

О ТЕРМОЭДС ЦЕЗИЯ В ОБЛАСТИ КРИТИЧЕСКИХ ТЕМПЕРАТУР И ДАВЛЕНИЙ

В.А.Алексеев, А.А.Ведеков, Л.С.Красицкая,

А.Н.Старостин

Вопрос о плазменном термоэлементе обсуждался в литературе либо применительно к условиям разреженной плазмы [1, 2], либо к условиям плотных паров, но при этом взаимодействием между частицами пренебрегалось [3]. Между тем в парах Cs при $T \sim 2 \cdot 10^3$ °К и $p \sim 10^2$ атм (а именно эти цифры приводились в [3]) энергия взаимодействия заряженных частиц с нейтрами в расчете на одну заряженную частицу пропорциональна плотности: $U = An$ и по порядку величины сравнима или больше кинетической энергии $V > T$. Это обстоятельство приводит к экспоненциальной зависимости степени ионизации от плотности [4]. В плазменном термоэлементе давление между контактами постоянно, а степень ионизации у холодного конца может быть даже больше, чем у горячего из-за разницы в плотности.

Для исследования термоэлектрических свойств Cs в области критических p и T был проведен ряд экспериментов. Измерительная ячейка вытачивалась из прутка ниобия в виде стакана или бралась готовая из вольфрама [5]. Внутрь такого стакана вставлялась трубка из чистой окиси бериллия, в которую в специальном боксе заливался цезий и вставлялся металлический стержень. Расстояние между дном трубки и концом стержня изменялось от нуля до 20 мк. Измерительная ячейка вставлялась в трубчатый графитовый нагреватель, так что максимальная температура была на дне стакана ячейки. Перемещая стержень внутри трубки из окиси бериллия, можно было установить нужный перепад температур. С наружной стороны ячейки привязывались вольфрамниевые термодпары ВР = 5 + ВР = 20. Скорость нагрева ячейки задавали такой, чтобы температура, которую показывали термодпары снаружи, успевала выровняться с температурой внутри ячейки. В верхней части ячейки имелся объем, куда поступал цезий при расширении. Для устранения конвективных потоков между печью и стенкой нагревательного элемента засыпался порошок из нитрида бора. Нагревательный элемент вместе с измерительной ячейкой вставлялся в рабочую камеру, куда под нужным давлением поступал чистый аргон. Давление аргона передавалось цезию через свободную поверхность цезия в расширительном объеме. Термоэдс измерялась вольтметром с большим внутренним сопротивлением. Температура записывалась на автоматическом милливольтметре. Цель эксперимента — получить возможно большую ЭДС, поэтому для опреде-

ления термоэлектрических возможностей такого элемента измерения проводились с большими перепадами температур. Результаты измерений для давлений 80, 100, 140 атм показаны точками на рис. 2.

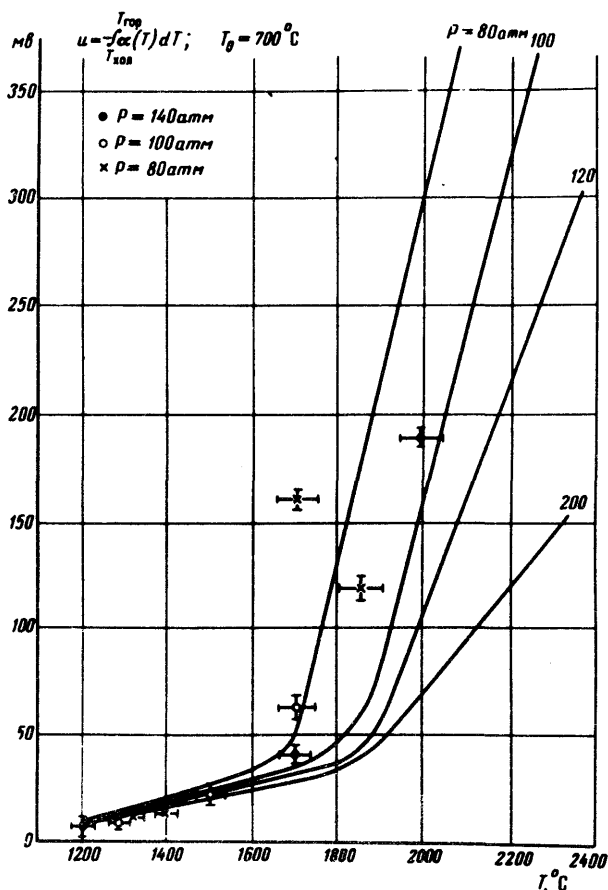


Рис. 2

Для расчетов, чтобы описать влияние взаимодействия электронов с нейтральными атомами на термоэлектрические свойства плотной плазмы: в уравнение Больцмана для электронов вводилась дополнительная сила $-\nabla(U = A' \nabla n^1)$. Решая кинетическое уравнение в приближении Лоренцева газа (более строгий учет столкновений, по-видимому, не изменит порядков величин), для электрического тока получим:

$$j = \sigma \left[-\nabla \left(\phi + \frac{U_e a}{e} + \frac{\mu_0}{e} \right) - a \nabla T \right] \quad (1)$$

1) В газовом приближении $A' = \hbar^2 \sqrt{\pi} q / m^*$, где q — сечение рассеяния электрона на нейтральном атоме, m^* — эффективная масса.

здесь μ_0 — химический потенциал идеального электронного газа, а коэффициент термоздс α определяется в этом приближении известным выражением

$$\alpha = \frac{k}{e} \left[\frac{1}{T} \frac{\int r v^2 \epsilon \frac{\partial f_0}{\partial \epsilon} d^3 v}{\int r v^2 \frac{\partial f_0}{\partial \epsilon} d^3 v} - \frac{\mu_0}{T} \right] \quad (2)$$

обозначения стандартные (см. [3]).

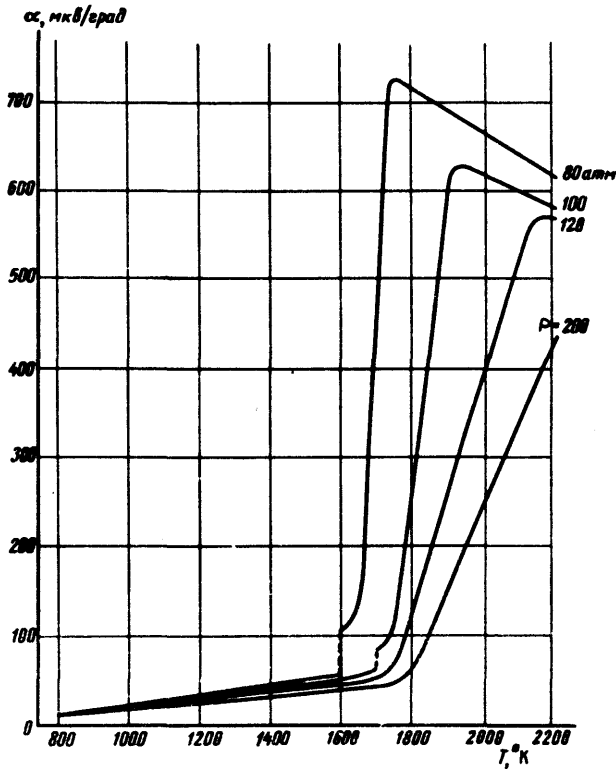


Рис. 1

Собственное электрическое поле в объеме плазмы при $j = 0$ равно:

$$-\nabla\phi = \alpha_p \nabla T, \quad (3)$$

где

$$\alpha_p = \alpha + \frac{1}{e} \left(\frac{\partial U_{ea}}{\partial T_p} \right) + \frac{1}{e} \left(\frac{\partial \mu_0}{\partial T_p} \right).$$

Заметим, что хотя в выражение для электрического поля (3) входит потенциал взаимодействия электронов с атомами U_{ea} , наблюдаемая термоздс дается обычным выражением для идеального электронного газа. Расчет α велся в приближении $r \sim \epsilon^{-1/2}$, а в выражении для μ_0 концентрация электронов связыва-

лась с плотностью газа соотношением $n_e = \sqrt{\frac{n}{\lambda^3}} \exp(-1/2T)$; $\lambda = \left(\frac{2\pi\hbar^2}{mT}\right)^{1/2}$.

Зависимость потенциала ионизаций от плотности находилась из данных по проводимости Cs [5, 6] (предполагалось, что подвижность слабо зависит от плотности атомов). Потенциал ионизации не является линейной функцией плотности во всем интервале плотности. На рис. 1 изображены зависимости $\alpha(T)$ при $\rho = \text{const}$. Данные по уравнению состояния Cs в этих условиях брались из [7]. Максимум термоэдс связан с тем, что с увеличением T при $\rho = \text{const}$ ос-

новное слагаемое в $\alpha \sim \frac{I(\rho, T)}{T}$ сначала растет, так как из-за уменьшения

плотности растет I , а затем падает, когда I становится равным потенциалу ионизации атома I_0 . При меньших температурах α мало, так как электроны при этом вырождены. На рис. 2 (сплошные кривые) приводятся расчеты раз-

ности потенциалов $U = - \int_{T_{\text{хол}}}^{T_{\text{гор}}} \alpha dT$ с $\alpha(T)$, взятым из рис. 1. Результаты рас-

четов по порядку величины согласуются с данными измерений.

В заключении авторы благодарят ст. механиков И. Пуолокайнена и Н. П. Костина принимавших участие в проведении эксперимента и семинар лаборатории за полезные обсуждения.

Научно-исследовательский
институт ядерной физики
Московского
государственного университета
им. М. В. Ломоносова

Поступила в редакцию
19 октября 1970 г.

Литература

- [1] H. Lewis, J. Reitz. J. Appl. Phys., 30, 1439, 1959.
- [2] Б. Я. Мойжес, П. Е. Пикус. ФТТ, 2, 756, 1960.
- [3] А. Ф. Иоффе. Полупроводниковые термоэлементы М.-Л. Изд. АН СССР, 1960.
- [4] А. А. Беденов. Доклад на конференции по физике спокойной плазмы. Фраскати. Италия, 1966; А. А. Беденов, В. А. Алексеев. УФН, 102, №2, 1970.
- [5] В. А. Алексеев. ТБТ, 6, 961, 1968.
- [6] H. Renkert, F. Hensel, F. Fraak. Phys. Lett., 30A, 494, 1969.
- [7] В. А. Алексеев, Б. Г. Овчаренко, Ю. Ф. Рыжков, А. П. Сенченков. Письма в ЖЭТФ, 12, 6, 1970.