

МОСКОВСКИЙ ордена ЛЕНИНА и ордена ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

НЕСТЕРОВ Сергей Борисович

УДК: 536.24.014.001.573(043)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
СЛОЕВ ДЕСУБЛИМАТОВ (КРИОСОРБЦИЯ ГЕЛИЯ)

Специальность

01.04.09 - Физика низких температур и криогенная техника

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1985

621.)

561

Работа выполнена на кафедре Криогенной техники Московского
энергетического института

Научный руководитель: д.т.н., проф. Лабунцов Д.А.

Официальные оппоненты: д.т.н., ст.н.с. Юферов В.Б.
к.т.н., ст.н.с. Куприянов В.И.

Ведущая организация: Институт атомной энергии имени И.В.Курчатова

Защита диссертации состоится "17" мая 1985 г. в
ауд. А-303 в 17 час. 45 мин. на заседании специализиро-
ванного совета (шифр К-053.16.02) Московского ордена Ленина и
ордена Октябрьской революции энергетического института. Отзывы
(в двух экземплярах, заверенные печатью) просим высылать по адресу:
105835 ГСП, Москва Е-250, ул. Красноказарменная, д. 14,
Ученый совет МЭИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "16" апреля 1985 г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В связи с развитием некоторых перспективных областей науки и техники значительно возросли требования к вакуумной технике и технологии. Основными требованиями являются: создание чистого "безмасляного" вакуума, большая быстрота откачки, относительная простота и надежность конструкции вакуумной системы. В процессе работы ряда устройств и установок выделяется значительное количество трудноконденсируемого газообразного гелия, который необходимо периодически удалять. Быстрота откачки гелия, которую необходимо обеспечить для нормальной работы, составляет $\sim 10^5$ л/с в области высокого вакуума. Традиционные методы откачки, такие как диффузионные насосы, неприменимы для решения названных задач. В последние годы сформировалась в отдельную отрасль криовакуумная техника, удовлетворяющая указанным требованиям. Основными методами криовакуумной техники являются криоконденсация и криосорбция газов. Молекулярные кристаллы являются перспективным классом сорбентов, обладая по сравнению с традиционными сорбентами, рядом преимуществ с точки зрения формирования и удаления слоя, вопросов регенерации и разделения откаченных смесей газов [1,2]. Для разработки инженерных методик расчета и проектирования крионасосов с газовыми десублиматорами в качестве адсорбентов актуальным становится знание их сорбционных характеристик.

Цель работы. Определение сорбционных характеристик слоев азота толщиной $0.5 \times 3.75 \times 10^{18} \text{ см}^{-2} + 5 \times 3.75 \times 10^{18} \text{ см}^{-2}$ и слоев аргона толщиной $1 \times 3.75 \times 10^{18} \text{ см}^{-2} + 10 \times 3.75 \times 10^{18} \text{ см}^{-2}$ для случая криосорбции гелия. Определение зависимости теплот сорбции гелия на слоях данных толщин от концентрации сорбата. Определение сорбционных характеристик в случае послойного нанесения сорбента. Уточнение зависимости времени сорбции гелия в зависимости от толщины слоя и концентрации. Определение влияния на сорбционные характеристики наличия предадсорбированного гелия. Расчетно-аналитическое определение коэффициентов прилипания гелия на молекулярных кристаллах.

Научная новизна. Создана экспериментальная установка, позволяющая в отличие от описанной в работе [1] формировать криослои в условиях минимальных теплопритоков. В указанных выше диапазонах толщин аргона и азота для сорбции гелия изучен известный для сорбции водорода [1] эффект зависимости сорбционной емкости крио-

слоев от количества сорбента.

Предложена и опробована методика определения термомолекулярной поправки для случая двух объемов, находящихся при существенно различных температурах, соединенных неизотермичным по длине протяженным трубопроводом.

В указанных диапазонах толщин определены зависимости теплот сорбции гелия от концентрации.

Обнаружен факт существования максимума удельной сорбционной емкости при послойном нанесении сорбента для определенной толщины слоя.

Отмечен факт зависимости сорбционных свойств криослоев азота от величины порции напускаемого сорбата. Для криосорбции гелия экспериментально подтвержден факт улучшения емкости криослоя при формировании его в гелиевой атмосфере. Расчетно-аналитическим способом получены величины коэффициентов прилипания молекул газов на молекулярных кристаллах.

Практическая ценность. Полученные результаты могут быть использованы при разработке и проектировании высокоеффективных средств "безмасляной" откачки легких газов при гелиевых температурах.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены на научно-технической конференции МЭИ в 1982 году, Ш Всесоюзной конференции "Криогенная техника-82", третьей Всесоюзной конференции по инженерным проблемам термоядерных реакторов в 1984 году, на 6-й Московской городской конференции молодых ученых и специалистов по повышению надежности, экономичности и мощности энергетического, электротехнического и радиоэлектронного оборудования в 1985 году.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения; имеет объем 141 стр., включая 91 рисунок и 4 таблицы. Список литературы включает 78 наименований.

Автор выносит на защиту:

I. Экспериментально определенные сорбционные характеристики слоев Ar и N_2 в указанном выше диапазоне толщин при криосорбции гелия. Зависимости теплот сорбции гелия от концентрации для данных толщин слоев.

2. Экспериментальную установку, позволяющую изучать процесс криосорбции гелия в условиях отсутствия градиента температур в газовой фазе и малого градиента температур по поверхности вакуумной камеры, что приводит к снижению процессов переконденсации.
3. Существование максимума зависимости удельной сорбционной емкости слоев азота и аргона при послойном нанесении сорбента для определенной толщины слоя.
4. Экспериментально полученное увеличение сорбционной емкости слоев сформированных при наличии предадсорбированного гелия.
5. Эффект зависимости емкости криослоя от величины порции сорбата.
6. Методику и результаты экспериментов по определению термомолекулярной поправки в случае двух объемов при существенно различных температурах, соединенных неизотермическим по длине протяженным трубопроводом.
7. Результаты расчетов коэффициентов прилипания молекул газов на молекулярных кристаллах в области энергий сравнимых с энергией связи.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проведен анализ литературных данных по криосорбции легких газов. Этот анализ позволил сделать следующие выводы:

Молекулярные кристаллы являются хорошими адсорбентами для легких газов [1], сравнимыми по емкости с традиционными сорбентами. Сорбционная емкость слоев газов определяется их структурой [3]. Структура слоев определяется родом вещества сорбента, температурой формирования и температурной предысторией слоев, скоростью осаждения, наличием примесей и другими факторами [1-4].

Вместе с тем анализ показал, что с практической точки зрения криосорбция гелия молекулярными кристаллами изучена не в достаточной степени. Для создания простой и надежной методики расчета криосорбционных насосов необходимо:

1. Определить сорбционные характеристики криослоев в широком диапазоне толщин.
2. Экспериментально определить зависимость теплот сорбции гелия от концентрации на слоях различной толщины.
3. Определить изменение сорбционной емкости при различных способах формирования слоя.

4. Определить влияние предадсорбированного гелия на ёмкость молекулярных кристаллов.

5. Определить расчетным путем величины коэффициентов прилипания гелия на молекулярных кристаллах.

Во второй главе дано описание экспериментальной установки и методики проведения экспериментов. Схема установки приведена на рис. I. Экспериментальная камера 4 представляет собой полую медную сферу внутренним диаметром 270 мм. Конденсационно-адсорбционные процессы происходят на внутренней поверхности сферы, подвешенной на трубке из нержавеющей стали. Вакуумная камера погружена в гелиевую ванну криостата. Изменение температуры конденсирующего элемента осуществляется путем откачки паров гелия над жидкостью. Давление насыщения паров гелия в гелиевой ванне измеряется с помощью чашечного ртутного манометра, позволяющего производить отсчет с точностью до 0.1 ммрт.ст. Модуль для измерения давления 9, находящийся при температуре окружающей среды, соединен трубопроводом с экспериментальной камерой 4. К измерительному модулю присоединены две ионизационные лампы ЛМ-3-2 и две лампы ПМИ-27. Основные измерения проводились с помощью лампы ЛМ-3-2, имеющей погрешность измерения 30 %. Показания вакууметров ВИТ-2 и ВИ-14 выводятся на пишущий прибор КСП-4.

Преимущество описываемой конструкции перед известными ранее состоит в том, что к криослою отсутствует теплоприток по газовой фазе и от излучения медных экранов. Кроме того, вследствие того, что система является прогреваемой, создаются более чистые с точки зрения загрязнения маслом условия проведения экспериментов, на котором как указывалось в [I] происходит сорбция. Важно отметить отсутствие температурного градиента по поверхности сферы, что исключает для данной конструкции возможность переконденсации гелия.

После прогрева системы и вакуумирования отсекается линия откачки и происходит захолаживание криостата жидким азотом. После заливки гелия и установления фонового давления на внутренней поверхности сферы формируется слой сорбента. В экспериментах использовались азот нулевой и особо чистый аргон с содержанием примесей менее 0.01 %. Из мерного объема сорбент попадает через трубку в вакуумную камеру. С целью устранения направленных потоков сорбата трубка напуска газа снабжена распылителем диаметром 10 мм из нескольких слоев сетки. После временной выдержки аналогично осуществляется

порционный напуск газообразного гелия и снимается зависимость равновесного давления в вакуумной камере от концентрации гелия, определяемой как отношение числа частиц сорбата к числу частиц сорбента при постоянной температуре, т.е. изотермы сорбции:

$$P = f(C)_{T=const}$$

Изотермы сорбции снимаются в интервале давлений $10^{-8} \div 10^{-3}$ Торр.

Изостеры сорбции определялись после формирования слоя и напуска порции гелия при понижении температуры медной сферы за счет откачки паров гелия.

В третьей главе рассмотрен вопрос определения термомолекулярной поправки для нахождения давления в вакуумной камере по давлению в измерительном модуле. Известное для двух объемов при различных температурах соединенных диафрагмой соотношение М.Кнудсена [5] неприменимо в данном случае из-за того, что объемы находящиеся при разных температурах соединены протяженным трубопроводом неизотермичным по длине. В этом случае вакуумная камера имеет гелиевую температуру, а измерительный модуль температуру окружающей среды. Экспериментальное определение термомолекулярной поправки проводилось на установке, описанной выше. Давление в измерительном модуле определялось с помощью датчика ЛМ-3-2. Для измерения давления внутри вакуумной камеры, находящейся при гелиевой температуре, в ее центре подвешена зернодальная система ионизационной лампы ПМИ-2. Отличием данной методики определения термомолекулярной поправки является то, что датчики находились непосредственно в обоих объемах. Проведены эксперименты для различных температур вакуумной камеры - $T_{o.c.}$, $77 + 64$ и 4.2 К. Полученные экспериментальные результаты хорошо описываются уравнением:

$$\frac{P_r}{P_x} = \left(\frac{T_r}{T_x} \right)^{0.75} \quad (I)$$

P_r , P_x , T_r и T_x - давления и температуры в холодном и горячем объемах.

Четвертая глава посвящена экспериментальному исследованию криосорбции гелия слоями десублиматоров N_2 и Ar . Изотермы и изостеры сорбции гелия на слоях аргона и азота различной толщины представлены на рис. 2 и 3. Для удобства сравнения количества газа, образующего слой адсорбента, приводятся в частицах на см^2 геометрической поверхности сферы, равной 2290 см^2 . За слой единичной толщи-

ны Q_0 условно принимается слой сформированный напуском $3.75 \cdot 10^{18}$ частиц азота или аргона на cm^2 площади камеры. Из рис. 2 видно, что сорбционная емкость слоев азота и аргона сильно зависит от толщины слоя. Так для относительной концентрации $C=1.5\%$ равновесное давление над слоем аргона $3 \cdot Q_0$ в 100 раз выше, чем над слоем Q_0 . Для сравнения на рис. 2 приведены изотермы сорбции гелия на азоте и аргоне, полученные Юферовым В.Б. [2]. Условия формирования слоев различной толщины были одинаковы. Из рис. 2 следует, что в изученном диапазоне толщин при криосорбции гелия оказывается эффект зависимости емкости слоя от толщины, отмеченный для сорбции водорода.

Изостеры сорбции, приведенные на рис. 3, представляют собой прямые линии в координатах $P, \frac{T}{T_0}$. Тангенс угла наклона этих прямых определяет теплоту сорбции. На рис. 4 приведены зависимости теплот сорбции гелия на слоях N_2 и Ar различной толщины. Для данных толщин слоев отмечается сильная зависимость теплот от концентрации сорбата. При малых заполнениях и относительно малых толщинах слоя теплоты сорбции превышают теплоту конденсации более чем в 10 раз.

Уравнение Дубинина-Радушкевича-Каганера хорошо описывает процесс криосорбции гелия на слоях Ar и N_2 .

В таблице I приведены значения емкости монослоя Q_0 , удельной сорбционной поверхности A_0 и размеров кристаллитов при сорбции гелия на Ar и N_2 .

Значения монослоевой сорбционной емкости Q_0 , полученные в результате построения зависимости теплоты сорбции $Q_{\text{сорб.}}$ от концентрации сорбата в полулогарифмических координатах хорошо согласуются с приведенными в таблице I. Величины A_0 , d кристаллита в сильной мере зависят от толщины слоя. Емкость монослоя Q_0 при измерении толщины слоя азота от $0.5 \cdot Q_0$ до $5 \cdot Q_0$ изменяется от 75 моль/моль до 14 моль/моль. Сорбционные характеристики у аргона лучше чем у азота для одинаковых количеств адсорбента.

При изучении изотерм сорбции определено влияние толщины слоя адсорбента и концентрации гелия на время установления равновесного давления после порционного напуска гелия. С возрастанием концентрации гелия время установления равновесного давления уменьшается. При давлении выше $3 \cdot 10^{-6}$ Торр над слоем Ar при $Q = Q_0$ уже через 10 с

Таблица I

Обработка результатов по методу Дубинина-Радушкевича

Адсорбент Адсорбат	Q , см $^{-2}$	d_0 , ммоль молль	A_0 , $\frac{\text{м}^2}{\text{г}}$	δ кристаллита, см
азот	0.5 Q_0	75	257	$2.3 \cdot 10^{-6}$
гелий	$1 \cdot Q_0$	36	123	$4.7 \cdot 10^{-6}$
	$5 \cdot Q_0$	14	48	$12.1 \cdot 10^{-6}$
аргон гелий	$1 \cdot Q_0$	70	167	$2.0 \cdot 10^{-6}$

устанавливается фактически равновесное давление. Эксперименты показали, что чем больше толщина слоя и чем меньше концентрация гелия, тем больше время установления равновесия. Так для слоев азота $Q = 5 \cdot Q_0$ и малых концентраций давление устанавливается несколько часов после напуска порции гелия.

В работе сравниваются изотермы сорбции гелия на слоях азота $Q = Q_0$, сформированных при температурах 4.2К и 2.2К. При концентрации С=2 % равновесное давление над слоем, сформированным при T=2.2К, на два порядка выше чем над слоем, сформированным при T=4.2К и охлажденным до T=2.2К.

Проведенные исследования по температурной устойчивости слоев показали, что при напуске порций сорбата происходит уменьшение сорбционной емкости криослоев. В зависимости от величины порций сорбата слои имеют различную сорбционную емкость. Наилучшей с точки зрения сорбционной емкости является изотерма полученная в результате напуска малых порций гелия. В результате напуска порций гелия происходит выделение теплоты сорбции, которое влечет за собой локальный разогрев слоя и его перестроение в сторону ухудшения емкости. В изученном интервале температур 4.5 + 2К повышение температуры слоя выше температуры, при которой он сформирован, в отличие от понижения, приводит к необратимому изменению структуры, и, следовательно

сорбционной емкости.

Эксперименты по послойному нанесению адсорбента показали, что имеет место известный для водорода эффект улучшения емкости слоя сформированного в гелиевой атмосфере. Эффект объясняется действием криозахвата и тем, что в гелиевой атмосфере, т.е. в условиях предадсорбированного гелия создаются благоприятные условия для формирования зерен меньшего размера, чем в отсутствии гелия. При послойном формировании сорбента при $T=4.2K$ и $2.2K$ до некоторой толщины происходит улучшение удельной суммарной сорбционной емкости, а при достижении определенного значения толщины начинается уменьшение. Сорбционная емкость слоя при послойном нанесении сорбента в значительной мере определяется концентрацией гелия в предшествующем слое.

Экспериментально подтвержден эффект увеличения емкости слоя при формировании его при наличии предадсорбированного гелия.

В пятой главе рассмотрен вопрос взаимодействия атомов гелия с поверхностью твердого кристаллического адсорбента с целью определения коэффициентов прилипания гелия на слоях десублиматоров. Под коэффициентом прилипания $\alpha_{\text{прил.}}$ понимается отношение числа молекул прилипающих в единицу времени на единице поверхности $N_{\text{пр.}}$ к числу падающих на эту поверхность за то же время молекул $N_{\text{пад.}}$:

$$\alpha_{\text{прил.}} = \frac{N_{\text{пр.}}}{N_{\text{пад.}}} \quad (2)$$

Рассматривается однократное взаимодействие молекулы с поверхностью, свободной от предадсорбированных молекул.

Для расчетно-аналитического определения коэффициентов прилипания используется расчетная модель предложенная Ф.Гудманом [6].

Основными допущениями модели являются:

1. Кристалл моделируется простой кубической решеткой;
2. Движение атомов кристалла описывается при помощи гармонического потенциала взаимодействия;
3. Температура кристалла $T_s = 0$.

Рассматривается лобовое взаимодействие атома газа с центральным атомом кристаллической решетки. Для описания процесса взаимодействия используется система уравнений в безразмерном виде, состоящая из:

- уравнения для относительного расстояния между атомом газа и центральным атомом решетки;

- уравнения, описывающие силу взаимодействия для заданной потенциальной функции;

- уравнения для координаты центрального атома;

- уравнения движения подлетающего атома.

Для того, чтобы система уравнений была замкнутой задаются начальная скорость и координата атома газа.

Решение системы интегро-дифференциальных уравнений осуществлялось на ЭВМ ЕС-1033, ЕС-1035 и БЭСМ-6.

В результате решения получались зависимости изменения координаты молекулы газа и центрального атома решетки, скорости молекулы, силы взаимодействия от времени. Под скоростью захвата $v_{\text{захв.}}$ понимается скорость, выше которой частица после взаимодействия отлеляется от поверхности, а ниже прилипает к ней.

Считается, что поток, летящих к поверхности молекул описывается функцией распределения Максвелла. В соответствии с определением

д. прил. равно:

$$d_{\text{прил.}} = 1 - e^{- \frac{v_{\text{захв.}}^2}{2RT}}$$

(3)

где R - универсальная газовая постоянная;

T - температура потока молекул

В таблице 2 приведены полученные значения скоростей захвата и коэффициентов прилипания для температур $T = 300$ и 77 К.

Скорость захвата определяется отношением масс атомов газа и решетки и энергетическим параметром $B = (\frac{a^2}{k}) D$, зависящим от глубины потенциальной ямы и жесткости системы.

При взаимодействии легкого атома с решеткой скорость захвата и, соответственно, коэффициент прилипания значительно меньше, чем для атомов одинаковой массы.

С повышением жесткости системы рассеяние энергии в решетке увеличивается, т.е. возрастает коэффициент прилипания.

В изученных случаях отклонение центрального атома мало по сравнению с параметром решетки. Замена потенциала Морзе на потенциал Леннарда-Джонса практически не сказывается на характеристиках взаимодействия.

Таблица 2

	$Ar^* - He$	$Ne - He$	$Kr - He$	$Xe - He$	$Ar^* - Ar$	$Cu - He$
V захв. (м/с)	280	260	218	176	277	479
d прил. $T=300K$	0.06	0.05	0.034	0.024	0.46	0.17
d прил. $T=77K$	0.22	0.19	0.14	0.09	0.91	0.51

ВЫВОДЫ

Получены сорбционные характеристики Не на молекулярных кристаллах азота в диапазоне толщин $0.5 \times 3.75 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2} \div 5 \times 3.75 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$ и аргона - $1 \times 3.75 \times 10^{18} \text{ см}^{-2} \div 10 \times 3.75 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$.

1. Создана прогреваемая экспериментальная установка для изучения криосорбции гелия в условиях минимальных теплопритоков к криослою, малого градиента температур по поверхности вакуумной камеры и снижения за счет прогрева паразитных слоев масла, затрудняющих работу в области слоев малых толщин.

2. Экспериментально определены сорбционные характеристики и теплоты сорбции на слоях N_2 и Ar^* в указанном диапазоне толщин. Для криосорбции гелия обнаружен сильный разброс этих характеристик от количества сорбента, что по-видимому связано с изменением структуры слоя.

3. Предложена методика и проведены эксперименты по определению термомолекулярной поправки для случая двух объемов, соединенных протяженным неизотермичным по длине трубопроводом. При $T=4.2$ экспериментальное значение поправки в 3 раза выше, чем рассчитанное по формуле М.Кнудсена.

4. Экспериментально получено улучшение сорбционных характеристик криослоев при сорбции гелия, сформированных при наличии предадсорбированного гелия.

5. Обнаружен эффект существования максимума удельной сорбционной емкости при послойном формировании сорбента при $T=4.2K$ и $2.2K$.

6. Для исследованных толщин криослоев определена зависимость времени установления равновесия от толщины и концентрации сорбата при $T=4.2K$.

7. Обнаружен факт зависимости сорбционной емкости слоев от величины порции гелия, что объясняется их структурной нестабильностью.

8. Расчетно-аналитическим путем определены значения коэффициентов прилипания газов.

Показано что:

A. Коэффициент прилипания сильно зависит от отношения масс и энергетического параметра.

B. Вид потенциальной функции слабо влияет на характеристики взаимодействия.

Основное содержание работы отражено в следующих статьях:

- I. Крюков А.П., Нестеров С.Б., Сидоров Е.В. Исследование процессов сорбции молекул гелия поверхностью твердого кристаллического адсорбента. III Всесоюзная научно-техническая конференция по криогенной технике "Криогенная техника-82". Тезисы докладов. Москва, 1982.
2. Крюков А.П., Нестеров С.Б., Сидоров Е.В. Экспериментальная установка для исследования процесса сорбции гелия на слоях десублимированных газов. - Тр./Моск.энерг.ин-т, 1983, вып. 609, с.99-102.
3. Крюков А.П., Нестеров С.Б. Экспериментальное определение сорбции гелия на слоях аргона. - В кн. Межвуз. сб.тр. № 34. М.: Моск.энерг.ин-т, 1984, с. 71-76.

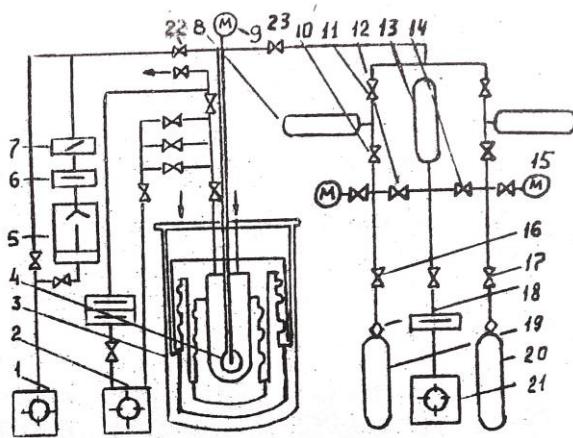


Рис. I. Схема экспериментальной установки

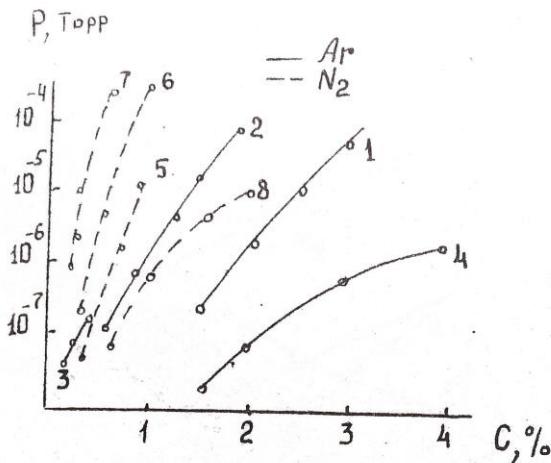


Рис. 2. Изотермы сорбции гелия на слоях Ar и N_2 различной толщины при $T = 4,2$ К

I-4 на слоях аргона; 5-8 на слоях азота; $1,5 - Q = 12_0 = 3.75 \times 10^{18} \text{ см}^{-2}$; $2,6 - Q = 3 \cdot Q_0$; $3,7 - Q = 5 \cdot Q_0$; $4,8 - Q = 0.22 \cdot Q_0$ - данные Юфёрова В.Б.

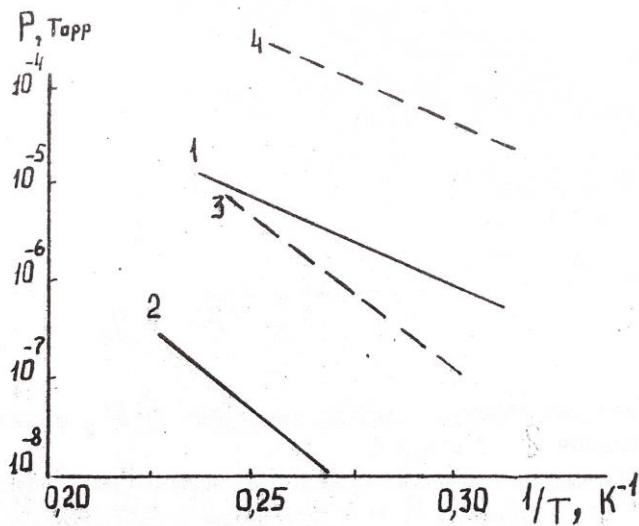


Рис. 3. Изостеры сорбции гелия на слоях Ar и N_2 при T формирования = 4,2 К

1,2 - на слоях Ar ; 3,4 - на слоях N_2 .
 $1 - C = 1.5\%, Q = 3 \cdot Q_0; 2 - C = 1.5\%, Q = Q_0;$
 $3 - C = 1\%, Q = Q_0; 4 - C = 1\%, Q = 3 \cdot Q_0.$

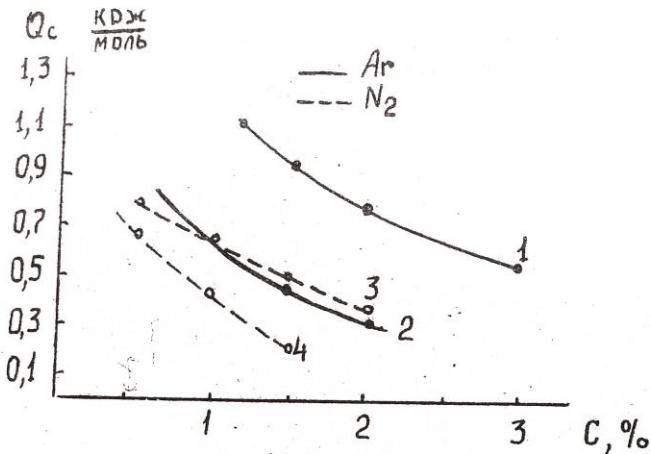


Рис. 4. Зависимость теплоты сорбции гелия на слоях Ar и N_2 от относительной концентрации.

- 1 - Не на Ar , $Q = Q_0 = 3.75 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$;
2 - Не на Ar , $Q = 3 \cdot Q_0$;
3 - Не на N_2 , $Q = Q_0$;
4 - Не на N_2 , $Q = 3 \cdot Q_0$.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Флеров В.Б., Бусол Ф.И. ЖТФ, 1966, т. 36, вып. II, с. 2042.
2. Флеров В.Б., Кобзев П.М. ЖТФ, 1969, т. 39, вып. 9, с. 1683.
3. Флеров В.Б., Булатова Р.Ф., Кобзев П.М., Коган В.С. ЖТФ, 1968, т. 38, вып. 2, с. 326.
4. Tempelmeyer K.E., Dawbarn R., Young R.L. J.Vac.Science and Technol., 1971, v.8, n4, p.575.
5. Knudsen M. Ann.Phys., 1910, 31;205, 633.
6. Goodman F.O. Surfac Science, 1962, v.23, n9, p.1269.

1 - 103772 Объем 1.0 Зак. #36 Тир. 100 экз. Бесплатно

Тип. МЭИ, ротапринт, Красноказарменная, 13