

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԻՆՏԵՐԵՍՆԵՐ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ԳԻՏԱԿԱՆ ՀԱՂՈՐԴՈՒՄ ՆԱՍԿԱԿԱՆ ՍՈՑԻԱԼԵՏ

ЕФИ—160(76)

847800854

К.Ш. АГАБАБЯН, С.Л. АРАКЕЛЯН, Р.Т. МИНА,

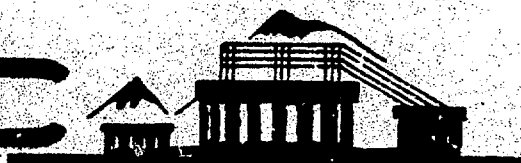
В.К. ЯЦЫНО

ЖИДКОВОДОРОДНАЯ МИШЕНЬ

АРԿՍ

ԵՐԵՎԱՆ

1976



ЕРЕВАН

УДК.621.384.664 Научное сообщение ЕФИ-160(76)

К.Ш.АГАБАБЯН, С.Л.АРАКЕЛЯН, Р.Т.МИНА
В.К.ЯЦЫНО

ЖИДКОВОДОРОДНАЯ МИШЕНЬ

Представлена конструкция жидководородной мишени, в которой ожижение водорода происходит за счет отогрева паров жидкого гелия. Измерена эффективность ожижения водорода. Полученное значение коэффициента ожижения практически совпадает с расчетным [4] и составляет при скорости ожижения до 0,35 л/час 1 л жидкого водорода на 2,8 литра жидкого гелия.

Ереванский физический институт

Ереван 1976

Scientific Report ЕФН-160(76)

K.Sh.AGABABYAN, S.L.ARAKELYAN,
R.T.MINA, V.K.YATSINO

LIQUID HYDROGEN TARGET

The construction of liquid hydrogen target in which the hydrogen liquifaction takes place due to the heat exchange with helium vapour is presented. The efficiency of liquifaction is measured. The value of liquifaction factor is obtained to agree well with the calculated one /4/. For the liquifaction of 1l of hydrogen 2.8l of liquid helium is needed when the liquifaction velocity of the hydrogen is less than 0.35l/h.

Yerevan Physics Institute
Yerevan, 1976

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Научное сообщение ЕФИ-160(76)

К.Ш.АГАБАБЯН, С.Л.АРАКЕЛЯН, В.Т.МИНА

В.К.ЯЦЫНО

ЖИДКОВОДОРОДНАЯ МИШЕНЬ

Ереван 1976

© *Ереванский физический институт, 1976*

Жидководородные мишени (ЖВМ) используются практически на всех крупнейших ускорителях мира. Основное, что их отличает, это способ получения жидкого водорода и заполнения им мишени. В Ереванском физическом институте более года эксплуатируется ЖВМ (рис.1), в которой ожижение водорода осуществляется за счет отогрева паров жидкого гелия. Этот способ не нов [1-3] и оказался приемлем по следующим причинам.

1. Количество водорода в мишени невелико, порядка 0,3 литра, а тепловые потери небольшие (испарение водорода не превышает 0,1 л/ч).

2. ЖВМ установлена в экспериментальном зале, не приспособленном для работы с большим количеством жидкого водорода. Это обстоятельство с самого начала привело к необходимости ограничить количество жидкости и использовать замкнутую водородную систему.

3. Благодаря замкнутости системы с помощью той же установки может быть получена жидкая дейтериевая мишень, поскольку для этого достаточно заменить водород на дейтерий.

4. Термодинамические расчеты [4] показывают, что для ожижения 1 литра водорода требуется испарить 2,8 литра гелия. При более благоприятных условиях это соотношение может быть уменьшено до 1:1,5. Учитывая ,

что экономические затраты на ожижение одинаковых объемов гелия и водорода практически одинаковы [5], а безопасность при работе с гелием несравненно выше, примененный в данной работе способ ожижения водорода для ЖВМ кажется весьма многообещающим.

Конструкция ЖВМ

На рис.3 представлен вертикальный продольный разрез ЖВМ. Функционально ЖВМ состоит из двух частей: ожижителя водорода и головки мишени.

1. Ожижитель водорода

а. Схема

Ожижитель водорода, в котором используется теплота отогрева паров жидкого гелия должен иметь конденсатор и теплообменник [4]. В конденсаторе происходит ожижение водорода и отогрев паров гелия от T_{c1} до T , где T_{c1} — температура кипения гелия, а T — температура конденсатора. В теплообменнике происходит охлаждение водорода и дальнейший отогрев гелия в одинаковом температурном интервале от комнатной до T . Весовые отношения потоков, при теплообмене которых осуществляются указанные режимы названы в [4] коэффициентом ожижения R_m конденсатора и коэффициентом охлаждения G теплообменника, причем при $T = T_{c2} = 20,4^\circ\text{K}$, $P = 760$ тор $R_m = 5,03$, $G_m = 2,45$. (Соответственно, отношение объемов жидкостей $R_v = 2,8$ и отношение объемов газов при нормальных условиях $R_g = 2,55$.)

Таким образом, для ожижения охлажденного водорода требуется примерно вдвое больше гелия, чем для его предварительного охлаждения до температуры конденсации, что, в принципе, позволяет использовать половину потока гелия после конденсатора, например, для охлаждения теплового экрана [6]. Если в теплообменник направить

весь поток гелия, то появится недорекуперация на его теплом конце, равная приблизительно 100°K [4]. Это обстоятельство позволяет упростить требования к конструкции теплообменника, в частности уменьшить его длину.

Схема ожижителя водорода, примененная в данной работе показана на рис. 2. Жидкий гелий в ванне под действием тепловой нагрузки q_1 испаряется и поток паров гелия

$$G_1 = q_1 / h_1, \quad (1)$$

где h_1 — теплота испарения гелия, поступает по сифонной трубке в конденсатор К и далее в теплообменник Т. Встречный поток водорода проходит через теплообменник Т в конденсатор К, где и ожижается. В стационарных условиях необходимо принудительно регулировать потоки

G_1 и G_2 таким образом, чтобы они были взаимно пропорциональны и равны R . Удобнее, однако, когда водород поступает на ожижение самотеком, благодаря разрежению в конденсаторе, возникающему из-за непрерывного ожижения водорода. Этот режим рассмотрен в работе [6], где найдена зависимость температуры T и давления P в конденсаторе от величины потока гелия и тепловой нагрузки q_2 на конденсатор, а также получено выражение для коэффициента ожижения конденсатора

$$R = G_1 / (G_2 + q_2 / h_2) = h_2 / C p_1 (T - T_{c1}), \quad (2)$$

где $C p_1$ — теплоёмкость гелия

h_2 — теплота испарения водорода.

При возрастании потока гелия температура конденсатора уменьшается, а R увеличивается, т.е. эффективность ожижения падает. Однако, к моменту замерзания водорода в конденсаторе ($T=13,6^{\circ}\text{K}$), это увеличение, в соответ-

ствии с формулой (2), происходит не более, чем в 1,6 раза. В работе [6] также показано, что при заданной тепловой нагрузке на конденсатор холодопроизводительность такого ожижителя определяется проходным сечением канала, по которому поступает водород.

6. Конструкция

Конструкция ожижителя водорода и головки мишени показана на рис.3. Ожижение водорода происходит путем его конденсации на охлаждаемой парами гелия поверхности теплообменника (15), расположенного внутри конденсатора (10).

Пары гелия поступают в теплообменник (15) через сифонную трубку (3), впаянную в дно гелиевого сборника (9). Предварительное охлаждение водорода от комнатной температуры до температуры конденсации происходит в теплообменнике (11) типа "труба в трубе" длиной 1,2 м, состоящей из четырех вложенных друг в друга тонкостенных нержавеющей трубок диаметрами 7 ; 10,5 ; 18 и 21 мм. Наружный зазор между трубками является резервным каналом и может использоваться для измерения давления в конденсаторе.

Все низкотемпературные части ожижителя снаружи закрыты азотным сборником (8) и азотным экраном (4).

Ожижитель имеет разделенные вакуумные объемы, соединяющиеся через вентиль (1). Внутренний вакуумный объем может отдельно откачиваться через вентиль (6). Сильфоны (16) и (7) из нержавеющей стали служат для разделения вакуумных объемов и в то же время являются тепловыми мостами. Эта особенность конструкции связана с тем, что у ожижителя общий вакуум с головкой мишени, диффузия водорода из которой может увеличить теплопритоки к гелиевой ванне и конденсатору.

Наружный кожух (5) ожижителя выполнен в виде цилиндра из нержавеющей стали диаметром 25 см и высотой 72 см с двумя фланцами (2) и (14). К верхнему флан-

ду крепится капка ожижителя, а к нижнему головка мишени. Кожух откачивается диффузионным насосом типа Н-0,15 с азотной ловушкой.

2. Головка мишени

Головка мишени: состоит из наружного сменного кожуха (12) с затянутыми майларовой плёнкой окнами (13) и рабочего объёма, заполняемого жидким водородом из конденсатора. Геометрия головки мишени отвечает требованиям конкретного эксперимента [7-8] .

Газовая схема ЖВМ

Газовая схема ЖВМ показана на рис.4. Она включает в себя гелиевую, водородную и вакуумную системы.

1. Гелиевая система содержит: измеритель скорости потока, собранный на базе колокольного дифманометра ДК 1 ; мановакуумметры типа МВЭС и ВЭ для измерения давления в гелиевом сборнике; форвакуумный насос РВН-20 , используемый во время заливки гелия; электромагнитный клапан K_1 ; испаритель И и систему вентилей V_1 - V_5 , V_{10} . В измерительных целях испаряющийся гелий может отводиться в газгольдер ёмкостью 6 м³ . Он снабжен указателем уровня изготовленным на базе электромеханического преобразователя Э-2Д1. Точность измерения ± 20 литров газа.

2. Водород поступает на ожижение из газгольдера ёмкостью 2 м³ , снабженного указателем уровня, подобным гелиевому, с точностью отсчета ± 5 литров газа. Процесс ожижения и испарения контролируется измерителем скорости потока ДК₂ , аналогичным гелиевому. Электромагнитный клапан K_2 предназначен для соединения конденсатора через резервный канал с газгольдером.

3. Форвакуумная откачка кожуха производится насосом ВН-2МГ через электромагнитный клапан K_4 .

Между форвакуумным и диффузионным насосами имеется резервный объем (Р.О.) образованный двумя емкостями из нержавеющей стали общим объемом $\sim 1 \text{ м}^3$. Р.О. служит форбаллоном для диффузионного насоса и, кроме того предназначен для заполнения испаряющимся водородом в случае разгерметизации рабочего объема мишени. Сброс водорода в Р.О. предусмотрен через электромагнитный клапан K_3 , который срабатывает от аварийного автомата А при ухудшении вакуума в кожухе. Одновременно закрывается клапан K_4 , выключается нагреватель диффузионного насоса и включается световая и звуковая сигнализация. Вакуум измеряется с помощью широкодиапазонного вакуумметра [9].

Управление работой ЖВМ и контроль всех основных параметров производится дистанционно с пульта, расположенного приблизительно в ста метрах от места эксперимента.

Экспериментальное исследование ЖВМ

Наиболее важным параметром, характеризующим работу ожижителя водорода, в котором используется теплота отогрева паров гелия, является соотношение потоков испаряющегося гелия и ожижающегося водорода, определяемое уравнением (9). Оно было подвергнуто экспериментальной проверке. Величины G_1 и G_2 определялись по наполнению и опорожнению соответствующих газгольдеров (рис.4). Контроль за постоянством процесса велся с помощью измерителей потока ДК₁ и ДК₂.

На рис.5 представлена экспериментально измеренная в четырех точках зависимость G_2 от G_1 . Видно, что при потоках $G_1 < 0,9 \text{ м}^3/\text{ч}$ и, соответственно, $G_2 < 0,3 \text{ м}^3/\text{час}$ экспериментальные точки лежат на прямой с наклоном $K = 2,6 \pm 0,05$, что превосходно согласуется с величиной $R_g = 2,55$ из [4].

В некоторых случаях теплообмен между потоками гелия и водорода может ухудшиться, например, при

ковое время в [1] составляет 2,5 часа и в [2] 1,5 часа.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить глубокую благодарность А.Ц.Аматуни и Г.А.Вартапетяну за постоянное внимание к работе, Г.Д.Мовсисяну, А.М.Петросяну, Р.В.Караханяну, К.С.Айвазяну, Л.А.Саркисяну за техническую помощь, М.Е.Арфамовой и А.Е.Мирзоян за помощь в оформлении статьи.

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис.1 Жидководородная мишень в экспериментальном зале на γ - пучке Ереванского синхротрона.

Рис. 2 Схема охладителя водорода, использующего теплоту отогрева паров жидкого гелия. К-конденсатор, Т-теплообменник.

q_1 и q_2 -тепловые нагрузки на гелиевую ванну и конденсатор, соответственно. G_1 -поток гелия, G_2 -поток водорода.

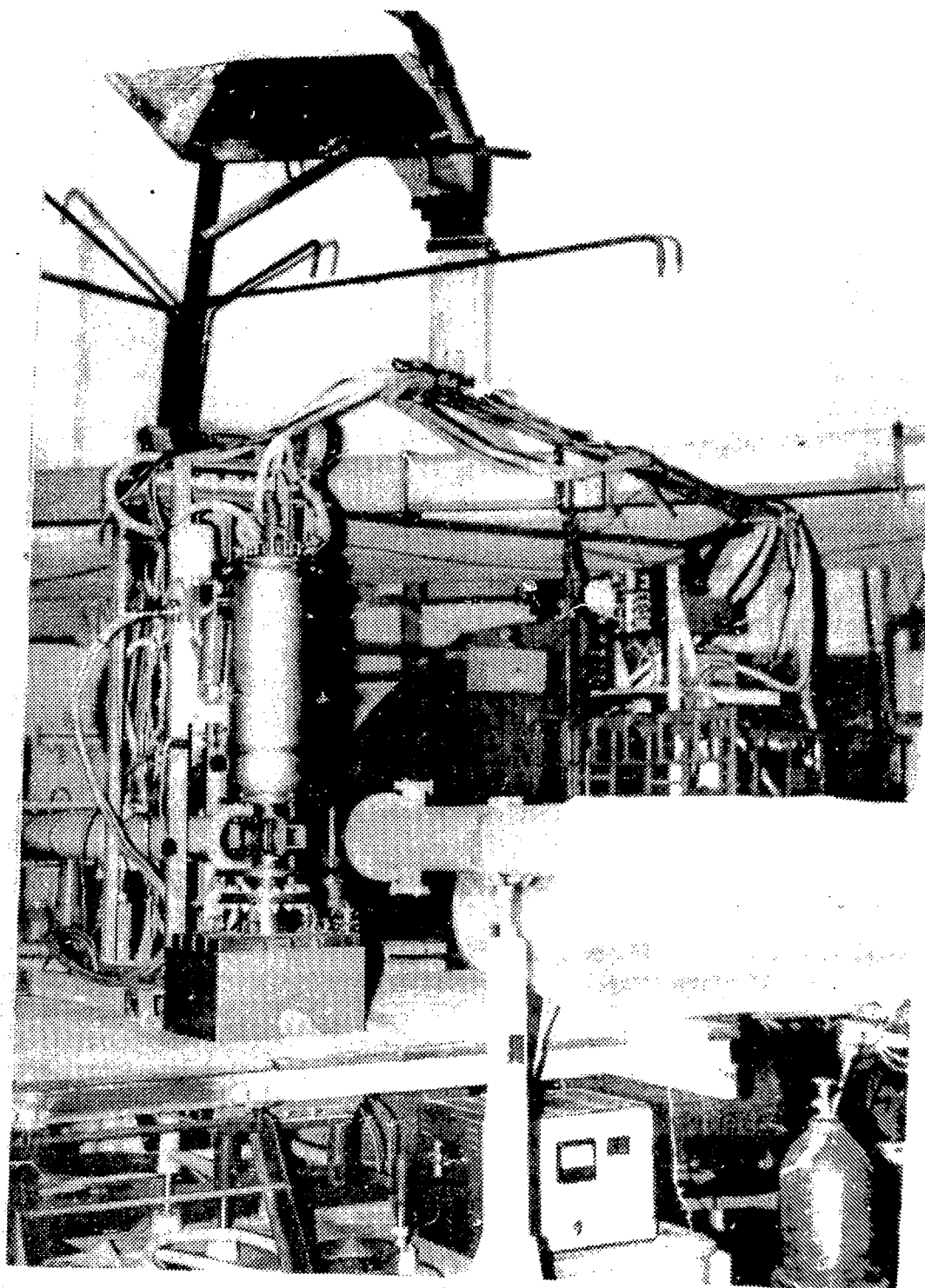
Рис.3 Конструкция охладителя водорода и головки мишени. Разрезы входного и выходного окна головки мишени помещены в одной плоскости условно для удобства изображения.

Рис.4 Разовая схема ЖВМ.

Рис.5 Зависимость скорости охладения водорода G_2 от потока гелия G_1 . Объемы газов взяты при нормальных условиях. Наклон прямой, проведенной по экспериментальным точкам равен $K = 2,6 \pm 0,05$.

Рис.6 Зависимость скорости охладения водорода G_2 от потока гелия. G_1 Проходное сечение теплообменника охладителя водорода уменьшено за счет вымороженных на его стенках примесей. Наклон экспериментальной кривой при малых потоках газов равен $K = 2,6 \pm 0,05$.

Рис.7 Временной график работы ЖВМ. На оси ординат отложены показания гелиевого и водородного газгольдеров. Объем водорода в системе равен 1 м^3 . При заполнении жидким водородом по уровню верхнего края пучка объем газообразного водорода в системе уменьшается до $0,88 \text{ м}^3$. Наклоны кривых пропорциональны потокам газов G_1 и G_2



1000

1200

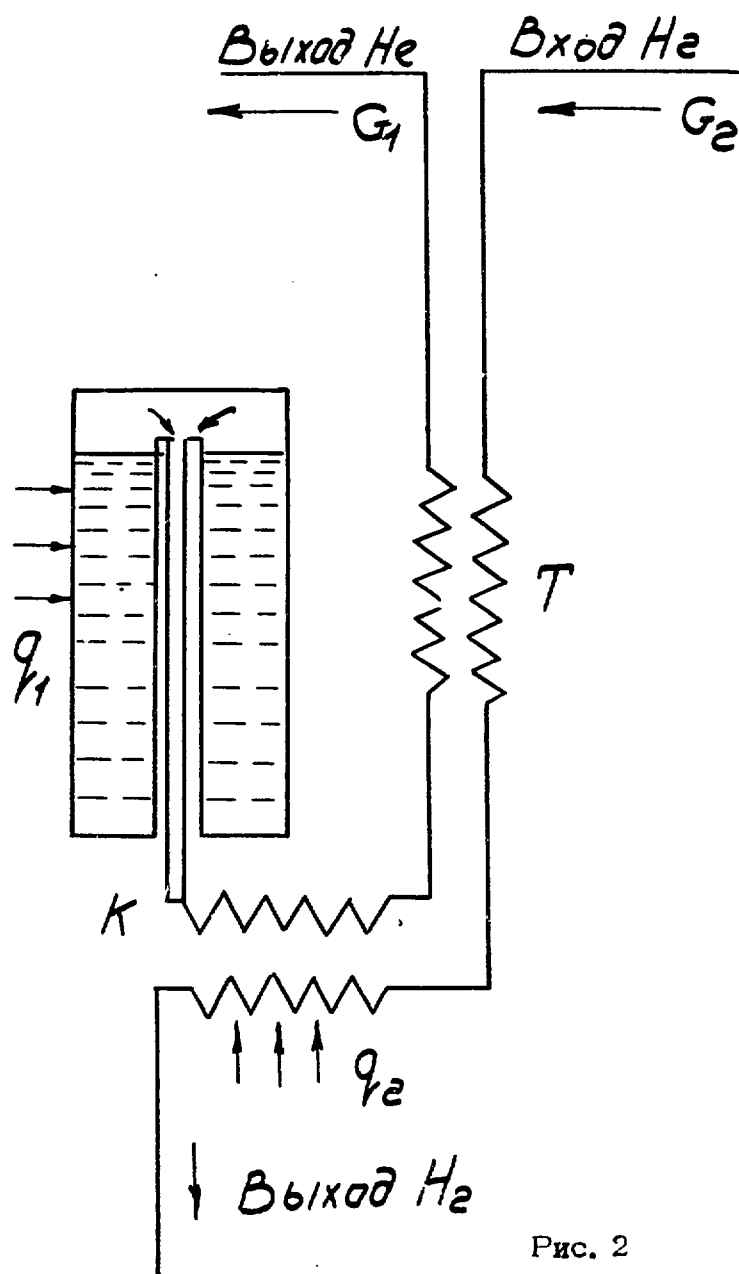


Рис. 2

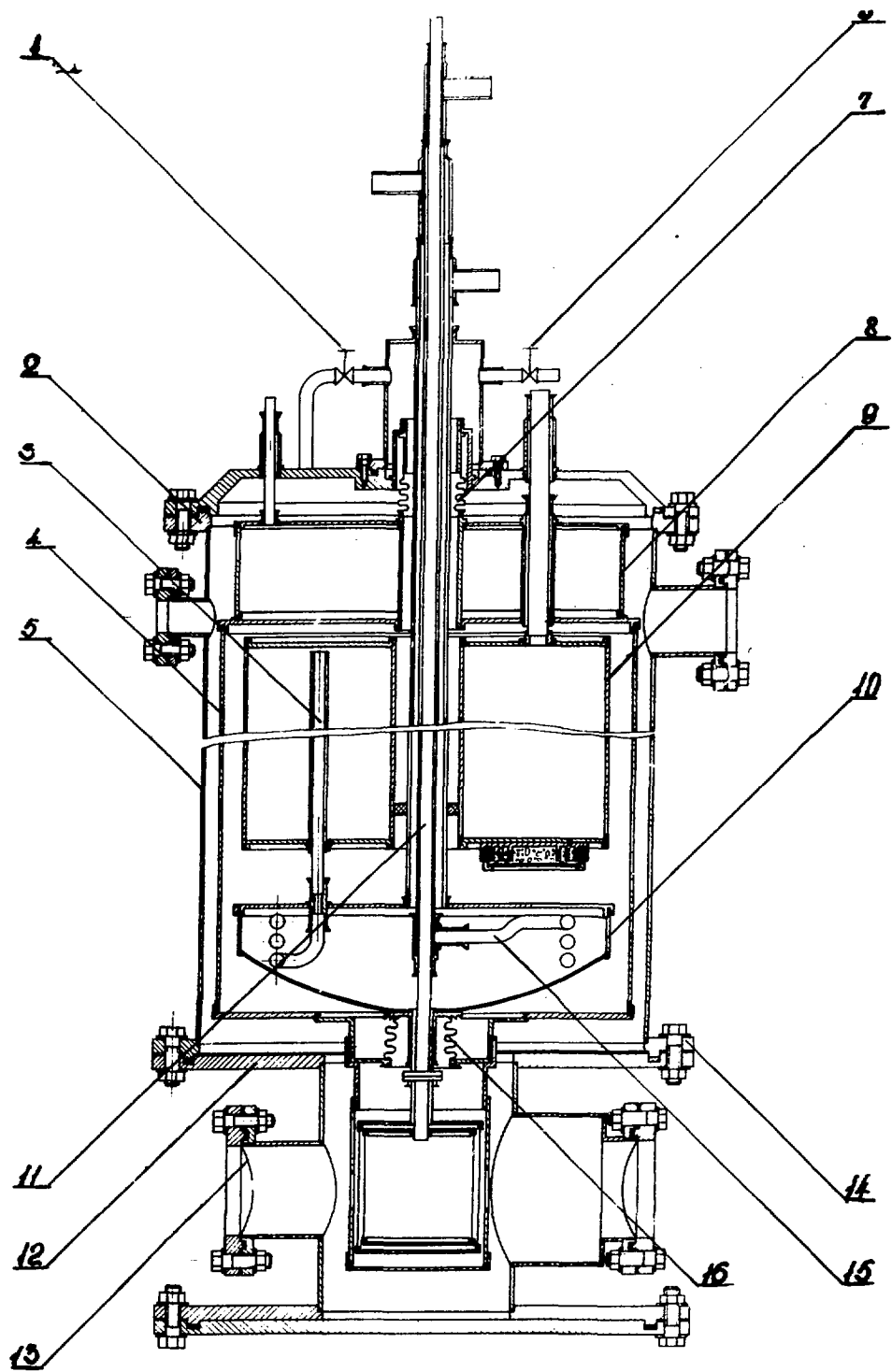


Рис. 3

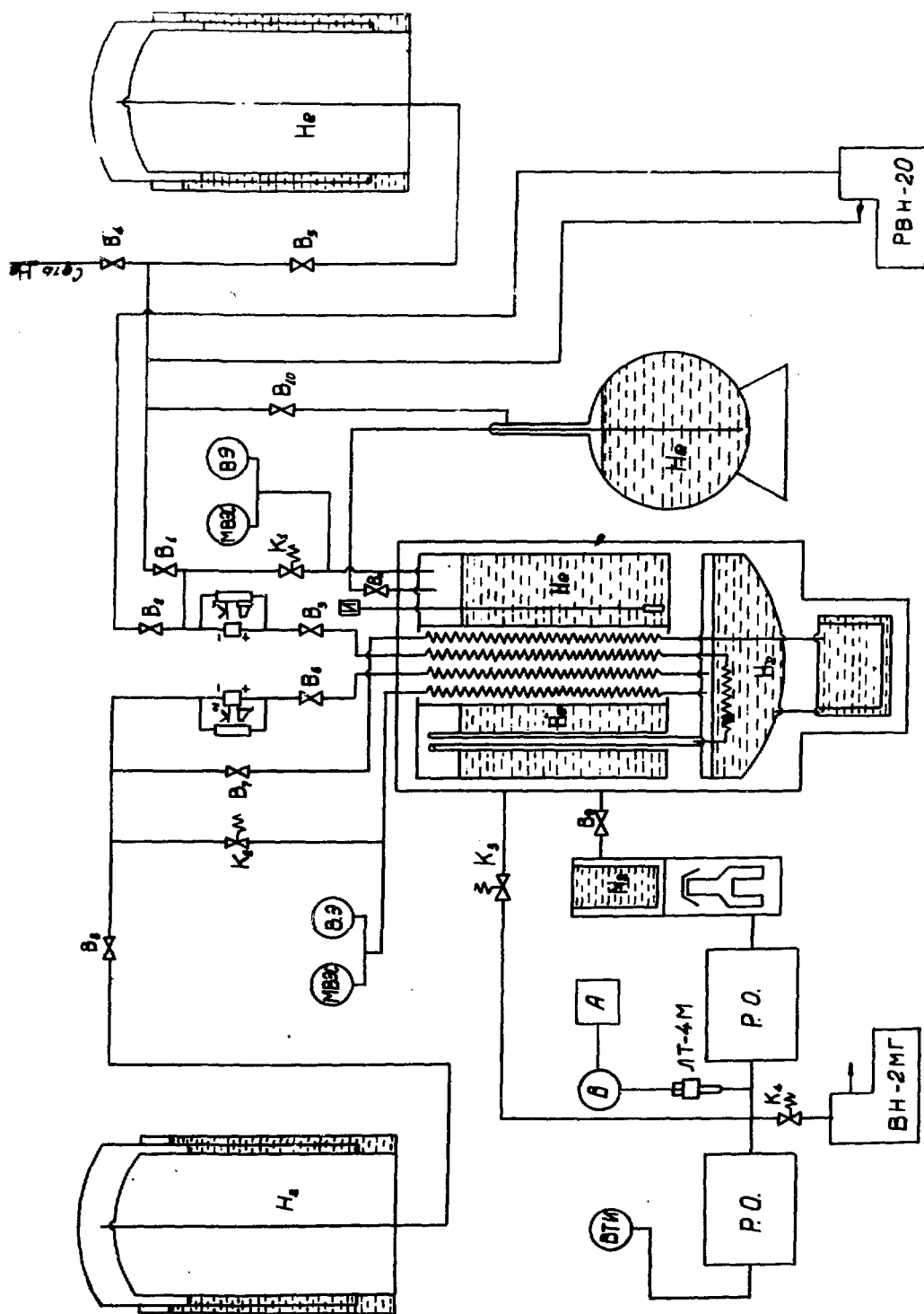


Рис. 4

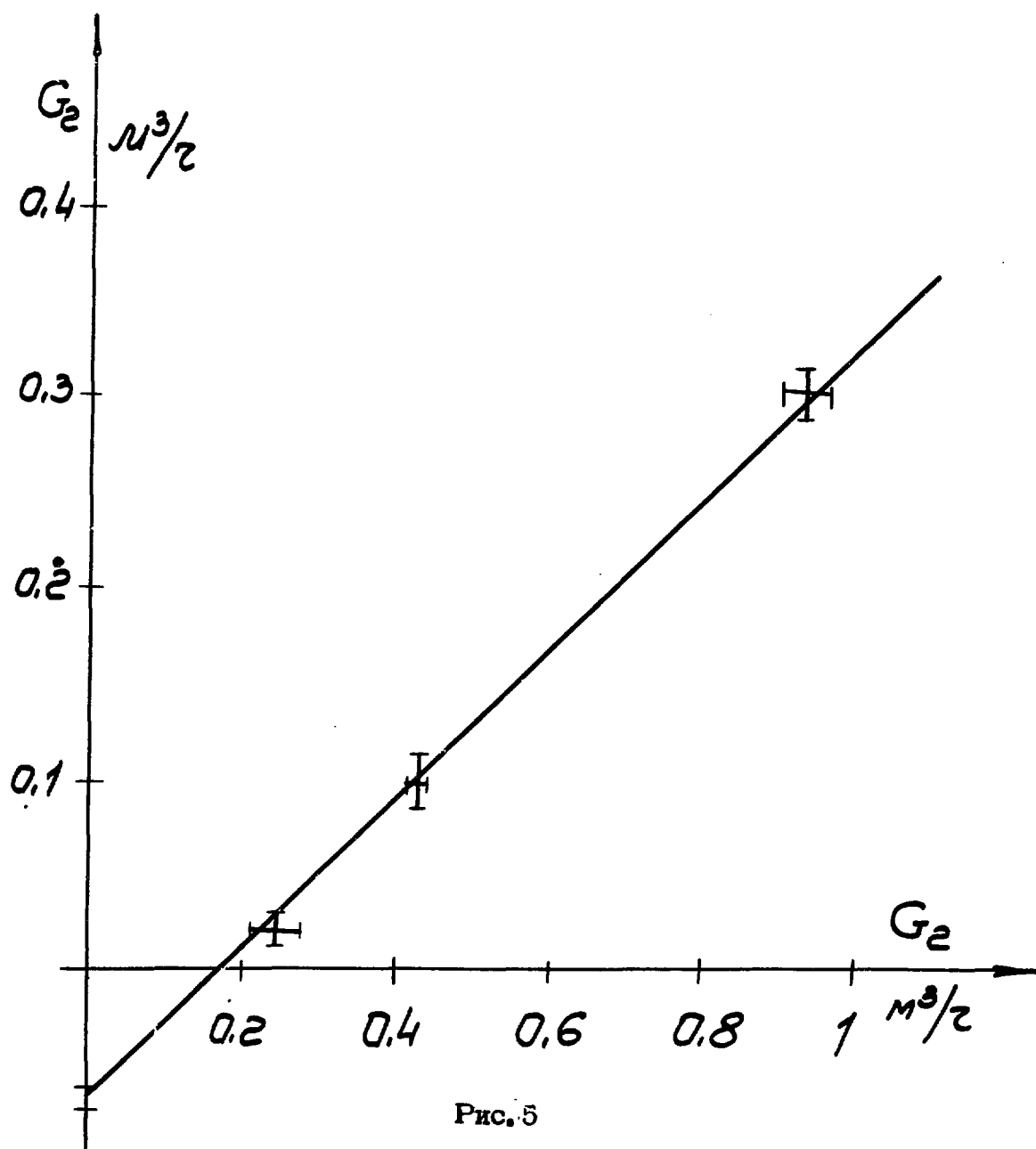


Рис. 5

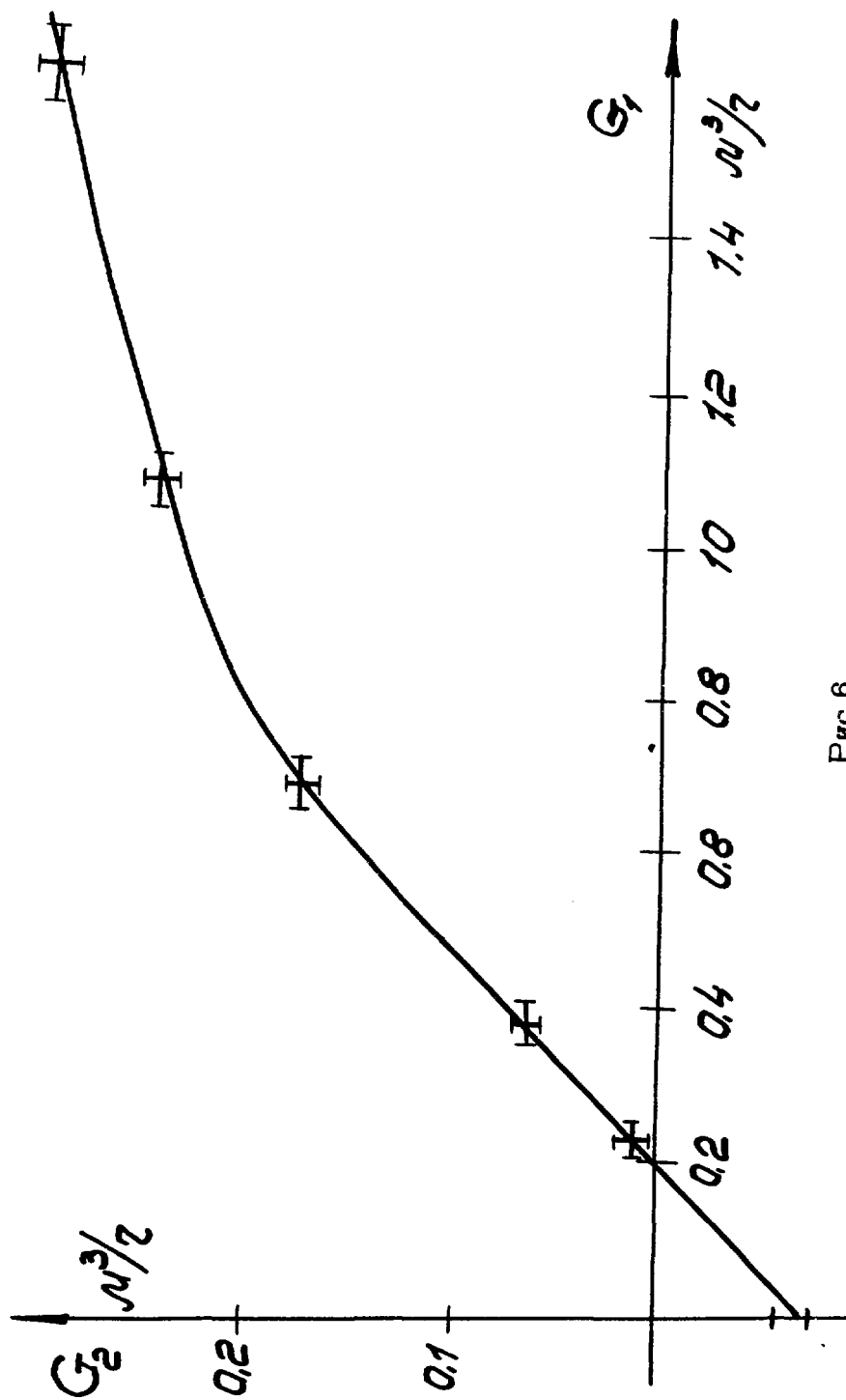


Рис. 6

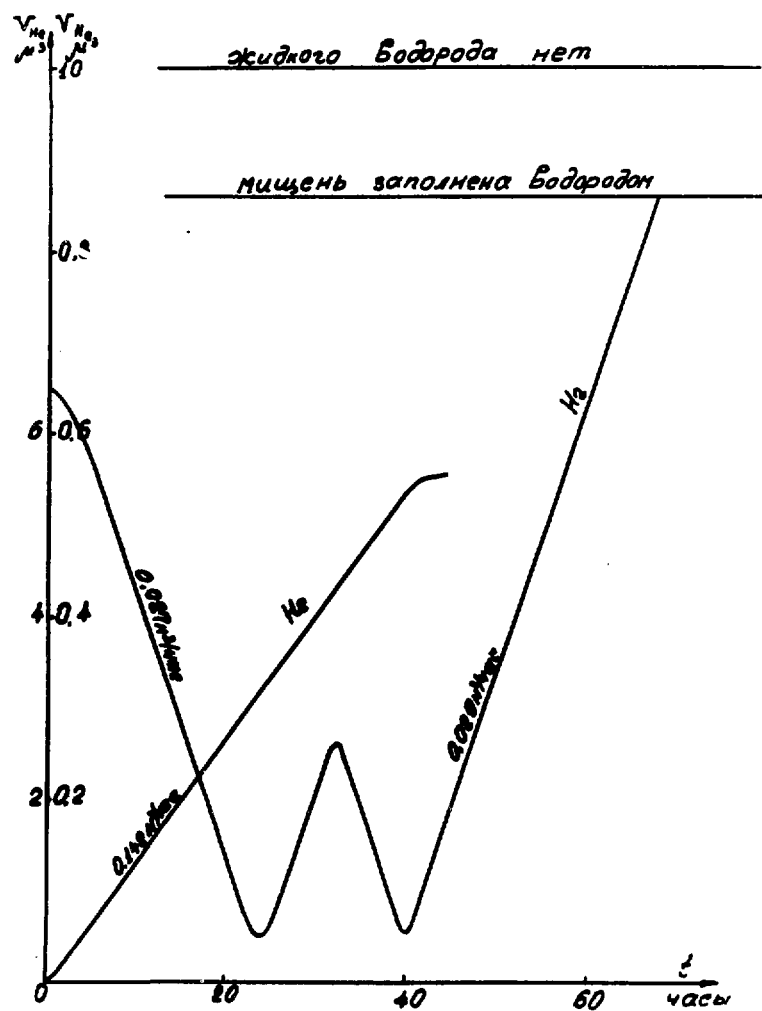


Рис.7

ЛИТЕРАТУРА

1. C.A.Swenson, R.H.Stahl. RSI 25,603 (1954).
2. G.S.Janes, L.G.Hyman,C.J.Stumski.RSI,27,527 (1956).
3. N.Yermine. RSI,37, 1670 (1966).
Н.Джерми. ПНИ 12.31. (1966).
4. Р.Т.Мина. НС ЕФИ 142 (75).
5. Справочник по физико-техническим основам криогеники
изд. "Энергия" Москва (1973).
6. К.Щ. Агабабян, Р.Т.Мина. НС ЕФИ-152(75).
7. L.O.Abrahamian et al. НС ЕФИ-136(75)
8. L.O.Abrahamian et al.Rapportenr"s talk of H.Fi-
scher to International Simposium on photon and lepton
ton Interactions at High Energy,Stanford (1975).
9. Р.Т.Мина, Г.Д.Мовсесян. ПТЭ 175 (1975)

Рукопись поступила 10-го декабря 1975 г.

Редактор Л.П.Мукаян
Тех.редактор А.С.Абрамян

Заказ 498 ВФ-03757 Тираж 299

Подписано к печати 16/Ш-76г Формат издания 30х40

1,5 уч.изд.л. Ц.10 к

Отпечатано на ротапринте

Ереванского физического института, Ереван-36, пер.Мар-
каряна 2