#### 28. Статистический смысл второго начала термодинамики. Энтропия и вероятность.

Степень хаотичности состояния и термодинамическая вероятность. Связь энтропии и вероятности — формула Больцмана. Проверка формулы Больцмана на примере идеального газа: изменение вероятности состояния при изотермическом расширении, вероятность распределения Максвелла.

#### 29. Вывод распределения Максвелла из условия максимальной хаотичности.

#### 30. Направленность макроскопических процессов.

Процессы, идущие произвольно, и процессы, требующие компенсации. "Обесценивание энергии". Проблема "тепловой смерти Вселенной" и некорректность ее постановки; идеологическая борьба вокруг проблемы "тепловой смерти". Изменение энтропии при флуктуациях. Связь энтропии и информации. Понятие о проблеме микроскопической обратимости и макроскопической необратимости.

### VI. Методы и приложения термодинамики

#### 31. Термодинамические потенциалы и тождества.

Основное термодинамическое тождество - дифференциальная форма закона сохранения энергии для равновесных процессов. Внутренняя энергия как термодинамический потенциал. Преимущества записи свойств с помощью потенциала. Естественные независимые переменные для внутренней энергии и переход к другим потенциалам и независимым переменным. Свободная энергия Гельмгольца. Энтальпия (теплосодержание, тепловая функция). Свободная энтальпия (изобарно-изотермический потенциал, термодинамический потенциал Гиббса). Свободная энергия и изотермическая работа. Энтальпия и теплота, полученная при изобарном процессе. Измерение изобарной теплоемкости в потоке газа.

#### 32. Методы термодинамических расчетов. Примеры.

Иерархия термодинамических величин: термодинамические потенциалы, обобщенные координаты и силы, термодинамические коэффициенты. Приемы преобразований: дифференцирование сложной функции, замена параметра, циклическая замена переменных, соотношение взаимности Максвелла. Примеры соотношений между термодинамическими коэффициентами произвольной среды: температурный коэффициент давления - коэффициент расширения и изотермическая сжимаемость; разность изобарной и изохорной теплоемкостей - коэффициенты термического уравнения состояния; изотермическая и адиабатическая сжимаемости (или модули сжатия) - изобарная и изохорная теплоемкости; изотермические производные внутренней энергии и изохорной теплоемкости по объему, энтальпии и изобарной теплоемкости по давлению - коэффициенты термического уравнения состояния.

33. Условия устойчивого термодинамического равновесия.

Неравновесные термодинамические потенциалы как функции дополнительных переменных. Равновесие изолированной системы как максимум энтропии. Равновесие при заданных внешних условиях как минимум соответствующего потенциала. Применение общих условий равновесия для доказательства неотрицательности изотермического модуля сжатия и изохорной теплоемкости (рассмотрение равновесий по отношению к смещению границ раздела подсистем и к передаче тепла).

34. Принцип Ле-Шателье.

Анализ формул для разностей изотермической и адиабатической сжимаемостей, изобарной и изохорной теплоемкостей и общая формулировка принципа Ле-Шателье. Соотношения взаимности как его физическая сущность. Применение принципа Ле-Шателье к химическому равновесию и к растворимости.

35. Открытые системы и равновесие фаз.

Термодинамические тождества для систем с переменным числом частиц. Химические потенциалы. Связь свободной энтальпии с химическим потенциалом однокомпонентной системы и (без вывода) с химическими потенциалами компонентов смеси. Фазы. Условие равновесия фаз по отношению к обмену веществом. Фазовая диаграмма. Правило фаз Гиббса (для однокомпонентной системы). Тройные точки. Уравнение Клайперона-Клаузиуса. Поверхностная свободная энергия и невыгодность образования зародышей. Метастабильные состояния. Понятия о фазовых переходах второго рода.

36. Третье начало термодинамики.

Теорема Нернста. Квантовомеханическое обоснование теоремы Нернста. Следствия теоремы Нернста: недостижимость абсолютного нуля температур; теплоемкость и коэффициент расширения при низких температурах.

## VII. Реальные газы и равновесие системы газ-жидкость

37. Термическое уравнение состояния реального газа.

Разложение давления по степеням плотности: вириальная форма уравнения состояния. Учет взаимодействий при парных столкновениях и второй вириальный коэффициент (без вывода), его измерение и использование для определения параметров потенциала взаимодействия. Вывод уравнения Ван-дер-Ваальса. Область теоретической обоснованности уравнения Ван-дер-Ваальса, его недостатки и возможность использования в качестве модельного для описания газов и жидкостей.

38. Внутренняя энергия реального газа. Эффект Джоуля-Томсона.

Внутренняя энергия и изохорная теплоемкость газа Ван-дер-Ваальса. Опыты Джоуля закон Джоуля для идеального газа. Эффект Джоуля-Томсона и его использование для получения низких температур.

39. Фазовый переход газ-жидкость.

Изотермы Ван-дер-Ваальса. Область абсолютно-неустойчивых состояний и распад на две фазы. Правило Максвелла. Правило рычага. Динамическое равновесие на границе фаз, температурная зависимость давления насыщенного пара. Критическая точка. Возможность непрерывного перехода между газовым и жидким состоянием. Сжижение газов и получение низких температур: детандеры, испарение адиабатическое размагничивание кристаллов.

40. Свойства вещества в критическом состоянии.

Особенность изотермической сжимаемости и изобарной теплоемкости Критическая флуктуации и опалесценция. Понятие об особенности изохорной теплоемкости. Критическая точка как точка фазового перехода второго рода. Критические параметры газа Ван-дер-Ваальса.

41. Поверхностное натяжение и капиллярные явления.

Работа разрыва жидкости, поверхностная свободная энергия и поверхностное натяжение. Давление под произвольно изогнутой поверхностью и средняя кривизна: формула Лапласа. Опыты с тонкими пленками; роль поверхностно-активных веществ в стабилизации пленок. Смачивание. Краевой угол. Растекание жидкости по поверхности. Уровень жидкости в капилляре - формула Жюрена.

42. Метастабильные состояния в системе жидкость-пар.

Давление насыщенных паров над искривленной поверхностью жидкости. Неустойчивость капель и пузырьков как зародышей конденсации и парообразования. Пересыщенный (переохлажденный) пар, перегретая жидкость, растянутая жидкость. Условия кипения. Камера Вильсона и пузырьковая камера.

## VIII. Растворы

43. Термодинамические функции идеального раствора.

Смеси газов, жидкие и твердые растворы. Твердые растворы, замещения и внедрения. Идеальный твердый раствор: аддитивность энергий и объемов, энтропия смешения, термодинамический потенциал Гиббса. Распространение модели идеального раствора на жидкую фазу. Термодинамический потенциал смеси газов: смесь газов как идеальный раствор. Химические потенциалы компонентов идеального раствора. Понятие о химическом равновесии и законе действующих масс. Слабый раствор: идеальность по отношению к растворителю, квазиидеальность по отношению к растворенному веществу.

44. Равновесие жидкого раствора с другими фазами.

Растворимость газов: закон Генри. Зависимость растворимости газов и твердых тел в жидкостях от температуры: связь с теплотой растворения. Парциальное давление паров над раствором: закон Рауля. Осмотическое давление: закон Вант-Гоффа. Связь между законами Вант-Гоффа и Рауля.

45. Фазовые переходы в растворах.

Зависимость температур кипения и замерзания раствора от концентрации. Эбулиоскопия и криоскопия. Охлаждающие смеси. Диаграммы плавкости. Эвтектика. Очистка кристаллов зонной плавкой.

46. Расслаивающиеся смеси.

Энергии межмолекулярных контактов и избыточная энергия смешения. Термодинамический потенциал раствора при наличии избыточной энергии. Положительные и отрицательные отклонения от идеальности. Критическая температура смешения. Расслаивание и кривая равновесия фаз. Различные формы кривых равновесия.

## IX. Строение твердых тел и жидкостей

47. Симметрия кристаллов.

Источники информации о расположении атомов в кристалле. Элементы точечной симметрии: центр инверсии, оси, плоскости, зеркально-поворотные оси. Элементы трансляционной симметрии: трансляции, винтовые оси, плоскости зеркального скольжения. Возможные оси симметрии кристалла. Связь симметрии строения и

симметрии свойств. Полиморфные превращения.

#### 48. Кристаллические решетки.

Элементарная ячейка и кристаллическая решетка. Кристаллографические координаты, индексы атомных направлений и плоскостей. Решетка Браве. Группы симметрии решеток Браве - кристаллографические системы. Непривитивные ячейки решеток Браве (на примере объемцентрированной и гранецентрированной кубической решетки). Плотнейшие упаковки сфер. Понятие о кристаллографических классах и группах.

#### 49. Взаимодействие молекул и физические свойства идеального кристалла.

Физические типы кристаллических решеток: ионные, ковалентные, молекулярные, металлические кристаллы. Атомные частицы и молекулярные группы в кристаллах. Вычисление энергии и упругости кристалла (на примере кубической ионной решетки). Сравнение, с опытом, использование для определения параметров потенциала взаимодействия.

#### 50. Поверхностные свойства кристаллов.

Энергия поверхностного слоя и энергия взаимодействия молекулы с поверхностью кристалла. Плоскости спайности. Рост и естественная огранка кристаллов.

#### 51. Тепловое движение в кристаллах: классическая теория.

Характер теплового движения. Механизмы температурного расширения. Теплоемкость: закон Дюлонга и Пти. Теплоемкость молекулярных (по строению) кристаллов.

#### 52. Тепловое движение в кристаллах: элементы квантовой теории.

Теория теплоемкости Эйнштейна и зависимость теплоемкости от температуры. Понятие о нормальных колебаниях кристаллической решетки и о теории теплоемкости Дебая. Температурная зависимость коэффициента теплового расширения. Представление о фононах.

#### 53. Дефекты кристаллической решетки и обусловленные ими явления.

Точечные и линейные дефекты: вакансии, атомы в междуузлиях, дислокации. Плоскости дисклинации, двойникование. Диффузия в кристаллах, зависимость коэффициента диффузии от температуры. Фотонный механизм теплопроводности. Прочность кристаллов: роль поверхностных трещин, движение дислокаций как механизм пластической деформации. Роль винтовых дислокаций в процессе роста кристалла.

#### 54. Строение жидкостей.

Сравнение жидкостей с газом и кристаллом. Диаграмма состояний газ-жидкость-кристалл. Характер теплового движения в жидкости и изобарная теплоемкость. Ближний порядок. Простая жидкость. Радиальная функция распределения кристалла и жидкости. Выражение для внутренней энергии через радиальную функцию распределения. Дырочная модель жидкости. Понятие об ассоциированных жидкостях.

#### 55. Термодинамические свойства жидкостей.

Уравнение Ван-дер-Ваальса в приведенных переменных и закон соответственных состояний. Обоснование и область применимости закона соответственных состояний для реальных веществ. Уравнение состояния жидкости согласно дырочной модели: сжимаемость и коэффициент расширения. Аномалия теплового расширения воды.

#### 56. Кинетические свойства жидкости.

Дырочная теория диффузии и вязкого течения. Температурная зависимость



коэффициентов диффузии и вязкости. Вязкоупругость: уравнение Максвелла, механическая релаксация. Переохлаждение жидкости. Стеклование. Характер изменения термодинамических функций при стекловании. Неравновесность стеклообразного состояния и энтропия стекла. Понятие о механизме теплопроводности жидкостей.

#### 57. Сверхтекучесть.

Жидкий гелий как квантовая жидкость. Невозможность передачи энергии и импульса макроскопического движения длинноволновым фононам: сверхтекучесть при абсолютном нуле температур. Предельная скорость безвязкостного течения. Понятие о двухжидкостной модели жидкого гелия. Экспериментальные проявления сверхтекучести.

#### 58. Жидкокристаллическое состояние ориентационное плавление.

Трансляционный и ориентационный дальний порядок в молекулярных кристаллах. Ориентационное плавление кристаллов и ориентационное упорядочение жидкости. Строение жидких кристаллов. Применение жидких кристаллов в измерительной технике и информатике.

## Литература

- [1] Сивухин Д.В. Общий курс физики, т.2, Термодинамика и молекулярная физика. М., 1975.
- [2] Фриш С.Э., Тиморева А.В. Курс общей физики, т. ], М., 1992.
- [3] Молекулярная физика жидкостей в курсе общей физики (Соловьев В.А.). Л., 1983.
- [4] Конспект лекций по физике для студентов физического факультета ЛГУ. (Молекулярная физика и термодинамика) (Толстой Н.А.), Л.,1966.

## Дополнительная литература

- [5] Кикоин И.К., Кикоин А.К. Молекулярная физика. М., 1971.
  - [6] Матвеев А.Н. Молекулярная физика. М., 1971.
  - [7] Рейф Ф. Статистическая физика. М., 1977.
  - [8] Фейнмановские лекции по физике, т.4, М., 1965.
  - [9] Ландау Л.Д, Ахиезер А.И., Лифшиц Е.М. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика. М., 1965.
  - [10] Де Бур Я. Введение в молекулярную физику и термодинамику. М., 1962.
  - [11] Кричевский И.Р. Понятия и основы термодинамики. М., 1970.
  - [12] Поль Р.В. Механика, акустика, и учение о теплоте, М., 1973.
- Утверждено на заседании кафедры Общей Физики 1.
  - Составители: проф. Толстой Н.А., проф. Соловьев В.А.

