

И. Л. ЗЕЛЬМАНОВ

**НОВЫЙ СПОСОБ СЖИЖЕНИЯ ГЕЛИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
ДЖОУЛЬ-ТОМСОН ЭФФЕКТА**

(Представлено академиком А. Ф. Иоффе 22 XI 1938)

Анализируя вопрос о выборе наиболее выгодного давления для сжижения гелия при дросселировании, автор пришел к выводу, что причиной несоответствий между практически наиболее выгодным давлением и тем, что следовало бы ожидать на основании $T-S$ -диаграммы Keesom'a и Houthoff'a⁽¹⁾, может являться невозможность полного теплообмена, связанная с ходом изэнталпы в области $T-S$ -диаграммы вблизи пограничной кривой жидкости⁽²⁾.

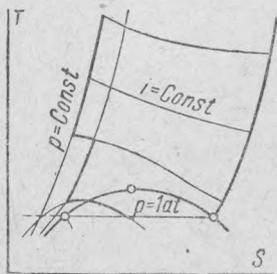
Действительно, если ход изэнталпы в рассматриваемой области таков, как это изображено на фиг. 1, то для давлений выше некоторого определенного, полный теплообмен между сжатым гелием и парами кипящей под нормальным давлением жидкости очевидно невозможен. Таким образом вопрос о наиболее выгодном давлении решается не только положением точки инверсии Джоуль-Томсон эффекта при температуре входа сжатого газа в теплообменник, но и ходом изэнталпы при температурах выхода из теплообменника, так как этот ход определяет возможность теплообмена при выбранных условиях.

Для выяснения значения этого обстоятельства при сжижении гелия были вычислены энтальпии сжатого гелия при температуре кипения гелия и относительные количества жидкости, получающиеся при дросселировании до 1 ат сжатого и охлажденного до температуры кипения гелия⁽³⁾. Эти относительные количества жидкости (см. таблицу) представляют собой и предельные коэффициенты сжижения для рассматриваемых давлений, так как очевидно, что пары кипящего гелия не могут охладить сжатый газ ниже температуры кипения.

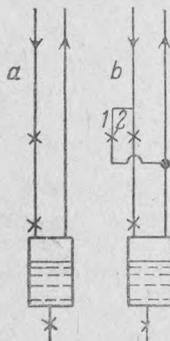
P	i	η
5		
10	0.93	0.81
15	1.57	0.68
20	2.22	0.55
25	2.86	0.42
30	3.50	0.29

Практически для того, чтобы теплообмен был возможен, необходимо располагать на холодном конце теплообменника разностью температур порядка $0.5-1^\circ$, и следовательно величины предельных коэффициентов сжижения будут соответственно ниже.

Теплообмен однако можно сделать возможным, если ввести в обычную схему сжижения дополнительный дроссель-вентиль (фиг. 2, а) так, чтобы при некоторой промежуточной температуре можно было перейти от исходного давления к некоторому промежуточному, чтобы процесс шел так, как это изображено жирной линией на фиг. 1. При таком проведении процесса трудности, связанные с невозможностью теплообмена, пропадают, и становится возможным применение



Фиг. 1.



Фиг. 2.

давлений вплоть до давления инверсии при исходной температуре. Так как однако трудно заранее поместить добавочный вентиль наиболее выгодным образом, представляется целесообразным прибегнуть к несколько более сложной схеме (фиг. 2, б). Варируя количества газа, проходящие через вентили 1 и 2, можно обеспечить заранее выбранный режим работы.

Применение давления в 60 ат позволяет достаточно эффективно

сжижать гелий при предварительном охлаждении водородом, кипящим под атмосферным давлением. Реально достижимый при этом коэффициент сжижения составит 9—10%, расход водорода ~ 1.2 л на 1 л жидкого гелия.

Для демонстрации правильности вышеизложенных принципов был сконструирован и построен маленький сжижитель по схеме фиг. 2, б. Простоты ради сжижитель был построен без теплообменников для температур выше температуры кипения азота, т. е. весь эксперимент ставился от температуры жидкого азота.

Проведенные в криогенной лаборатории Украинского физико-технического института испытания сжижителя полностью подтвердили исходные расчеты.

Исходное давление было 60 ат. Промежуточное—17 ат, промежуточная температура $\sim 12^\circ$ К.

Несмотря на относительно большие потери, связанные с малой производительностью (60 см³/час), был получен коэффициент сжижения 7.5% при расходе водорода, близком к расчетному.

В настоящее время конструируется сжижитель на большую производительность (~ 2 л/час). Этот сжижитель будет выполнен с внутренним водородным циклом. Его расчетные показатели таковы: расход компримированного гелия 8 м³/л, водорода, компримированного до 175 А, 4.5 м³/л и наконец расход жидкого азота 1—1.5 м³/л. Возможно, что применение давлений больших, нежели 60 ат, позволит еще увеличить коэффициент сжижения. Этот вопрос будет исследован в ближайшее время.

В заключение автор приносит свою глубокую благодарность коллективу сотрудников криогенной лаборатории Украинского физико-технического института за помощь в проведении испытаний модели сжижителя.

Институт физических и химических исследований, Ленинград.

Поступило
22 XI 1938.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Keesom, *Communic. Phys. Lab. Univers., Leiden, suppl.* 65 (1928).
² И. Л. Зельманов, *ДАН*, XIX, 469 (1938). ³ И. Л. Зельманов, *ДАН*, XX, № 7—8 (1938).