

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

**Направление подготовки/специальность: 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика**

**Наименование образовательной программы: Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Процессы на поверхности раздела фаз**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Крюков А.П.
	Идентификатор	R9b81f956-KryukovAP-8dacf4ed

(подпись)

А.П. Крюков

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дмитриев А.С.
	Идентификатор	R8d0ce031-DmitriyevAS-aaaaeae29

(подпись)

А.С.

Дмитриев

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Пузина Ю.Ю.
	Идентификатор	Re86e9a56-Puzina-4d2acad1

(подпись)

Ю.Ю.

Пузина

(расшифровка  
подписи)

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-4 Способен к разработке наноразмерных материалов и устройств

ИД-2 Знает методы определения параметров эффективных низкоразмерных устройств и способен провести их оценку

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Процессы на границе раздела фаз (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Основные понятия и методы анализа поверхности (Перекрестный опрос)

2. Основные характеристики процессов адсорбции и десорбции (Перекрестный опрос)

3. Приборы и методы анализа поверхности (Перекрестный опрос)

## БРС дисциплины

8 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	16
Поверхность: основные понятия и методы анализа					
Определение понятия поверхности			+	+	
Понятия и уравнения вакуумной техники	+		+		
Методы анализа поверхности			+	+	
Адсорбция и десорбция					
Основные определения			+		
Кинетика адсорбции, скорость адсорбции			+		
Анализ экспериментальных данных по криовакуумной откачке гелия	+		+		
Термическая десорбция			+		

Моделирование взаимодействий атомов газа с поверхностью твердого тела				
Модели взаимодействий	+		+	
Численное моделирование взаимодействия атома газа с блоком атомов твердого тела		+	+	+
Процессы переноса на межфазной поверхности гелия II				
Отражение звука от межфазной поверхности сверхтекучего гелия		+	+	+
Движение He-II в капилляре с паром при наличии продольного теплового потока			+	
Вес КМ:	20	20	20	40

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### *I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций*

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-4	ИД-2ПК-4 Знает методы определения параметров эффективных низкоразмерных устройств и способен провести их оценку	<p>Знать:</p> <p>возможности и особенности применения различных методов исследования поверхностей</p> <p>основы физики адсорбции и десорбции и специфику процессов переноса на поверхности сверхтекучего гелия</p> <p>Уметь:</p> <p>выполнять расчеты проводимости вакуумных трубопроводов и быстроты откачки объемов, обосновывать применение метода исследования поверхностей</p> <p>осуществлять расчеты теплоты адсорбции и параметров различных изотерм сорбции, применять методы интерпретации</p>	<p>Основные понятия и методы анализа поверхности (Перекрестный опрос)</p> <p>Приборы и методы анализа поверхности (Перекрестный опрос)</p> <p>Основные характеристики процессов адсорбции и десорбции (Перекрестный опрос)</p> <p>Процессы на границе раздела фаз (Контрольная работа)</p>

		экспериментальных данных по взаимодействию молекул газа с межфазной областью	
--	--	---	--

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. Основные понятия и методы анализа поверхности

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Перекрестный опрос

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Устный опрос студентов. Задается вопрос. Сперва отвечают желающие. Если желающих нет, то опрашивание ведется по списку до тех пор, пока каждый студент не получит хотя бы один вопрос

**Краткое содержание задания:**

Ответьте на следующие вопросы:

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: выполнять расчеты проводимости вакуумных трубопроводов и быстроты откачки объемов, обосновывать применение метода исследования поверхностей	1. Как рассчитать быстроту действия насоса? 2. Чем определяется быстрота откачки объема? 3. Каково определение проводимости и потока? 4. Каково основное уравнение вакуумной техники? 5. Как проводится расчет быстроты действия насоса в свободномолекулярном и сплошносреднем пределах?
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется, если ответ на вопрос(-ы) получен в полном объеме или преимущественно в полном объеме

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется, если большая часть вопроса(-ов) раскрыта, но не в достаточно полной мере

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется, если направление ответа на вопрос(-ы) в целом выбрано верно

### КМ-2. Приборы и методы анализа поверхности

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Перекрестный опрос

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Устный опрос студентов. Задается вопрос. Сперва отвечают желающие. Если желающих нет, то опрашивание ведется по списку до тех пор, пока каждый студент не получит хотя бы один вопрос

**Краткое содержание задания:**

Ответьте на следующие вопросы:

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: возможности и особенности применения различных методов исследования поверхностей</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Какие методы анализа поверхности вам знакомы?</li> <li>2.Какие физические принципы лежат в основе такого метода анализа поверхности, как дифракция электронов?</li> <li>3.Каковы основные принципы электронной спектроскопии?</li> <li>4.Дайте определение и опишите принцип действия сканирующей зондовой микроскопии?</li> <li>5.Каково устройство и в чем состоит принцип действия атомно-силового микроскопа?</li> <li>6.Какие режимы работы АСМ вам знакомы?</li> <li>7.Какие ограничения накладываются на различные методы анализа поверхности?</li> </ol>
<p>Уметь: осуществлять расчеты теплоты адсорбции и параметров различных изотерм сорбции, применять методы интерпретации экспериментальных данных по взаимодействию молекул газа с межфазной областью</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Какую предварительную подготовку поверхности необходимо произвести перед анализом при помощи сканирующей электронной микроскопии?</li> </ol>

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется, если ответ на вопрос(-ы) получен в полном объеме или преимущественно в полном объеме*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется, если большая часть вопроса(-ов) раскрыто, но не в достаточно полной мере*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется, если направление ответа на вопрос(-ы) в целом выбрано верно*

**КМ-3. Основные характеристики процессов адсорбции и десорбции**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Перекрестный опрос

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Устный опрос студентов. Задается вопрос. Сперва отвечают желающие. Если желающих нет, то опрашивание ведется по списку до тех пор, пока каждый студент не получит хотя бы один вопрос

**Краткое содержание задания:**

Ответьте на следующие вопросы:

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: основы физики адсорбции и десорбции и специфику</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Что такое адсорбция и десорбция?</li> <li>2.Каковы основные механизмы физической и</li> </ol>
---	--



<p>процессов переноса на поверхности сверхтекучего гелия</p>	<p>химической сорбции?  3. Дайте определение изотермам, изостерам и изобарам сорбции  4. Что такое термическая десорбция?  5. Каково выражение уравнения Генри для изотермы адсорбции и каковы условия его применимости?  6. Как выглядит уравнение изотермы Ленгмюра?  7. В чем особенность метода БЭТ (Брунауэра, Эммета, Теллера)?  8. Расскажите об уравнении Полани-Вигнера?  9. Дайте определение понятия порядка кинетики десорбции?  10. Как зависимость давления от времени для режима криозахвата проявляется на практике?</p>
<p>Уметь: выполнять расчеты проводимости вакуумных трубопроводов и скорости откачки объемов, обосновывать применение метода исследования поверхностей</p>	<p>1. Каково выражение для изменения количества частиц на единице площади в единицу времени?</p>
<p>Уметь: осуществлять расчеты теплоты адсорбции и параметров различных изотерм сорбции, применять методы интерпретации экспериментальных данных по взаимодействию молекул газа с межфазной областью</p>	<p>1. Как найти теплоту сорбции по изостерам?  2. Как проводится расчет теплоты адсорбции по изостерам сорбции и по заданным временам жизни атомов на поверхности твердого тела?  3. Опишите алгоритм расчета величин покрытия слоя адсорбата по изотермам Генри и Ленгмюра?</p>

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется, если ответ на вопрос(-ы) получен в полном объеме или преимущественно в полном объеме*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется, если большая часть вопроса(-ов) раскрыта, но не в достаточно полной мере*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется, если направление ответа на вопрос(-ы) в целом выбрано верно*

**КМ-4. Процессы на границе раздела фаз**

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 40

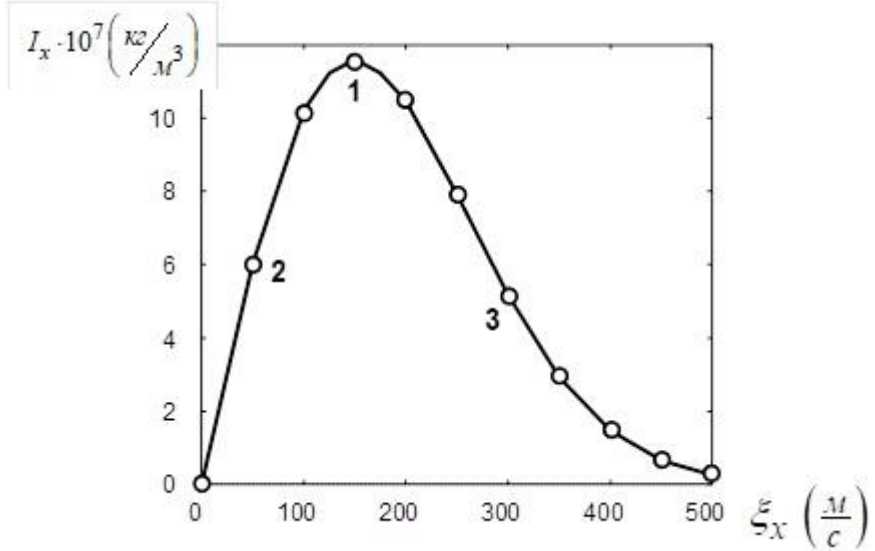
**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты по очереди вытягивают билеты, расположенные на столе текстом вниз. Записывается номер билета и время начала

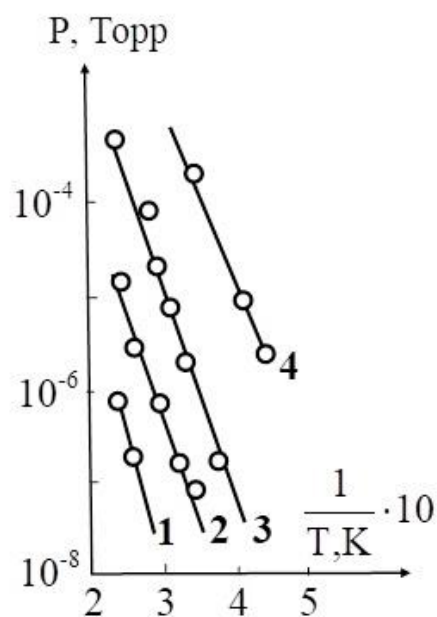
подготовки ответа. Через определенное время (по умолчанию час) студенты сдают листы с решением контрольной работы

### Краткое содержание задания:

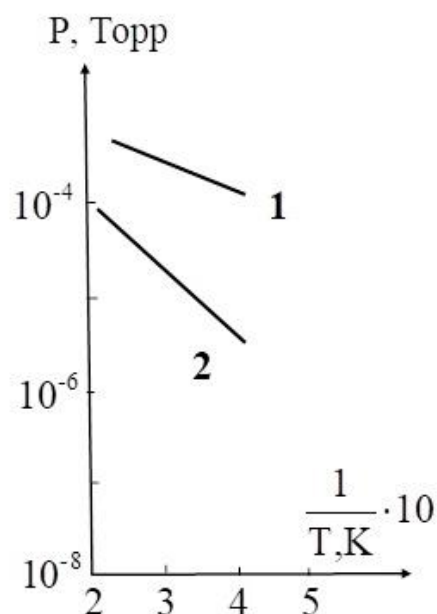
Письменно ответьте на вопрос или решите задачу

### Контрольные вопросы/задания:

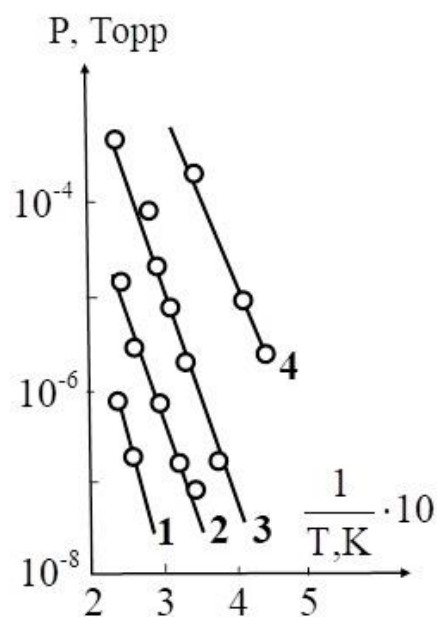
<p>Знать: возможности и особенности применения различных методов исследования поверхностей</p>	<p>1.Кантилевер АСМ имеет массу <math>40 \text{ нг}</math> (<math>40 \cdot 10^{-9} \text{ г}</math>) и коэффициент жесткости <math>K = 20 \text{ Н/м}</math>. Чему равна величина наибольшего смещения зонда, если амплитуда колебаний вынуждающей силы равна <math>80 \text{ нН}</math>, а <math>\gamma/(m \cdot \omega_0) = 0,7</math>?</p>
<p>Уметь: осуществлять расчеты теплоты адсорбции и параметров различных изотерм сорбции, применять методы интерпретации экспериментальных данных по взаимодействию молекул газа с межфазной областью</p>	<p>1.Экспериментальные данные, представляющие зависимость <math>I_x</math> от <math>\xi_x</math> для потока десорбированных атомов неона, показаны на рисунке точками, где <math>f</math> - функция распределения, <math>I_x</math> - дано, <math>\xi_x</math> - проекция скорости атома неона на ось <math>x</math>. Чему равна температура и плотность потока массы десорбированных атомов?</p> $I_x = m \left( \int_{-\infty}^{+\infty} d\xi_y \int_{-\infty}^{+\infty} f d\xi_z \right) \cdot \xi_x$  <p>2.Найдите величину покрытия слоя твердого азота гелием при давлении <math>10^{-3} \text{ Па}</math> и температуре поверхности <math>4,2 \text{ К}</math>, если соответствующая изостера сорбции имеет вид, представленный на рисунке линией 3.</p>



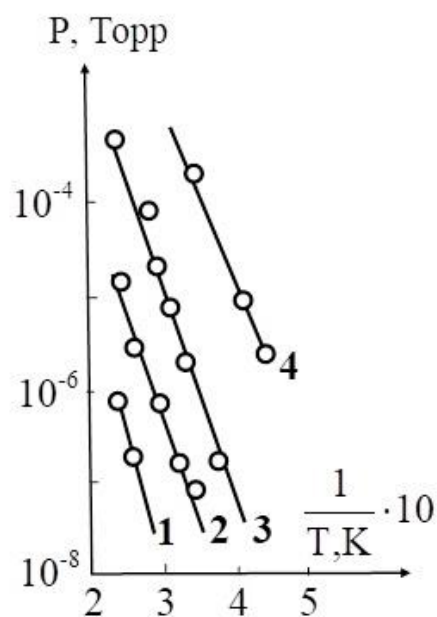
3. Насколько отличаются друг от друга теплоты адсорбции гелия на слоях неона для концентрации 0.1% (линия 1) и ксенона для концентрации 4% (линия 2), если соответствующие изостеры сорбции имеют следующий вид (см. рисунок)?



4. Как найти величину покрытия слоя твердого азота гелием, оказавшимся на поверхности в результате адсорбции азотом для заданных давления и температуры, если известен вид соответствующей изостеры сорбции, представленной например линией 3 на следующем рисунке? Ответ должен содержать количественную информацию.



5. Найдите значение равновесного давления гелия, устанавливающегося в результате адсорбции этого газа твердым азотом при температуре поверхности 4,2 К, если величина покрытия слоя азота гелием составляет 1,5 монослоя. Соответствующая изостера сорбции представлена на рисунке линией 4.



**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*  
*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется  
если задание преимущественно выполнено*

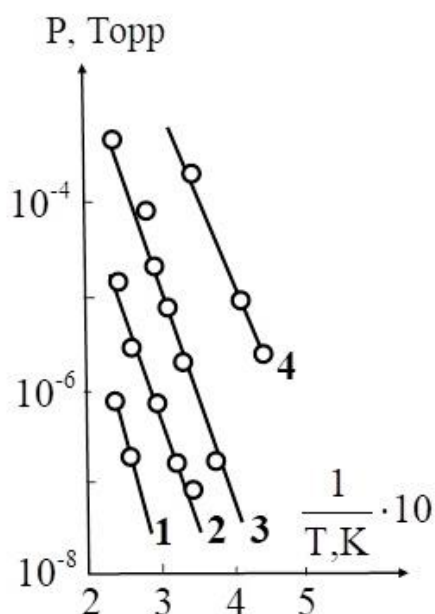
## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

8 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

### Пример билета

1. Для какого количества монослоев гелия равновесное давление, устанавливающееся в системе при адсорбции газообразного гелия азотом, равно  $7 \cdot 10^{-2}$  Па при температуре 4,2 К. Изостера сорбции имеет вид, представленный на рисунке линией 3 для концентрации гелия в азоте  $C = 2\%$ . Какое количество слоев азота обеспечивает такую концентрацию? Известно, что диаметр атома гелия —  $2,6 \cdot 10^{-10}$  м, а молекулы азота —  $3,6 \cdot 10^{-10}$  м.



2. Коэффициент отражения звука от межфазной поверхности сверхтекучего гелия. Предельные значения. Зависимость от коэффициента конденсации.

### Процедура проведения

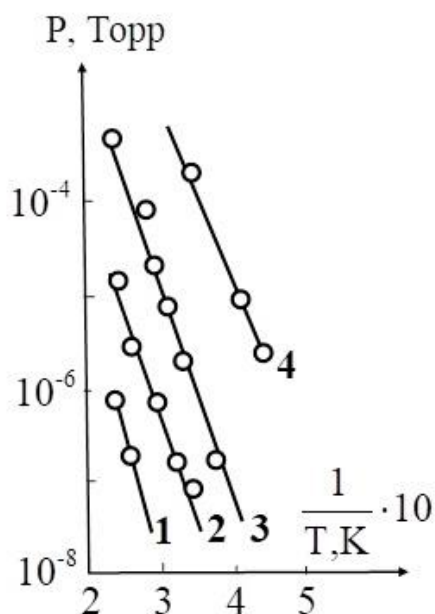
Студенты по очереди вытягивают билеты, расположенные на столе текстом вниз. Записывается номер билета и время начала подготовки ответа. Через определенное время (по умолчанию час) студенты с расписанными ответами подходят к преподавателю и начинают рассказывать билет своими словами.

### *1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-2<sub>ПК-4</sub> Знает методы определения параметров эффективных низкоразмерных устройств и способен провести их оценку

### Вопросы, задания

1.1. Для какого количества монослоев гелия равновесное давление, устанавливающееся в системе при адсорбции газообразного гелия азотом, равно  $7 \cdot 10^{-2}$  Па при температуре 4,2 К. Изостера сорбции имеет вид, представленный на рисунке линией 3 для концентрации гелия в азоте  $C = 2\%$ . Какое количество слоев азота обеспечивает такую концентрацию? Известно, что диаметр атома гелия —  $2,6 \cdot 10^{-10}$  м, а молекулы азота —  $3,6 \cdot 10^{-10}$  м.



2. Коэффициент отражения звука от межфазной поверхности сверхтекучего гелия. Предельные значения. Зависимость от коэффициента конденсации.

2.1. Определите величину коэффициента энергетической аккомодации атома неона, взаимодействующего с поверхностью, состоящей из атомов аргона для модели «треугольной» потенциальной ямы, глубина которой составляет  $0,005$  эВ. Начальная скорость атома неона  $800$  м/с.

2. Кинетика адсорбции.

3.1. Определите плотность и температуру потока отраженных атомов от непроницаемой границы раздела фаз, если поток падающих (приходящих) атомов является максвелловским с температурой  $T = 100$  К и плотностью  $0,001$  кг/м<sup>3</sup>. Коэффициент энергетической аккомодации вычислите по упрощенной модели Бауле: налетающие атомы - He, атомы подложки - Ar. Температура поверхности близка к  $0$  К. Чему равны величины плотности потока массы для падающих и отраженных атомов?

2. Методы анализа поверхности.

4.1. В рабочей камере объемом  $10$  литров необходимо обеспечить путем криосорбционной откачки газообразного гелия давление не выше  $10^{-4}$  Па. В качестве сорбента используется отвердевший аргон. Какова масса этого аргона, если начальное (до осуществления криооткачки) давление гелия в камере было  $10$  Па? Температура газа в камере постоянна и равна  $78$  К. Изотерма адсорбции гелия твердым аргоном прилагается (см. рисунок).

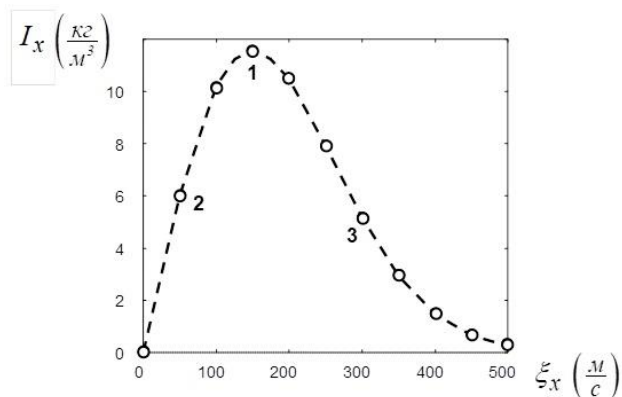
2. Отражение звука от межфазной поверхности сверхтекучего гелия. Физическая постановка и математическое описание.

5.

1. Для какого количества монослоев гелия равновесное давление, устанавливающееся в системе при адсорбции газообразного гелия азотом, равно  $2,7 \cdot 10^{-4}$  Па при температуре  $2,2$  К. Изостера сорбции имеет вид, представленный на рисунке для  $C = 3\%$ . Какое количество слоев азота обеспечивает такую концентрацию? Известно, что диаметр атома гелия —  $2,6 \cdot 10^{-10}$  м, а молекулы азота —  $3,6 \cdot 10^{-10}$  м.

2. Основные понятия вакуумной техники.

6.1. Расчетная (по распределению Максвелла) зависимость  $m \cdot \int (f \cdot \xi_x) \cdot d\xi_y d\xi_z$  от  $\xi_x$  для потока десорбированных атомов неона приведена на рисунке линией, а экспериментальные данные представлены точками. Найдите величину плотности потока массы десорбированного газа (неона) в эксперименте. Является ли экспериментальная зависимость максвелловским распределением?



2. Адсорбция и десорбция: физическая и хемическая, энергия адсорбции и десорбции.

7.1. В капилляре диаметром 260 мкм находится объем сверхтекучего гелия, длина которого составляет  $l = 1,0972$  м. Температура гелия равна 1.60 К. При подаче к одной из межфазных поверхностей тепловой нагрузки 550 Вт/м<sup>2</sup> переключатель He-II приходит в движение к источнику теплоты. При этом жидкий гелий испаряется с «холодной» межфазной поверхности. По прошествии времени  $t$  переключатель останавливается и изменяет направление движения. Определите значение времени  $t$ .

2. Коэффициент энергетической аккомодации. Расчет на основе модели Бауле.

8.1. Известно, что проводимость длинного цилиндрического трубопровода в свободномолекулярном режиме  $U$  определяется по формуле  $U = [(d/6L) \cdot \sqrt{2\pi RT}] / (1 + 4d/3L)$ , где  $d$  — диаметр трубопровода,  $L$  — его длина,  $R$  — индивидуальная газовая постоянная откачиваемого газа,  $T$  — температура этого газа. За какое время будет произведена откачка сосуда емкостью 1 м<sup>3</sup>, заполненного воздухом, через трубопровод длиной 1 м диаметром 50 мм, если это вакуумирование осуществляется насосом производительностью 10 л/с при комнатной температуре.

2. Типы изотерм адсорбции: Генри; Лэнгмюра; Брунауэра, Эммета, Теллера (БЭТ).

9.1. Рассматривается плоская металлическая (коэффициент теплопроводности  $l = 15$  Вт/м·К) пластина толщиной  $D = 1$  мм., находящаяся в окружающей среде при атмосферном ( $\sim 10^5$  Па) давлении. Левая поверхность пластины поддерживается при температуре 300 К, а правая при температуре 290 К. Чему равна плотность теплового потока ( $q$ ), передаваемого через пластину? Как изменится эта величина, если в пластине проделать десять параллельных продольных сквозных зазоров толщиной  $d = 10$  нм ( $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ) каждый?

2. Изостеры сорбции. Определение теплоты сорбции

10.1. Ионы  $^4\text{He}^+$  с первичной энергией  $E_0 = 2$  МэВ сталкиваются с мишенью, сделанной из неизвестного материала. После упругого прямого лобового соударения ионы отражаются с энергией  $E_1 = 1,1$  МэВ. Какова атомная масса неизвестного материала? Что это за элемент?

2. Поток молекул на поверхность. Время образования монослоя. Средняя длина свободного пробега. Режимы течения газа.

11.1. С внутренней поверхности сферы диаметром 0,5 м в результате десорбции были удалены два плотноупакованных монослоя гелия. Чему стало равно давление в камере? Температура системы равна температуре окружающей среды.

2. Движение He-II в капилляре с паром при наличии продольного теплового потока. Постановка задачи, математическое описание, результаты расчетов и экспериментов.

12.1. Определите коэффициент прохождения звуковой волны, падающей на межфазную поверхность сверхтекучего гелия из жидкости. Температура границы раздела  $T_s = 1,9$  К.

2. Моделирование взаимодействия атома газа с поверхностью твердого тела. Расчет скорости захвата атома газа на основе решеточной теории. Математическое описание и результаты.



13.1. Определите во сколько раз отличаются коэффициенты отражения звуковой волны  $R$  от поверхности конденсатов для сверхтекучего гелия при  $T = 2$  К и жидкого натрия при  $T = 589$  К для частоты звуковой волны  $f = 1000$  Гц, если теплопроводность жидкого натрия  $l' = 75,76$  Вт/(м×К), температуропроводность  $a' = 6,65 \times 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с, удельная теплота испарения  $r = 4,39 \times 10^6$  Дж/кг, плотность насыщенного пара натрия  $r'' = 1,57 \times 10^{-5}$  кг/м<sup>3</sup>, плотность жидкого натрия  $r' = 876,21$  кг/м<sup>3</sup>, молекулярная масса натрия 23.

2. Коэффициент прилипания. Методы и результаты экспериментального определения.

14.1. Определите во сколько раз отличаются коэффициенты отражения звуковой волны  $R$  от поверхности конденсатов для сверхтекучего гелия при  $T = 2$  К и жидкого натрия при  $T = 477$  К для частоты звуковой волны  $f = 1000$  Гц, если теплопроводность жидкого натрия  $l' = 81,46$  Вт/(м×К), температуропроводность  $a' = 6,75 \times 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с, удельная теплота испарения  $r = 4,45 \times 10^6$  Дж/кг, плотность насыщенного пара натрия  $r'' = 1,35 \times 10^{-7}$  кг/м<sup>3</sup>, плотность жидкого натрия  $r' = 902,648$  кг/м<sup>3</sup>, молекулярная масса натрия 23.

2. Особенности сорбции газа в режиме криозахвата

15.1. В капилляре диаметром 260 мкм находится объем сверхтекучего гелия, длина которого составляет  $l = 1,0972$  м. Температура гелия равна 1.60 К. При подаче к одной из межфазных поверхностей тепловой нагрузки 550 Вт/м<sup>2</sup> переключка He-II приходит в движение к источнику теплоты. При этом жидкий гелий испаряется с «холодной» межфазной поверхности. По прошествии времени  $t$  переключка останавливается и изменяет направление движения. Определите значение времени  $t$ .

2. Коэффициент энергетической аккомодации. Расчет на основе модели Бауле.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Межатомные силы на поверхности раздела фаз и в объеме тела:

Ответы:

Одинаковые

Отличаются

Верный ответ: Отличаются

2. Массовый расход газа по вакуумному трубопроводу определяется произведением проводимости трубопровода и:

Ответы:

разностью давлений на входе и выходе трубопровода

разностью плотностей на входе и выходе трубопровода

разностью температур на входе и выходе трубопровода

Верный ответ: разностью плотностей на входе и выходе трубопровода

3. Какой режим работы атомно-силового микроскопа может разрушать поверхность?

Ответы:

контактный

бесконтактный

полуконтактный

Верный ответ: контактный

4. Какое требование предъявляется к поверхностям при изучении при помощи сканирующего электронного микроскопа?

Ответы:

она должна быть выполнена из изолятора

она должна быть проводящей

она должна быть оптически прозрачной

Верный ответ: она должна быть проводящей

5. Какой тип сорбции характеризуется распределением сорбата по объему сорбента?

Ответы:

адсорбция

абсорбция

Верный ответ: абсорбция

6. Какими силами по большей части обусловлена физическая адсорбция?

Ответы:

Ван-дер-Ваальсовыми  
электромагнитного взаимодействия  
ионной связи  
водородной связи

Верный ответ: Ван-дер-Ваальсовыми

7. Как называется коэффициент, характеризующий долю адсорбированных атомов (или молекул) из полного числа частиц, взаимодействующих с поверхностью?

Ответы:

прилипания  
адсорбции  
взаимодействия

Верный ответ: прилипания

8. Уравнение изотермы Ленгмюра описывает случай адсорбции, когда можно пренебречь межмолекулярным взаимодействием:

Ответы:

адсорбента  
адсорбата  
адсорбата и адсорбента

Верный ответ: адсорбата

9. Выражение для коэффициента аккомодации энергии, первоначально выведенное Бауле, справедливо для:

Ответы:

лобового столкновения молекул газа и атомов поверхности  
случая, когда между направлением удара и нормалью к поверхности есть некий угол

Верный ответ: лобового столкновения молекул газа и атомов поверхности

10. Какое условие является обязательным для сверхтекучести?

Ответы:

постоянное давление  
температуры, близкие к абсолютному нулю  
высокие температуры

Верный ответ: температуры, близкие к абсолютному нулю

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня*

### ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***

Итоговая оценка по курсу выставляется на основе оценки за промежуточную аттестацию. Возможен случай, когда в силу значительно отличающейся текущей оценки может быть применен повышающий или понижающий коэффициент