

СЗ42Г2

Б-907

Булавин Л.А. и др.

Б2-14-7444.



+

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б2-14-7444

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 1973

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория нейтронной физики

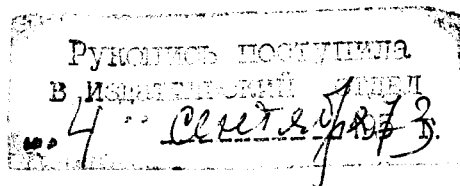
---

---

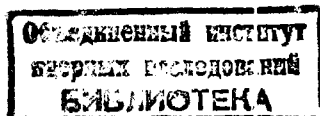
Б2-14-7444

Установка для исследования гравитационного  
эффекта в системе "жидкость-пар" методом  
пропускания нейтронов

Л.А.Булавин, В.А.Вагов, В.Н.Замрий, В.И.Лазин,  
Ю.М.Останевич, А.П.Симкина



Вблизи критической точки "жидкость-пар" сжимаемость вещества аномально возрастает, и при наличии гравитационного поля появляется эффект зависимости плотности вещества от высоты, называемый гравитационным эффектом. Измерение гравитационного эффекта при температурах, близких к критической, позволяет изучать такие аспекты уравнения состояния вещества, как форму кривой сосуществования и критической изотермы, поведение сжимаемости и движение границы раздела фаз.



Существующие в настоящее время методы исследования гравитационного эффекта обладают рядом недостатков и перестают быть применимыми в непосредственной близости от критической точки. В связи с этим в ЛНФ ОИЯИ разработана методика исследования критического состояния вещества<sup>/1/</sup> и создана установка для измерений гравитационного эффекта методом пропускания нейтронов. Описываемая установка позволяет определять пропускание нейтронов тонким горизонтальным слоем вещества, находящимся в термостатируемом образце, как функцию температуры и месторасположения слоя вещества. Дополнительные калибровочные и фоновые измерения позволяют исходную информацию о пропускании образца преобразовать в зависимость плотности вещества от высоты и температуры.

Основные особенности установки определяются трудностями реализации критического состояния вещества, спецификой нейтронного эксперимента и требуемой точностью результатов измерений. Длительность и многократность логически последовательных измерений обуславливают необходимость автоматизации и включения ЭВМ в систему управления экспериментом.

Схема установки. Геометрия эксперимента и схема установки показана на рис.1.

Пучек нейтронов от импульсного реактора ИБР ОИЯИ (1), прошедший через замедлитель, попадает на систему формирующих коллиматоров (3). Сформированный плоский нейтронный пучек с сечением  $1 \times 20 \text{ мм}^2$  попадает на образец, находящийся в контейнере-термостате (6).

Кадмиевые шторки (5) позволяют перекрывать соответствующие половины нейтронного пучка при дистанционном включении электромагнитов (4). Нейтроны, прошедшие через образец, попадают на детектор (7), и соответствующие электрические импульсы с детектора поступают на устройства детекторного тракта (I7-I9). При этом пропускаются импульсы, амплитуда которых превышает пороговое значение, заданное дискриминатором (I7), а время поступления находится в пределах заданного устройством (I8) временного окна для тепловых нейтронов. Прошедшие импульсы подаются на быстродействующую пересчетную схему (I9), затем после соответствующей формирования передаются (по коаксиальному кабелю  $\sim 1000\text{м}$ ) на входные вентили (20) регистра (2I) со счетным входом. Электрические импульсы от детектора монитора (2) аналогично передаются в регистр (22). Длительность экспозиции устанавливается при помощи таймера-регистра (23), отсчитывающего число стартовых импульсов реактора. Показания регистров детектора, монитора, таймера и регистра положения образца (27) после окончания каждого измерения последовательно опрашиваются (24), выводятся на цифрпечатающее устройство (25) и одновременно могут быть переданы (32) в ЭВМ (33) для обработки.

Система перемещения образца (8-I6) позволяет плавно устанавливать (с точностью до 0,1 мм) положение контейнера-термостата (6) по вертикали (Y) и горизонтали (X).

Каретка (8), служащая для введения образца в пучок и выведения из пучка, и подъемник (10), служащий для перемещения образца по вертикали на расстояние до 1000 мм, приводятся в движение двигателями постоянного тока (13) через редукторы (12) и червячные механизмы (11). На обмотку возбуждения и якорь двигателя подается одинаковое по величине напряжение от двух электромашинных усилителей ЭМУ (14).

Реверс движения осуществляется изменением полярности напряжения на якоре двигателя (переключением напряжения на обмотках управления ЭМУ). Движение ограничивается при помощи концевых выключателей (9) и реле управления (16), контакты которых выключают соответствующие обмотки управления ЭМУ, когда образец занимает одно из крайних положений. Управление перемещением образца происходит по сигналам из устройств дистанционного ручного (26) и автоматического (28-31) управления. Дистанционное слежение за перемещением образца осуществляется при помощи сельсинов-датчиков (15) и сельсинов-приемников (26) горизонтального и вертикального движений. Шкалы сельсинов-приемников позволяют определять положение образца с точностью 0,01% от значения максимального перемещения. Кроме того, сельсин-приемник Y снабжен электрическим датчиком, состоящим из источника света, фотодиода и диска-прерывателя с отверстиями. Сформированный импульс от датчика (23) поступает в регистр положения образца (27), а также в счетчик шага перемещения (29), отсчитывающий заданное приращение Y - от 0,1 мм до 12,8 мм.



Логическая последовательность  $X, Y$  перемещений, регистрации и вывода данных определяется программным устройством (30). Основной цикл измерений (программа  $X, Y, -X$ ) включает последовательность следующих операций:

1. Введение образца в пучек;
2. перемещение образца по вертикали на один шаг;
3. регистрация нейтронов, прошедших через образец;
4. вывод данных;
5. выведение образца из пучка;
6. регистрация прошедших нейтронов;
7. вывод данных.

Программы  $X, 2Y, -X$ ;  $X, 4Y, -X$  или  $X, 8Y, -X$  отличаются от основной программы тем, что операции 2, 3 и 4 выполняются 2, 4 или 8 раз соответственно. Число таких шагов в каждом цикле измерений отсчитывается при помощи счетчика (31).

Для управления экспериментом предусмотрено использование малой ЭВМ, которая выполняет накопление, оперативную (первичную) обработку поступающей информации и планирует условия измерения по результатам обработки. Управляющий код, поступающий из ЭВМ в регистр (34), вносит необходимые изменения в ходе эксперимента, например, корректирует величину шага перемещения образца в оптимальном соответствии с ходом (крутизной) исследуемого участка изотермы, заданной точностью и допустимой длительностью измерений.

Установка температуры образца, измерение и поддержание ее значения с высокой точностью обеспечивается двухступенчатой системой термостатирования, включающей термостат (35), регуляторы температуры термостата (37) и образца (36), устройства измерения и задания температуры (38).

Рассмотрим особенности отдельных систем и устройств описываемой установки.

#### Контейнер-термостат. Образец.

(рис.2)

Контейнер-термостат разработан для поддержания температуры исследуемого образца в интервале  $20^{\circ}$ – $60^{\circ}$ С. Основные элементы его следующие: внешняя коробка (1), внутренняя коробка (2), экран (3) и крышка (4). Внешняя и внутренняя коробки выполнены с двойными стенками, между которыми проходит термостатирующая жидкость. Для прохождения нейтронного пучка в стенках контейнера имеются алюминиевые окна (5), с размерами  $50 \times 200$  мм<sup>2</sup>. Термостатирующая жидкость поступает во внутреннюю коробку, затем через крышку во внешнюю коробку. Причем формирование потока жидкости в коробках достигается внутренними перегородками. К крышке на теплоизоляторах подвешен образец (6) – алюминиевый сосуд с внешними размерами  $250 \times 80 \times 40$  мм<sup>3</sup> и внутренними размерами  $220 \times 50 \times 10$  мм<sup>3</sup>, заполняемый исследуемым веществом. Вентиль (7) служит для подключения образца к системе наполнения. С помощью гидропресса образец проверен до давления 150 ат. При этом по всей длине образца изменение толщины рабочего объема не превышает 0,03%.

Рабочий объем образца в интервале температур  $20^{\circ}$ - $35^{\circ}$ C определен взвешиванием пустого образца и образца, заполненного дистиллированной водой, с использованием табличных значений плотности воды<sup>/2/</sup>. Точность определения объема образца при определенной температуре составляет 0,05%.

Наполнение образца исследуемым этаном выполняется методом переконденсации (при охлаждении образца до температуры  $-70^{\circ}$ - $0^{\circ}$ C). Для грубого определения количества этана, наполняющего образец, используется манометр, а для более точного взвешивания образца, Чистота этана в образце достигает 99,97% ~~веса~~ (объема)<sup>нрлх</sup>. Заданное значение средней плотности вещества может быть получено с ошибкой, не превышающей 0,1%. Вес контейнера-термостата с образцом  $\sim 50$  кг.

Система термостатирования образца. Особенности исследования свойств этана при приближении к критической точке "жидкость-пар" определили требуемую точность поддержания температуры образца  $T$ . Например, чтобы достигнуть области  $\frac{T - T_{кр}}{T_{кр}} = 5 \cdot 10^{-6}$ , необходимо приблизиться к критической точке  $T_{кр}$  на  $0,0015^{\circ}$ , причем допустимые отклонения температуры  $T$  за время измерений (для одной изотермы)  <sup>$\sim 10$  час</sup> не более  $\pm 0,0003^{\circ}$ . Система термостатирования образца, отвечающая таким требованиям, состоит из двух ступеней. В первой ступени используется промышленный термостат, причем вода из термостата подается в коробки, окружающие образец. Для используемого термостата кратковременные изменения температуры  $\pm 0,01^{\circ}$ , а долговременные изменения до  $\pm 0,015^{\circ}$ .



Применение двух массивных коробок, вставленных одна в другую с воздушной прослойкой, позволяет сгладить колебания температуры на образце до  $\pm 0,005^{\circ}\text{C}$ , с медленным уходом  $0,005^{\circ}$  на  $1^{\circ}$  изменения комнатной температуры. За время измерений одной изотермы ( $\sim 10$  час) температура в комнате может меняться в пределах  $\pm 2^{\circ}$ , а температура образца - в пределах  $\pm 0,02^{\circ}$ . Во второй ступени для более точного термостатирования используется окружающий образец экран с нагревателем, причем температура экрана поддерживается автоматически, с точностью  $\pm 0,001^{\circ}$ . Экран (с размерами  $150 \times 180$  мм и высотой 250 мм) изготовлен из алюминиевой фольги, толщиной 70 микрон. Нагреватель экрана выполнен из манганиновой проволоки (сопротивлением  $\sim 1,2$  ком), равномерно приклеенной на наружной поверхности экрана. Сопротивление нагревателя на крышке экрана выбрано таким, что при изменении тока через нагреватель, температура всего экрана меняется равномерно.

Схема измерения и регулирования температуры приведена на рис. 3. Датчиком температуры является платиновый термометр сопротивления (Т), размещаемый на внутренней стороне экрана. Датчиком величины тока, протекающего через термометр, является образцовая катушка сопротивления ( $R_N$ ). Падение напряжения на термометре ( $U_T$ ) и образцовой катушке ( $U_N$ ) подаются на входы XI и X2 двухрядного полуавтоматического потенциометра (I), класса 0,005, где сравниваются с установленными напряжениями  $U_{XI}$  и  $U_{X2}$ , соответствующими заданной температуре экрана и току термометра. При отклонении температуры экрана от заданной возникающее напряжение рассогласования ( $U_T - U_{XI}$ ) усиливается фотокомпенсационным усилителем (3), затем подается через коммутатор (4) на вход астатического регулятора (5).

К выходу астатического регулятора, являющегося мостом переменного тока, подключен электродвигатель, на оси которого закреплен двадцати-оборотный резистор  $R_1$  (1 ком). Знак напряжения рассогласования определяет направление вращения, а величина этого напряжения - скорость вращения резистора  $R_1$ . При этом устанавливается необходимое значение тока в цепи нагревателя (Н). Начальный ток нагревателя (8 ма), устанавливаемый при среднем значении сопротивления  $R_1$ , определяет возможные пределы регулирования температуры ( $\pm 0,02^\circ$ ). Аналогично осуществляется регулирование тока, протекающего через термометр. При отклонении тока от заданной величины, возникающее напряжение рассогласования ( $U_2 - U_{x2}$ ) усиливается (3) и подается (4) на вход астатического регулятора (6), который при помощи десятиоборотного резистора  $R_2$  (100 ом), включенного последовательно с резистором (20 ком), регулирует величину тока в необходимых пределах.

Использование одного потенциометра (1) с нормальным элементом (2) и усилителем (3) для регулирования температуры экрана и тока термометра позволяет уменьшить влияние изменения комнатной температуры (соответствующее изменение показания потенциометра и дрейф нуля усилителя одинаково влияет на оба сигнала регулирования). Переключение входов потенциометра и астатических регуляторов осуществляется контактами программного коммутатора (4), имеющего реле времени на электродвигателе (за каждый цикл работы реле времени сначала на 2 минуты подключается система регулирования тока, затем на 7 минут - система регулирования температуры), причем на время каждого переключения понижается чувствительность потенциометра.

Необходимые положения переключателей входа и чувствительности потенциометра устанавливаются при помощи электродвигателей, закрепленных на оси переключателей (P1, P2).

Требование к стабильности источников питания, регулирующей схемы, определяется тем, что изменение напряжения на термометре ( $U_I = 0,1$  в при токе  $I$  ма) на  $\Delta U_1 = 0,04$  мкв) ( $\frac{\Delta U_1}{U_1} = 4 \cdot 10^{-7}$ ) соответствует изменению температуры экрана на  $0,0001^\circ$ . Следовательно допустима относительная нестабильность тока  $\sim 10^{-7}$ , как в цепи термометра, так и в цепи старших декад потенциометра ( $I_A$ ). Напряжение питания подается с кремниевого стабилитрона Д818Е (температурный коэффициент напряжения  $\pm 0,001$  процент/градус), помещенного в герметичный дюралевый стакан, затем в масляный термостат (ТС) с температурой  $39,6 \pm 0,01^\circ\text{C}$ , причем нестабильность температуры внутри стакана - не хуже  $\pm 0,005^\circ$ . Реальная нестабильность напряжения на стабилитроне  $\frac{\Delta U}{U} = \pm 2 \cdot 10^{-7}$ . Кроме того, напряжение на стабилитроне подается от источника с электронной стабилизацией (БСУ) через дополнительную схему на двух стабилитронах, помещенную в термостат. Отклонение тока  $I_A$  от номинального значения может дать неодинаковые изменения  $U_{X1}$  и  $U_{X2}$ , если их величины отличаются больше, чем в четвертом знаке. Значение этого тока устанавливается перед началом регулирования температуры, т.е. примерно 1 раз в сутки, и указанный эффект может иметь место. Поэтому сопротивление образцовой катушки (также термостатируется в масляном термостате на  $\pm 0,005^\circ$ ) дополнительно до значения сопротивления термометра при критической температуре (когда стабильность температуры должна быть наивысшей), и напряжение на катушке сопротивления и термометре одинаковы.

Наблюдающиеся колебания температуры экрана  $\pm 0,001^{\circ}$  могут быть объяснены тем, что реальная тепловая постоянная времени экрана ( $\sim 7$  мин) не позволяет мгновенно обрабатывать уходы температуры. Большая тепловая постоянная времени контейнера-термостата уменьшает нестабильность температуры образца по сравнению с нестабильностью температуры экрана. Нестабильность температуры образца (за 10 часов) не превышает  $\pm 0,0003^{\circ}\text{C}$ . Время установления температуры 4-6 часов.

Температура образца измеряется при помощи платинового термометра (с точностью абсолютной градуировки  $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$ ), помещенного в ампулу, приклеенную к образцу и аналогичного полуавтоматического потенциометра. Использование такой схемы позволяет определять изменение температуры образца с точностью до  $0,0001^{\circ}\text{C}$ , т.е. с разрешением платинового термометра. Градиенты температуры на образце, измеренные при помощи 15-ти спайной термопары медь-константан, не выше  $0,0001^{\circ}\text{C}$ .

Система регистрации и вывода данных. Регистрация нейтронов происходит при помощи батареи из семи пропорциональных счетчиков, наполненных  $\text{BF}_3$  с обогащением  $\text{B}^{10}$ . Сопротивление нагрузки этих счетчиков (10 ком) выбрано таким, что при минимальной длительности импульсов (длительность переднего фронта до 50 нсек, а заднего фронта до 500 нсек) рабочая характеристика детектора имеет плато. Импульсы с детекторов ~~нейтронов~~ ~~припускаются к дальнейшей обработке~~ (1 и 4, на рис. 4), поступающие через эмиттерный повторитель <sup>31</sup>, усиливаются

$(\times 10^3)$  /4/, формируются на линии задержки ( F ) по длительности (50 - 100 нсек), снова усиливаются  $(\times 10 + 100)$  /5/, затем через интегральный дискриминатор амплитуды ( D ) и схему временных ворот, где мультивибратор ( MB ), срабатывающий от стартового импульса реактора ( 7 ), обеспечивает регулируемую задержку 2-4 мсек, подается на схему быстрого пересчета ( 2 и 5 ) с коэффициентом пересчета 16 и скоростью счета  $\sim 20$  мгц или более. Сформированные выходные импульсы передаются в регистр ( 3 и 6 ), содержащий 6 двоично-десятичных счетных декад, к выходу которых подключены вентили для вывода данных. Разрешающая способность используемой детекторной аппаратуры  $10^{-7}$  сек. Статистическая ошибка регистрируемых данных - менее 0,1% при длительности экспозиции  $\sim 10$  мин.

В схеме таймирования применен такой же регистр ( 8 ) с переключателем длительности экспозиции ( 9 ). Входные вентили регистров ( 3, 6, 8 ) открываются при включении триггера T10. Включение и выключение T10 происходит синхронно со стартовыми импульсами реактора ( 7 ), после включения соответственно T11 и T12.

Включение T11 возможно от соответствующей кнопки ( в ручном режиме переключатель I3 в положении 3 ) или по сигналу окончания перемещения образца ( в автоматическом режиме переключатель I3 в положении 2 ), а включение T12 - от соответствующей кнопки или по сигналу таймера после отсчета  $P \cdot 10^K$  импульсов ( 7 ), где  $P = 1, 2, 4, 8$  и  $K = 2, 3, 4, 5$ . Регистр положения образца ( I4 ) фиксирует число импульсов от фото-датчика 33 ( 4 счетные декады ), признаки положения образца

в пучке и других условий измерения.

Вентили вывода данных каждого регистра поочередно открываются, по сигналам дешифратора (I6) на выходе счетчика чисел (I7), и кодовые сигналы следуют через схемы объединения и вентили стробирования старших и младших разрядов на усилители электромагнитов цифрорпечатающего устройства (I5). Одновременно, по сигналу с дешифратора (I6), происходит печать порядкового номера регистра.

Вывод данных начинается после включения триггера T18 (сигналом соответствующей кнопки или включения T10). Выходной сигнал T18 сбрасывает счетчик (I7) и разрешает прохождение импульсов автоколебательного мультивибратора ( $\sim 1$  гц) для запуска двух последовательно соединенных ждущих мультивибраторов. С выхода первого ждущего мультивибратора импульс (длительностью 50 мсек) подается на вентили стробирования старших разрядов, а с выхода второго - младших разрядов, а также для включения печатающего механизма и через 50 мсек - переключения счетчика I7 и дешифратора I6. Триггер T18 выключается по сигналу счетчика I7, и сигнал окончания вывода с T18 подается для включения перемещения образца.

Система управления перемещения образца. Направление движения образца определяется положением переключателей X и Y (в ручном режиме), либо положением триггеров T23 и T28 (в автоматическом режиме). Соответствующие сигналы для включения ЭМУ подаются по линиям 20 (либо 21) и 25 (либо 26), на время включения кнопки Y, либо триггера T29.



Когда образец занимает одно из крайних положений, по сигналу выключения движения (19, 22, 24 или 27) загорается соответствующая сигнальная лампа, кроме того, по сигналу выключения движения вверх (27) сбрасывается регистр I4. Образец перемещается в исходное положение, когда переключателем I3 (в положении 4) включается движение из пучка (21) и вверх (26). Рассмотрим выполнение программы X, Y, - X (переключатели 30 и 31 в положении I) с фиксированным шагом перемещения (сигналом с переключателя 35 открыт один из вентилях на выходе счетчика 34).

Первый этап очередного цикла начинается при поступлении с выхода TI8 первого сигнала, который сбрасывает счетчик 34, проходит через вентиль, открытый инвертированным сигналом с выключенного первого триггера счетчика (32) и включает T23, затем через мультивибратор задержки включает первый триггер счетчика 32. С выхода T23 подается сигнал включения движения образца в пучок (20). Сигнал окончания движения (19) включает T29 (а также включает или подтверждает включение T28) и начинается движение образца вниз (по сигналу 25) и отсчет импульсов (34), поступающих от датчика (33). Сигнал с выходного вентиля счетчика 34 выключает T29, прекращая перемещение образца, и поступает для включения таймера. Этот сигнал сбрасывает регистры (3, 6, 8), затем через мультивибратор задержки включает регистрацию (T11, T10) и вывод данных (TI8). Второй этап начинается при поступлении с выхода TI8 второго сигнала.

Этот сигнал проходит через вентиль, открытый сигналом с включенного первого триггера (32) и выключает T23, вызывая движение образца из пучка (2I). Сигнал выключения движения (22) сбрасывает счетчик 32 и снова включает регистрацию и вывод данных. При выполнении программы  $X, 2Y, -X$ ;  $X, 4Y, -X$  или  $X, 8Y, -X$  (переключатели 30, 3I в положении 2, 3 или 4) условием перехода ко второму этапу является включение соответственно второго, третьего или четвертого триггера (32). Например, для  $X, 2Y, -X$  первый и второй сигналы T18 включают T23, T29, а третий сигнал - выключает T23. Вспомогательные программы  $Y, Y$  или  $X, -X$  (переключатели 30, 3I в положении 5 или 6) не содержат соответственно перемещения по X или по Y.

При автоматическом управлении с ЭВМ (переключатель I3 в положении I) во время вывода данных первый стробирующий импульс включает T36, и в линию связи (40) поступает сигнал запроса прерывания ЭВМ (для ТРА I00I<sup>6/</sup> сигнал РМК). По линии связи (43) в дешифратор (37) приходит первый адресный код (KMPR 3-8). Выходные сигналы дешифратора и T36 разрешают прохождение импульса связи (КВ1-1) из линии 44 в линию 42, в качестве ответного сигнала готовности (ШАК). Второй импульс связи (КВ1-2) из линии 45 и тот же адресный код вызывают выключение T36 и передачу старших разрядов числа (4I). Второй стробирующий импульс снова включает T36, и младшие разряды числа аналогично передаются по линии (4I), и т.д. В ЭВМ происходит обработка данных цикла измерений и формирование управляющего кода. Далее, третий импульс связи

(КВІ-3) приходит из линии 46 и при наличии второго адресного кода ~~срабатывает~~ вызывает регистр 39 и включает Т38.

Поэтому из линии 44 импульс готовности поступает в линию 42. Импульс из линии 45 выключает Т38, вызывает запись управляющего кода (47) в регистр 39 и включение перемещения образца (Т23).

В состав описываемой установки входят отдельные системы (термостатирования и перемещения исследуемого образца, регистрации и вывода данных) с возможностями ручного и автоматического управления - с программным устройством и с включением малой ЭВМ. Эти возможности в разной мере используются на этапах подготовки и проведения измерений, в зависимости от характера исследуемой зависимости, точности и длительности измерений.

Ваня  
Кудряв  
Василь  
Смирнова  
Кандина  
А. Бу...

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Л.А.Булавин, Ю.М.Останевич, А.П.Симкина, А.В.Стрелков. Сообщение ОИЯИ, Р14-4829. Дубна (1969).

2. Дж.Кей, Т.Лэби, "Таблицы физических и химических постоянных". Физматгиз, М., стр.37 (1962).

3. А.А.Омельяненко, К.Г.Родионов, Хен Еен Гоень. Препринт ОИЯИ, 2280, Дубна (1965).

4. М.Дражев. Препринт ОИЯИ, 13-5174. Дубна (1970).

5. В.Ф.Борейко, Ю.Г.Будяшов, Ю.М.Валуев, В.М.Гребенюк, В.Г.Зинов, Б.С.Краснобородов. Препринт ОИЯИ, 13-6396. Дубна (1972).

6. Цифровая вычислительная машина ТРА 1001. Изд. "ТЕМПО", Будапешт (1970).

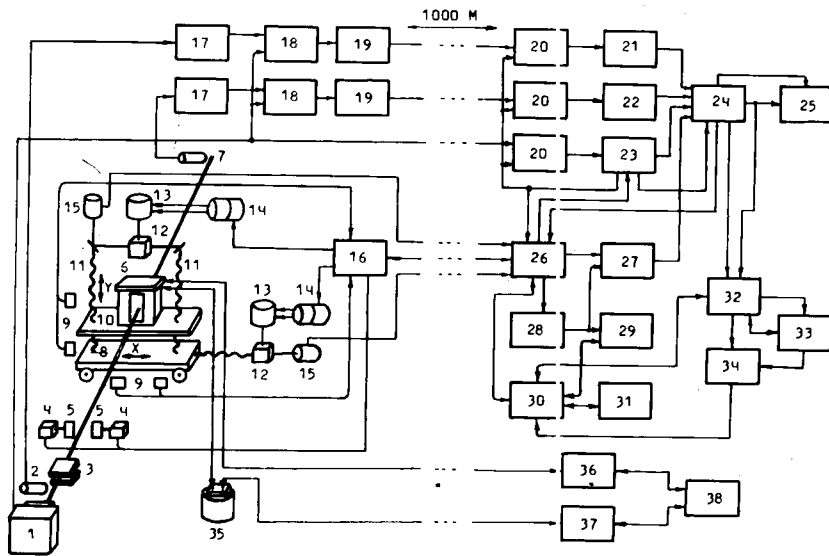


Рис.1. Установка для исследования гравитационного эффекта в системе "жидкость-пар" методом пропускания нейтронов.

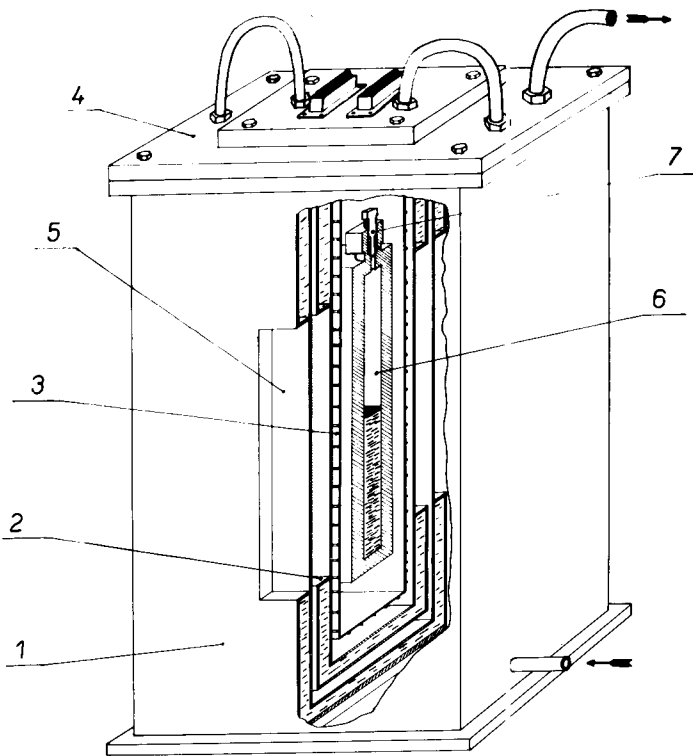


Рис.2. Контейнер-термостат с исследуемым образцом.

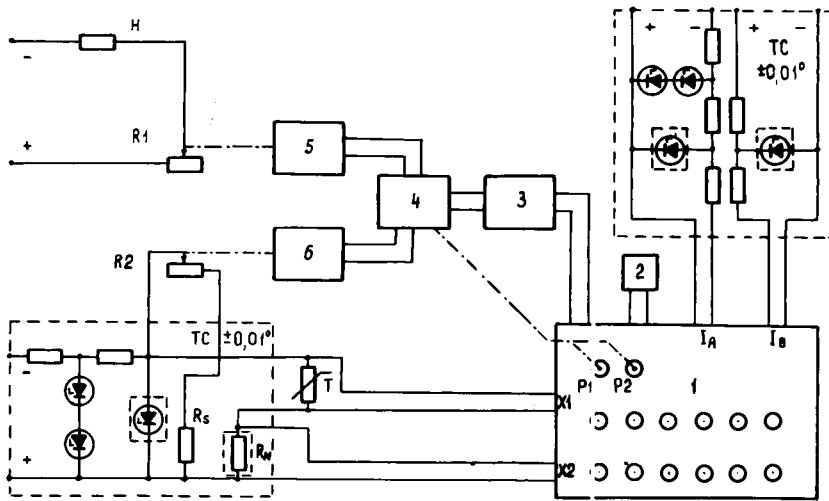


Рис.3. Схема измерения и регулирования температуры.

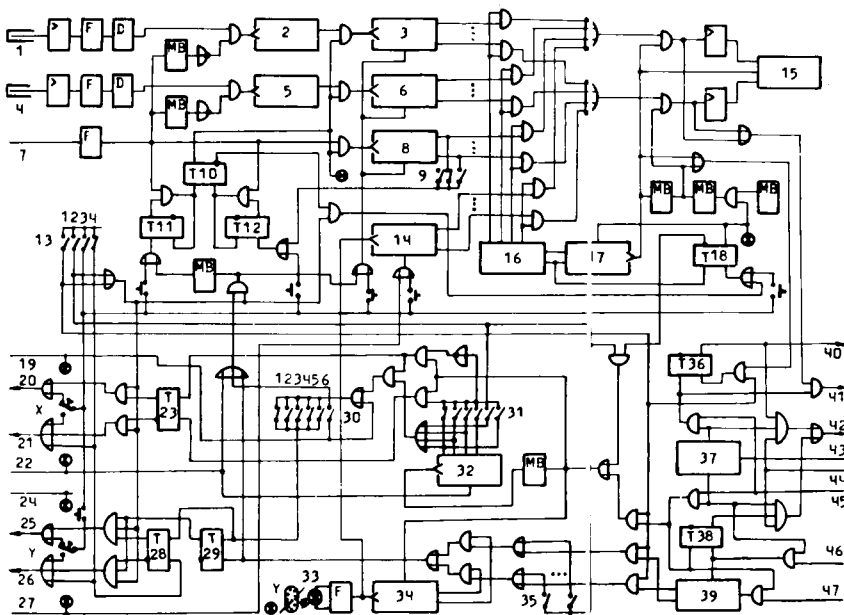


Рис.4. Схема программного управления перемещением образца, регистрацией и выводом данных.