

И. Л. ЗЕЛЬМАНОВ

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ, НАБЛЮДАЕМЫХ ПРИ СЖИЖЕНИИ ГЕЛИЯ

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

Вопрос о выходе жидкого гелия при сжижении, основанном на использовании Джауль-Томсон-эффекта, неоднократно подвергался обсуждению⁽¹⁾. Опубликованная Кeesom'ом и Houthoff'ом⁽²⁾ $T-S$ диаграмма позволяет, казалось бы, однозначно решать вопрос о коэффициенте сжижения для любого случая. Однако наблюдаемый еще Kammerling-Onnes'ом максимум коэффициента сжижения при давлении ~ 20 атм никак не следует из этой диаграммы. Капица⁽³⁾ также наблюдал максимум коэффициента сжижения при давлении ~ 17 атм при начальной температуре $\sim 10^\circ\text{K}$.

Это несоответствие практических результатов сжижения гелия с $T-S$ диаграммой, как показал Капица, нельзя объяснить уносом капель жидкости в теплообменник и по мнению Капицы оно обязано неточности диаграммы.

Несоответствие практических результатов сжижения гелия диаграмме Кeesom'a и Houthoff'a может однако быть лишь кажущимся и происходить из-за неточного вычисления коэффициента сжижения.

Коэффициент сжижения η вычисляется, как известно, по уравнению:

$$\eta = \frac{i_2 - i_1}{i_2 - i_1^*}, \quad (1)$$

где i_1 —энтальпия сжатого газа при выходе в теплообменник, i_2 —энтальпия расширенного газа при выходе из теплообменника и i_1^* —энтальпия жидкости.

При вычислении обычно задаются температурой расширенного газа при выходе из теплообменника и для идеального теплообмена полагают ее равной температуре сжатого газа при входе в теплообменник.

Однако такой «идеальный» теплообмен отнюдь не всегда возможен, и возможность его зависит от хода изэнтальп в области диаграммы, прилежащей к пограничной кривой жидкости.

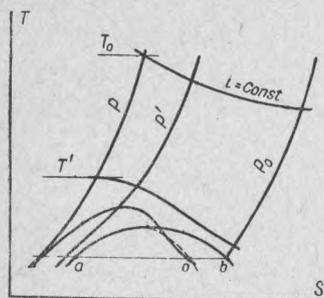
Обратимся к схематической $T-S$ диаграмме, изображенной на фиг. 1.

Пусть коэффициент сжижения, вычисленный по уравнению (1), соответствует точно 0 на линии сжижения $a-b$, возможность теплообмена очевидно зависит от того, где пересекает проходящая через точку O изэнтальпа изобару, соответствующую давлению сжатого газа. Если это пере-

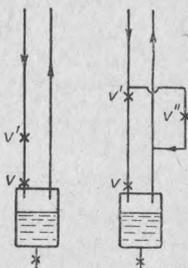
сечение происходит, как это изображено на фиг. 1, при температуре, лежащей ниже, чем температура кипения жидкости, теплообмен очевидно невозможен.

Для гелия наиболее интересная в этом смысле часть $T-S$ диаграммы к сожалению не промерена, однако представленные в диаграмме Keesom'a и Houthoff'a данные дают основание предполагать, что здесь мы как раз имеем дело с разобранным выше случаем.

Таким образом коэффициент сжижения не определяется однозначно перепадом энтальпий на теплом конце теплообменника, но зависит еще и от хода изэнталпы в области диаграммы, прилежащей к пограничной кривой жидкости. Если ход изэнталпы в этой области диаграммы такой, как это изображено на фиг. 1, то для того чтобы сделать возможным теплообмен



Фиг. 1.



Фиг. 2. Фиг. 3.

и использовать весь перепад энтальпий при температуре, соответствующей входу сжатого газа в теплообменник, необходимо прибегнуть к некоторым ухищрениям. Принципиально для этого достаточно введения в схему сжижителя одного добавочного дроссель-вентиль (фиг. 2), посредством которого при некоторой промежуточной температуре T' совершается переход от изобары, соответствующей давлению сжатого газа p , на некоторую изобару p' , такую, что изэнталпа, соответствующая вычисленному по уравнению (1) коэффициенту сжижения, пересекает ее достаточно высоко.

Однако, так как нелегко заранее точно определить то место теплообменника, в котором следует поместить добавочный дроссель-вентиль, практически целесообразнее прибегнуть к схеме, изображенной на фиг. 3. Здесь часть газа дросселирует при некоторой, заранее выбранной температуре T' до 1 атм, а остальная часть до давления p' , выбранного, как это указано выше. Расширенный в вентиле v'' газ служит для дополнительного охлаждения газа, расширенного в вентиле v' .

Варируя количества газа, проходящие через вентиль v' и v'' , можно легко подобрать правильный режим работы. В заключение необходимо отметить, что подобное введение дополнительных вентилях позволяет использовать для сжижения гелия давления ~ 60 атм и возможно даже выше, что позволяет при использовании в качестве предварительного охлаждения водорода, кипящего под атмосферным давлением, получать практически интересные коэффициенты сжижения.

Институт физико-химических исследований.
Ленинград.

Поступило
1 IV 1938.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Meissner, Erzeugung tiefer Temperaturen u. Gasverflüssigung; Geiger u. Scheel, Handb. d. Phys., 11, 326; Keesom, Communic. Phys. Lab. Univ. Leiden, 17, suppl. 65f (1928). ² Communic. Phys. Lab. Univ. Leiden, 17, suppl. 65e (1928). ³ Proc. Roy. Soc., 147, 189 (1934).