

И. Л. ЗЕЛЬМАНОВ

О СЖИЖЕНИИ ГЕЛИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДЖОУЛЬ-ТОМСОН-ЭФФЕКТА

(Представлено академиком А. Ф. Иоффе 1 VII 1938)

В одной, ранее напечатанной работе ⁽¹⁾ автором было высказано предположение, что лимитирующим фактором для сжижения гелия при использовании Джоуль-Томсон-эффекта часто является невозможность теплообмена, связанная с ходом кривых равной энтальпии в области $T-S$ -диаграммы, граничащей с пограничной кривой жидкости.

Для проверки правильности этого предположения и оценки его значения достаточно знать энтальпии при одной только температуре — нормальной температуре кипения гелия. Эти значения энтальпий легко вычислить, если известны какие-либо другие функции состояния в интересующей нас области.

Если в качестве независимых переменных принять давление p и температуру T , то, как известно,

$$\left(\frac{\partial i}{\partial p}\right)_T = \frac{1}{\rho} + \frac{T}{\rho^2} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T}\right)_p,$$

или, если энтальпию i измерять в кал/кг, давление в атмосферах и плотность ρ в г/см³,

$$\left(\frac{\partial i}{\partial p}\right)_T = 0.0242 \left[\frac{1}{\rho} + \frac{T}{\rho^2} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T}\right)_p \right].$$

Необходимые для расчета данные p , ρ , T и $\left(\frac{\partial \rho}{\partial T}\right)_p$ находим в работе Keesom'a и Miss. Keesom ⁽²⁾

В табл. 1 представлены взятые у Keesom'a и Miss. Keesom значения p и ρ при $T = 4.2^\circ \text{K}$ и вычисленные значения $\left(\frac{\partial i}{\partial p}\right)_T$.

Таблица 1

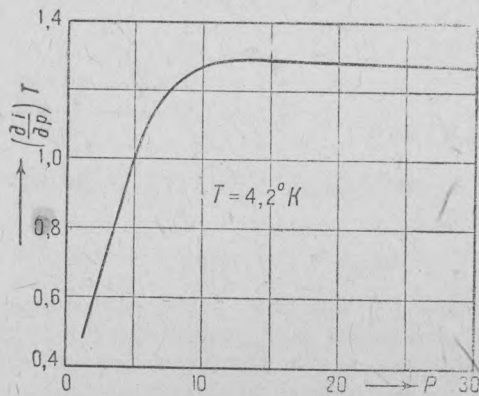
p	ρ	$-\left(\frac{\partial \rho}{\partial T}\right)_p$	$\left(\frac{\partial i}{\partial p}\right)_T$
1	0.1252	0.0222	0.049
5	0.1399	0.0122	0.110
10	0.1502	0.0073	0.128
15	0.1575	0.0058	0.130
20	0.1634	0.0050	0.129
25	0.1682	0.0045	0.128
30	0.1724	0.0040	0.127

$T = \text{const} = 4.2^\circ \text{K}$

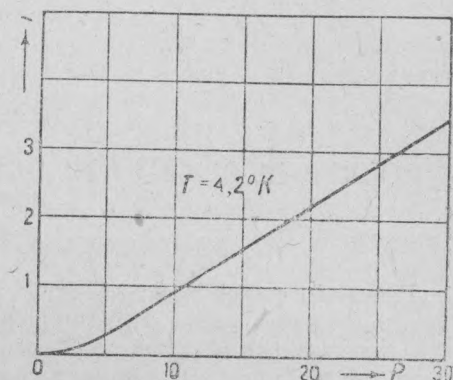
Для вычисления энтальпий $\left(\frac{\partial i}{\partial p}\right)_T$ как функция давления изображалась графически (фиг. 1), и полученная кривая интегрировалась по

способу трапеций (фиг. 2). Энтальпия жидкости при $T = 4.2^\circ \text{K}$ и $p = 1$ атм при этом полагалась равной 0.

Предельные коэффициенты сжижения для простого сжижителя, состоящего из теплообменника и одного дроссель-вентилля, в котором проис-



Фиг. 1.



Фиг. 2.

ходит эффект Джоуль-Томсона при идеальном теплообмене, легко определить из уравнения

$$\eta = 1 - \frac{i}{r},$$

где η — коэффициент сжижения, r — теплота испарения и i — энтальпия сжатого газа при температуре кипения жидкости. Физический смысл этого уравнения таков, что температура сжатого газа в теплообменнике не может опуститься ниже температуры кипения жидкости. Принимая $r = 4.9$ кал/кг, получаем предельные значения $\eta_{пр}$, представленные во

Таблица 2

p	$\eta_{ид}$	$\eta_{пр}$
10	0.81	~ 0.7
15	0.68	~ 0.6
20	0.55	~ 0.4
25	0.42	~ 0.3
30	0.29	~ 0.2

втором столбце табл. 2.

Практически для того чтобы теплообмен был возможен, необходимо располагать разностью температур порядка 0.5° ; предельные коэффициенты сжижения при этом несколько снижаются и получают значения, представленные в той же табл. 2, но в 3-м столбце. Полученные результаты хорошо согласуются с практически получаемыми коэффициентами сжижения.

Выводы

1. На основе данных Keesom'a и Miss. Keesom (2) вычислены энтальпии гелия при $T = 4.2^\circ \text{K}$ для интервала давления 1 — 30 атм.
2. Вычислены предельные коэффициенты сжижения в зависимости от начального давления для простого сжижителя, состоящего из теплообменника и дроссель-вентилля.
3. Полученные результаты хорошо согласуются с известными опытными данными и подтверждают предположение о предельных коэффициентах сжижения, сформулированное в предыдущей работе (1).

Институт физико-химических исследований.
Ленинград.

Поступило
1 VII 1938.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Зельманов, ДАН, XIX, № 6—7(1938). ² Keesom a. Miss. Keesom, Physica, 1, 128 (1933).