

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 15.05.2022 02:05:35
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a0e55111e73e947d5448516b564089

МИНОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра нанотехнологий и инженерной физики

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
О.Г. Локтионова
«15» мая 2017 г.



ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИКРО- И
НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Методические указания к выполнению практических работ
для студентов направления подготовки
28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»

Курск 2017 г.

УДК 53.02

Составители: В.М. Полунин, Е.В. Шельдешова

Рецензент

Кандидат физико-математических наук, доцент А.Е. Кузько

Физико-химические основы микро- и нанотехнологий: методические указания к выполнению практических работ для студентов направления подготовки 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: В.М. Полунин, Е.В. Шельдешова. – Курск, 2017. – с.12: Библиогр.: с. 12.

Излагаются методические указания по выполнению практических работ, в которых рассматриваются задания по следующим темам: молекулярная кинетика, акустика дисперсных сред, рентгеновский метод исследования, оптическая спектроскопия.

Методические указания соответствуют требованиям Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования и учебного плана направления подготовки 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, степень (квалификация) – бакалавр. Материал предназначен для студентов направления подготовки 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника», а также будет полезен студентам всех других направлений подготовки, изучающих дисциплины нанотехнологического профиля.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 18.11.17 Формат 60 x 84 1/16.

Усл. печ. л. 0,69. Уч.-изд. л. 0,63. Тираж 50 экз. Заказ 1906 Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ КИНЕТИКА

1. Из баллона, содержащего водород под давлением 10 атм при температуре 18 °С, выступили половину находящегося в нем количества газа. Считая процесс адиабатическим определить конечную температуру и давление.

2. При адиабатическом сжатии давление воздуха было увеличено от 50 кПа до 0,5 МПа. Затем при неизменном объеме температура воздуха была понижена до первоначальной. Определить давление газа в конце процесса.

3. Определить работу изотермического сжатия газа, совершающего цикл Карно, КПД которого 0,4, если работа изотермического расширения равна 8 Дж.

4. Найти изменение энтропии при изотермическом расширении 6 г водорода от 10^5 до $0,5 \cdot 10^5$ Па.

5. Из баллона, содержащего водород под давлением $p_1=1$ МПа при температуре $T_1=300$ К, выпустили половину находившегося в нём газа. Определить конечную температуру и давление, считая процесс адиабатическим.

6. Определить, во сколько раз отличается коэффициент диффузии газообразного водорода от коэффициента диффузии газообразного кислорода, если оба газа находятся при одинаковых условиях.

7. Барометр в кабине летящего вертолета показывает давление $p=90$ кПа. На какой высоте h летит вертолет, если на взлетной площадке барометр показал давление $p_0=100$ кПа? Температура T воздуха равна 290 К и не изменяется с высотой.

8. На какой высоте давление воздуха составляет 75% от давления на уровне моря? Температуру считать постоянной и равной 0 °С.

9. Определить плотность разреженного водорода, если средняя длина свободного пробега молекул $\langle \lambda \rangle = 1$ м.

10. Концентрация твердой фазы в нанодисперсной системы ϕ рассчитывается по формуле:

$$\phi = (\rho - \rho_1) / (\rho_2 - \rho_1).$$

Рассчитать ϕ для системы «магнетит в керосине» $\rho_1 = 800$ кг/м³, $\rho = 1525$ кг/м³, $\rho_2 = 5240$ кг/м³.

АКУСТИКА ДИСПЕРСНЫХ СРЕД

11. Рассчитать плотность дисперсной системы ρ по формуле «смешения»:

$$\rho = \rho_1(1-\varphi) + \rho_2\varphi.$$

Принять $\rho_1 = 10^3 \text{ кг/м}^3$, $\rho_2 = 5240 \text{ кг/м}^3$, $\varphi = 10\%$.

12. Наночастицы, диспергированные в жидкости, при распространении в ней упругой (звуковой, ультразвуковой, гиперзвуковой) волны оказываются под воздействием переменного по знаку всестороннего давления:

$$\delta p = \delta p_0 \cdot \cos(\omega t - kx)$$

Перепад давления в звуковой волне на расстоянии, равном диаметру магнитной наночастицы D :

$$\Delta p = \frac{\partial(\delta p)}{\partial x} \cdot dx = \delta p_0 \cdot kD$$

Получить численное значение отношения $\Delta p/\delta p_0$ при $D=10^{-8} \text{ м}$, $\nu=20 \cdot 10^3 \text{ Гц}$, $c=10^3 \text{ м/с}$.

13. В звуковой волне в результате адиабатности процесса колебаний среды наблюдаются колебания температуры δT :

$$\delta T = q T c^2 C_p^{-1} \rho^{-1} \cdot \delta \rho,$$

где $q \equiv -\rho^{-1} \frac{\partial \rho}{\partial T}$ – температурный коэффициент расширения;

ρ – плотность жидкости;

c – скорость распространения звука в МЖ в отсутствие магнитного поля;

C_p – удельная теплоемкость при постоянном давлении и постоянной напряженности магнитного поля;

$\delta \rho/\rho$ – деформация среды.

Оценку «сверху» колебаний температуры выполним в предположении, что амплитуда деформации в звуковой волне составляет 10^{-4} . При таком значении амплитуды деформации в магнитной жидкости могут появляться отдельные воздушные пузырьки – предвестники ультразвуковой кавитации и другие нелинейные эффекты.

Пусть $C_p = 2 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$, $c = 1120 \text{ м/с}$, $q = 0,53 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$, $T = 300 \text{ К}$

14. Для оценки относительного приращения намагниченности МЖ ($\Delta M / M$) за счет деформации среды в отсутствие тепловых колебаний, т.е. при $q = 0$, имеем:

$$(\Delta M / M) = \delta\rho / \rho,$$

где M и ρ – намагниченность и плотность среды в невозмущенном состоянии.

Пусть $C_p = 2 \cdot 10^3$ Дж/кг·К [35], $c = 1120$ м/с [64], $q = 0,53 \cdot 10^{-3}$ К⁻¹, тогда $qc^2C_p^{-1} = 0,33$.

При сделанных выше допущениях $(\Delta M / M) \leq 10^{-4}$.

С учетом тепловых колебаний в звуковой волне:

$$(\Delta M / M)_T = [1 - qc^2C_p^{-1}] \cdot (\delta\rho / \rho) \leq 0,5 \cdot 10^{-4}.$$

Таким образом, ультрамалые тепловые колебания, сопровождающие звуковую волну, вносят в возмущение намагниченности МЖ вклад, соизмеримый со вкладом колебаний концентрации наночастиц дисперсной фазы.

15. Найти длину волны звука с частотой 435 Гц, распространяющегося в воздухе. Скорость звука принять равной 340 м/с.

16. Человеческое ухо может воспринимать звуки с частотой от 20 Гц до 20 кГц. Найти соответствующий диапазон длин волн. Скорость звука принять равной 340 м/с.

17. Найти скорость распространения звука в воздухе при температурах: -20°C; 0°C; +20°C.

18. Во сколько раз скорость распространения звука в воздухе летом (+20°C) больше скорости звука зимой.

19. Зная, что средняя квадратичная скорость молекул двухатомного газа была равна 461 м/с, найти скорость распространения звука в газе при этих условиях.

20. Найти скорость распространения звука в двухатомном газе, если известно, что плотность этого газа при давлении 760 мм рт. ст. равна 1,29 кг/м³.

21. Зная, что средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул одного киломоля азота равна $3,4 \cdot 10^3$ кДж, найти скорость распространения звука в азоте при этих условиях.

22. При образовании стоячей волны в трубе, заполненной воздухом, образовалось 5 пучностей. Какова длина трубки? Скорость звука в воздухе принять равной 340 м/с, частота звуковых колебаний 100 Гц, на торцах трубы расположены пучности.

23. Скорость звука в керосине 1330 м/с. Плотность $\rho = 800$ кг/м³. Найти адиабатную сжимаемость керосина.

24. Найти скорость распространения звука в алюминии. $E = 6,9 \cdot 10^{10}$ Н/м², $\rho = 2600$ кг/м³.

25. Найти скорость распространения звука в меди $E=11,8 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$, $\rho=8600 \text{ кг/м}^3$.

26. В результате взрыва, произведенного геологами, в земной коре распространилась волна со скоростью 4,5 км/с. На какой глубине залегает порода другой плотности, если отраженная от нее волна была зафиксирована на поверхности через 20 с после взрыва?

27. Из орудия произвели выстрел под углом 26° к горизонту. Артиллерист услышал звук разрыва снаряда через 44 с после выстрела. Какова горизонтальная дальность полёта снаряда, если его начальная скорость 800 м/с?

28. Пренебрегая массой элемента трубы и принимая в расчет только его упругость, получена следующая формула, связывающая c и c_0 :

$$c = \frac{c_0}{\sqrt{1 + \frac{2}{\beta E'} \cdot \frac{(R_1 / R_2)^2 + 1}{(R_1 / R_2)^2 - 1}}},$$

где R_1 – внешний радиус трубы, R_2 – внутренний радиус трубы, $\beta = 1 / \rho_f c_0^2$ – сжимаемость жидкости.

Рассчитать скорость звука в жидкости, заполняющей стеклянную трубу. Параметры стекла: модуль Юнга $E=7,26 \cdot 10^{10} \text{ Па}$, плотность стекла $\rho_t=2400 \text{ кг/м}^3$, скорость продольных волн в стекле $c=5500 \text{ м/с}$. Скорость звука в «неограниченной» жидкости $c_0=1200 \text{ м/с}$. $\rho_f=1000 \text{ м/с}$. Стенки трубы: $R_1=7 \text{ мм}$; $R_2=6 \text{ мм}$.

29. Благодаря малости и относительно высокой теплопроводности наночастиц их температура будет успевать выравниваться с температурой жидкости-носителя, поэтому процесс будет «микроскопически» изотермичен. Критическая частота, ниже которой простирается область частот, соответствующая данному процессу, находится из выражения:

$$v_{cr} = \frac{\chi_2}{\pi \rho C_{p2} R^2},$$

где χ_2 и C_{p2} – теплопроводность и удельная теплоемкость при постоянном давлении твердых частиц; R – их радиус; ρ – плотность МЖ. Для частиц магнетита Fe_3O_4 : $\chi_2=6 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, $C_{p2}=0,655 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$, $\rho=5240 \text{ кг/м}^3$.

Рассчитать v_{cr} для случаев: $R=5 \text{ нм}$, $R=5 \text{ мкм}$?

30. Согласно аддитивной модели упругости скорость звука в нанодисперсной системе рассчитывается по формуле:

$$c_{SS} = c_1 \left\{ \frac{(\rho_2 - \rho_1) \frac{\rho_1}{\rho}}{\rho_2 - \rho - \alpha(1 - \gamma')(\rho - \rho_1)} \right\}^{0,5},$$

где ρ – плотность жидкости, ρ_1 – плотность жидкости-носителя, ρ_2 – плотность частиц нанодисперсной фазы. c_1 – скорость звука в чистой дисперсионной среде, $\alpha = V_\alpha/V_2$ – объемная доля стабилизатора. Принимая $\alpha=0,75$, $\gamma'=0,9$, $\rho_1 = 870 \text{ кг/м}^3$, $\rho_2 = 1525 \text{ кг/м}^3$, рассчитать выражение в скобках и прокомментировать полученный результат.

31. Расчет произвести также по формуле:

$$c_{SS} = c_1 \rho_1^{0,5} \{ \rho [1 - \varphi - (1 - \gamma') \alpha \varphi] \}^{-0,5},$$

полагая $\varphi = 20\%$ и $\varphi = 5\%$.

32. Рассчитать концентрацию магнитной жидкости на основе магнетита и керосина φ_{00} , имеющей волновое сопротивление, равное волновому сопротивлению дистиллированной воды $(\rho c)_0 = 1,444 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2\text{с}$. ($\rho_1 = 850 \text{ кг/м}^3$, $\rho_2 = 5240 \text{ кг/м}^3$, $c_1 = 1295 \text{ м/с}$, $\alpha=0,75$, $\gamma'=0,9$).

33. Рассчитать волновое сопротивление морской воды ($\rho_1 = 1020 \text{ кг/м}^3$, $c_1 = 1525 \text{ м/с}$), керосина ($\rho_1 = 850 \text{ кг/м}^3$, $c_1 = 1295 \text{ м/с}$). Рассчитать коэффициенты отражения и прохождения для системы вода-керосин.

34. Рассчитать волновое сопротивление магнитной жидкости, приготовленной на основе магнетита и трансформаторного масла, с концентрацией твердой фазы 10%. ($\rho_1 = 867 \text{ кг/м}^3$, $\rho_2 = 5240 \text{ кг/м}^3$, $c_1 = 1425 \text{ м/с}$)

35. Вывести формулу для коэффициента упругости газовой полости k_g , если изолируемая камера является частью цилиндрической трубки высотой h_0 :

$$k_g = \frac{\gamma \pi d^2 p_0}{4h_0}$$

где p_0 – давление газа в полости; d – диаметр трубки; γ – отношение теплоемкостей.

Рассчитать частоту возвратно-поступательных колебаний столбика магнитной жидкости в трубке высотой 10 см, удерживаемого над полостью силами магнитной левитации. Пусть $\gamma=1,4$, $d=1,5 \text{ см}$, $p_0=10^5 \text{ Па}$, $h_0=10 \text{ мм}$.

36. Теплообмен между соседними слоями в приграничной с феррочастицей области вследствие малой теплопроводности жидкости происходит с запаздыванием, что и является одной из причин термического поглощения звука в магнитной жидкости.

Термическое поглощение дается формулой:

$$\frac{\Delta\alpha_4\lambda}{\varphi} = \frac{2\pi^2}{3\chi_2} T c_1^2 \rho \rho_2^2 C_{p_2}^2 R^2 \nu \left(\frac{\chi_2}{\chi_1} + \frac{1}{5} \right) \left(\frac{q_2}{\rho_2 C_{p_2}} - \frac{q_1}{\rho_1 C_{p_1}} \right)^2,$$

где χ – коэффициент теплопроводности;

q – коэффициент теплового расширения.

Принимая следующие числовые значения величин, входящих в формулу:

$C_{p_1}=2$ кДж/(кг·К), $C_{p_2}=0,655$ кДж/(кг·К), $\chi_1=0,12$ Вт/(м·К), $\chi_2=5,9$ Вт/(м·К), $q_1=9,5 \cdot 10^{-4}$ К⁻¹, $q_2=11,4 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹. ($\chi_2 \gg \chi_1$, $q_1 \gg q_2$):

а) упростить эту формулу применительно к нанодисперсной системе;

б) рассчитать $\frac{\Delta\alpha_4\lambda}{\varphi}$, полагая $T=300$ К, $\rho=1230$ кг/м³

37. В рамках аддитивной модели адиабатная сжимаемость с учетом межфазного теплообмена может быть представлена в виде линейной функции от φ :

$$\beta_{ST} = (1 - \varphi) \beta_{S1} + \rho_2 C_{p_2} T \left(\frac{q_2}{\rho_2 C_{p_2}} - \frac{q_1}{\rho_1 C_{p_1}} \right)^2 \varphi.$$

Рассчитать приращение адиабатной сжимаемости за счет межфазного теплообмена, предварительно упростив выражение и принимая приведенные в предыдущей задаче численные значения физических величин.

38. Процесс «проскальзывания» частиц относительно жидкой матрицы при быстропеременном возвратно-поступательном течении характеризуется параметром $\tilde{\beta}_v$ (отношение колебательной скорости взвешенных частиц к скорости окружающей среды):

$$\beta_v = \frac{(1 + \sqrt{\psi_v})^2 + \psi_v (1 + 2\sqrt{\psi_v} / 3) (1 + b_2 \sqrt{\psi_v})}{(1 + \sqrt{\psi_v})^2 + \psi_v (1 + b_2 \sqrt{\psi_v})^2},$$

где $\psi_v = \omega \rho_1 R_p^2 / 2\eta_{s1}$; ρ_2 – плотность частиц дисперсной фазы.

$b_2 \equiv 2 / 9 \cdot (1 + 2\gamma_0)$; $\gamma_0 = \rho_2 / \rho_1$; ρ_1 и η_{s1} – плотность и сдвиговая вязкость жидкости-носителя;

R_p – радиус частиц дисперсной фазы;

ω – круговая частота гармонических колебаний.

Произвести оценку $\tilde{\beta}_v$ для дисперсных систем с $R_p = 5$ нм и $R_p = 5$ мкм;

$\rho_1=0,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, $\rho_2=5,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, $\eta_{sl}=1,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м} \cdot \text{с}$, $\nu=25 \text{ МГц}$.

39. В неограниченной жидкости в результате «проскальзывания» частиц будет наблюдаться дисперсия скорости звука – $c(\nu)$. При этом относительное приращение скорости дается выражением:

$$\frac{\Delta c}{c} = b_1 \frac{\psi_g \sqrt{\psi_g} (1 + b_2 \sqrt{\psi_g})}{(1 + \sqrt{\psi_g})^2 + \psi_g (1 + b_2 \sqrt{\psi_g})^2},$$

где $b_1 \equiv 2 / 9 \cdot \varphi (\gamma_0 - 1)^2$, (остальные обозначения приведены в условии задачи №20). Рассчитать $\Delta c/c$ для трех значений ν : 10 кГц; 10 МГц и 50 МГц.

40. Процесс обмена импульсом между различными частицами среды протекает с запаздыванием относительно звуковой волны, что приводит к добавочному поглощению звука. Для добавочного поглощения, обусловленного относительным движением фаз, выведена формула

$$\frac{\Delta \alpha_2 \lambda}{\varphi} = \frac{4\pi(\gamma_0 - 1)^2 \Psi_V (1 + \sqrt{\Psi_V})}{9(1 + \sqrt{\Psi_V})^2 + \Psi_V (1 + b_2 \sqrt{\Psi_V})^2}$$

где $\gamma_0 \equiv \frac{\rho_2}{\rho_1}$, $\Psi_V \equiv \frac{\pi R^2 \rho_1 \nu}{\eta_{sl}}$, $b_2 \equiv 2 / 9 \cdot (1 + 2\gamma_0)$.

Упростить эту формулу применительно к нанодисперсной системе частиц, например, - к магнитной жидкости.

41. По полученной формуле произвести оценку добавочного поглощения $\frac{\Delta \alpha_2 \lambda}{\varphi}$ для магнитной жидкости, с параметрами $\rho_2=5210 \text{ кг/м}^3$, $\rho_1=850 \text{ кг/м}^3$, $R=5 \text{ нм}$, $\eta_{sl}=0,13 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м} \cdot \text{с}$ и $\nu=25 \text{ МГц}$.

РЕНТГЕНОВСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

42. При каком наименьшем угле θ между плоскостью кристалла и пучком рентгеновских лучей были отражены рентгеновские лучи с длиной волны 0,02 нм? Постоянная решетки кристалла равна 0,303 нм.

43. К электродам рентгеновской трубки приложена разность потенциалов 60 кВ. Наименьшая длина волны рентгеновских лучей, получаемых от этой трубки, равна 0,0206 нм. Найти из этих данных постоянную Планка.

44. Найти коротковолновую границу рентгеновского спектра для случаев, когда к рентгеновской трубке приложена разность потенциалов: 30 кВ; 40 кВ и 50 кВ.

45. Длина волны γ -излучения $\lambda=0,016 \text{ \AA}$. Какую разность потенциалов надо приложить к рентгеновской трубке, чтобы получить рентгеновское излучение такой же длиной волны?

46. На какое расстояние могут сблизиться два электрона, если они движутся навстречу друг к другу с относительной скоростью 10^8 см/с ?

47. К электродам рентгеновской трубки приложена разность потенциалов 60 кВ. Наименьшая длина волны рентгеновских лучей, получаемых от этой трубки, равна 0,0206 нм. Найти из этих данных постоянную Планка.

48. Найти коротковолновую границу рентгеновского спектра для случаев, когда к рентгеновской трубке приложена разность потенциалов: 30 кВ; 40 кВ и 50 кВ.

49. Длина волны γ -излучения $\lambda=0,016 \text{ \AA}$. Какую разность потенциалов надо приложить к рентгеновской трубке, чтобы получить рентгеновское излучение такой же длиной волны?

ОПТИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

50. Угол Брюстера ε_b при падении света из воздуха на кристалл каменной соли равен 57° . Определить скорость света в этом кристалле.

51. Предельный угол ε'_1 полного отражения пучка света на границе жидкости с воздухом равен 43° . Определить угол Брюстера ε_b для падения луча из воздуха на поверхность этой жидкости.

52. Угол α между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора равен 45° . Во сколько раз уменьшится интенсивность света, выходящего из анализатора, если угол увеличить до 60° ?

53. На щель шириной $a=0,05$ мм падает нормально монохроматический свет ($\lambda=0,6$ мкм). Определить угол φ между первоначальным направлением пучка света и направлением на четвертую темную дифракционную полосу.

54. На узкую щель падает нормально монохроматический свет. Угол φ отклонения пучков света, соответствующих второй светлой дифракционной полосе, равен 1° . Скольким длинам волн падающего света равна ширина щели?

55. Сколько штрихов на каждый миллиметр содержит дифракционная решетка, если при наблюдении в монохроматическом свете ($\lambda=0,6$ мкм) максимум пятого порядка отклонен на угол $\varphi=18^\circ$?

56. На мыльную пленку перпендикулярно к ее поверхности падает белый свет. При какой наименьшей толщине пленки отраженные лучи будут окрашены в желтый цвет?

57. Мыльная пленка, расположенная вертикально, образует клин вследствие стекания жидкости. При наблюдении интерференционных полос в отраженном свете ртутной дуги ($\lambda=546,1$ нм) оказалось, что расстояние между пятью полосами равно 2 см. Найти угол θ клина. Свет падает перпендикулярно поверхности пленки. Показатель преломления пленки 1,33

58. Пучек света ($\lambda=582$ нм) падает перпендикулярно к поверхности стеклянного клина. Угол клина $20''$. Какое число светлых интерференционных полос приходится на единицу длины клина. Показатель преломления стекла 1,5.

59. Какова наименьшая толщина просветляющего слоя, нанесенного на поверхность стеклянной линзы, если длина волны света составляет 0,56 мкм, а показатель преломления просветляющего вещества 1,4.

60. При каком наименьшем угле θ между плоскостью кристалла и пучком рентгеновских лучей были отражены рентгеновские лучи с длиной волны 0,02 нм? Постоянная решетки кристалла равна 0,303 нм.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Механика нано- и микродисперсных магнитных сред [Текст]: [учебное пособие для студентов вузов, обуч. по направлению 28.03.01 "Нанотехнологии и микросистемная техника] / В. М. Полунин [и др.]; под ред. В. М. Полунина. - Москва: Физматлит, 2015. - 190 с.
2. Начала механики дисперсных магнитных сред [Текст]: учебное пособие / В. М. Полунин [и др.]; ред. В. М. Полунин; ФГБОУ ВПО "Юго-Западный государственный университет". - Курск : Университетская книга, 2014. - 134 с.
3. Начала механики дисперсных магнитных сред [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. М. Полунин [и др.]; ред. В. М. Полунин; ФГБОУ ВПО "Юго-Западный государственный университет". - Курск : Университетская книга, 2014. - 134 с.
4. Физика новых материалов [Текст]: учебное пособие / Чувильдеев В.Н. [и др.]. - Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2010. - 105 с.
5. Наноматериалы [Текст]: учебное пособие / Рыжонков Д.И., Лёвина В.В., Дзидзигури Э.Л. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. - 365 с.
6. Суздаев И.П. Нанотехнология: Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. - М.: КомКнига, 2006. - 592 с.
7. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 416 с.
8. Акустические свойства нанодисперсных магнитных жидкостей [Текст]: монография / В. М. Полунин. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. - 384 с.
9. Введение в термомеханику магнитных жидкостей [Текст]: / В. Г. Баштовой, Б. М. Берковский, А. Н. Вислович; под ред. Б. М. Берковского. - М.: ИВТАН, 1985.
10. Акустические эффекты в магнитных жидкостях [Текст]: [монография] / В. М. Полунин. - М. : Физматлит, 2008. - 208 с.
11. Введение в нанотехнологию [Текст]: / Н. Кобаяси. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 134 с.