

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

В. М. Батенин, В. Ф. Чиннов, Экспериментальное исследование электропроводности неравновесной He – K-плазмы, *TBT*, 1970, том 8, выпуск 2, 441–442

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.9.171

26 января 2025 г., 07:59:16



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ НЕРАВНОВЕСНОЙ He — K-ПЛАЗМЫ

В. М. Батенин, В. Ф. Чиннов

Цель данной работы — измерение проводимости смеси He — K при атмосферном давлении и экспериментальная проверка расчетов кинетического коэффициента K_{σ} для атома He [1—3]. Авторы работ по исследованию свойств He — K-плазмы указывают лишь на близость к единице определенных ими значений K_{σ} в узком интервале изменения параметра $p = \nu_{ei} / \nu_{ea}$. Кроме того, представляло интерес провести измерения тем же методом, которым в аргоне получены значения K_{σ} , существенно превосходящие единицу [4]. Предварительно нами была рассчитана величина $K_{\sigma}(p, T)$, согласно [3], с использованием сечений $q_a(\nu_e)$ из работы [5].

Опыты проведены на экспериментальной установке, описанной в [6]. Исследовался свободно горящий дуговой разряд постоянного тока длиной $L \approx 100$ мм в смеси He (газ высокой чистоты с примесями не более 0,005%) — пар калия ($C_K = 0,6 \div 4 \cdot 10^{-2}\%$).

Измерялись: температура электронов T_e — по спаду интенсивности рекомбинационного 4P-континуума K за граничной частотой; концентрация электронов на оси разряда — из абсолютной величины интенсивности этого континуума; напряженность поля E — при помощи двойного зонда и путем измерения $U_d(L)$; температура газа T_a — с использованием воль-

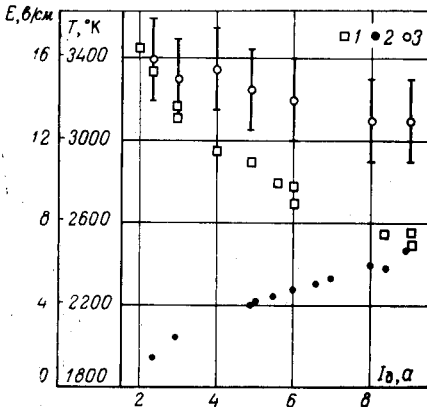


Рис. 1. Основные характеристики исследуемой дуги:

1 — E , в/см; 2 — T_a , °K; 3 — T_e , °K

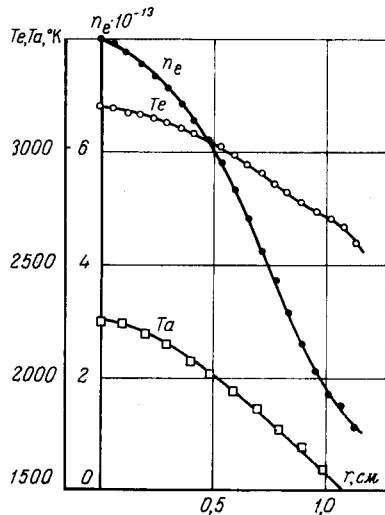


Рис. 2. Радиальные распределения параметров

$I_d = 5,6 \text{ а}$, $C_K = 10^{-2}\%$

фрам-рениевой термпары и нагреваемой вольфрамовой проволоочки. На рис. 1 даны зависимости от тока дуги температур T_e и T_a и напряженности продольного поля E . Для получения радиальных распределений $n_e(r)$ и $T_e(r)$ использованы уравнение Саха и полученная из пересчета по уравнению Абеля зависимость $\epsilon_\nu(r)$ при $\nu_{\text{гР}} = 22000 \text{ см}^{-1}$. Ранее было показано, что при $n_e \geq 10^{14} \text{ см}^{-3}$ формула Саха с электронной температурой хорошо описывает связь $n_e, n_a(T_e)$. Справедливость двухтемпературной модели для осевой зоны разряда подтверждается оценками критерия применимости формулы Саха, выполненными согласно [7].

На рис. 2 представлены радиальные распределения основных параметров для одного из исследованных режимов.

Уравнение баланса энергии для электронного газа

$$\sigma E^2 = W_{\text{упр}} + Q_r + Q_e \quad (1)$$

разрешалось нами относительно коэффициента K_{σ} с использованием экспериментально полученных значений параметров.

Величина дивергенции лучистого потока Q_r , имеющая максимум вблизи оси разряда, в приближении прозрачной плазмы при $C_K = 2 \cdot 10^{-2}\%$ составляет 5 вт/см^3 . Это приближение заметно завышено, так как вероятность выхода резонансного излучения калия, составляющего $\sim 90\%$ от общего излучения, имеет величину $\sim 0,1$

($K_0 \approx 100 \text{ см}^{-1}$). Поскольку вкладываемая в He — K-плазму удельная мощность составляет в рассматриваемом режиме $\sigma E^2 = 60 \text{ вт/см}^2$, $(Q_r / \sigma E^2)_{\text{max}} < 10\%$, членом Q_r в уравнении (1) можно пренебречь. Этот вывод подтверждается измерениями выходящих из плазменного объема лучистых потоков в интервале длин волн от 3000 до 8000 Å, содержащем наиболее значительные спектральные линии и континуумы излучения K. Например, для режима $I_d = 5 \text{ а}$, $C_k = 2 \cdot 10^{-2}\%$ величина потока излучения $F_r(R) = 1 \text{ вт/см}$, тогда как вводимая мощность $1E \approx 60 \text{ вт/см}$.

Дивергенция теплового потока, выносимого теплопроводностью по электронному газу, Q_e в He — K-смеси также пренебрежимо мала в сравнении с вкладываемой мощностью из-за высокой теплопроводности атомарного гелия, а следовательно, малых градиентов температуры. Таким образом, уравнение (1) в He — K с большой степенью точности упрощается до вида

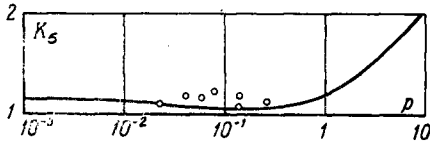


Рис. 3. Значения коэффициента $K_\sigma(p, T)$:

точки — экспериментальные данные; кривая — расчет с использованием q_a [5], $T = 3000^\circ \text{K}$

$$K_\sigma \frac{e^2 n_e E^2}{m_e \sum_j \langle v_{ej} \rangle} = \frac{2m_e}{M_a} \cdot \frac{3}{2} k (T_e - T_a) \times \\ \times n_e \sum_j \langle v_{ej} \rangle, \quad (2)$$

откуда легко может быть получена величина K_σ . Здесь $\langle v_{ej} \rangle = \bar{v}_e \langle Q_{ej} \rangle n_j$, $\bar{v}_e = \sqrt{2kT_e / m_e}$.

Максимальные погрешности в измерении основных параметров ($\delta T_e = 5\%$, $\delta T_a = 3\%$, $\delta E = 4\%$) приводят к предельной погрешности в определении K_σ около 25%.

Экспериментальные результаты определения K_σ представлены на рис. 3; здесь же приведены результаты расчета; сравнение указывает на хорошее согласие расчетных и измеренных величин в пределах указанной погрешности.

Целям проверки полученных из (2) значений K_σ может служить закон полного тока

$$I_d = 2\pi E \int_0^R \sigma r dr. \quad (3)$$

Действительно, использование радиальных распределений $n_e(r)$, $T_e(r)$ и $T_a(r)$ (рис. 2) приводит к неплохому согласию (в пределах 20–30%) между обеими частями (3) для всего набора экспериментальных режимов.

Таким образом, при присадках калия $C_k = (0,6 \div 2,0) \cdot 10^{-2}\%$ ($p = 0,1–0,01$) кинетический коэффициент K_σ в He — K-смеси составляет 1,2, тогда как в Ag — K $K_\sigma = 2 \div 3$, что является дополнительным фактором, увеличивающим проводимость Ag — K-плазмы.

В заключение авторы благодарят Н. И. Конневу за помощь в получении и обработке результатов.

Институт высоких температур
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
5 XI 1969

ЛИТЕРАТУРА

1. S. Shkarofsky. *Canad. J. Phys.*, **39**, 1619, 1961.
2. L. S. Frost. *J. Appl. Phys.*, **32**, 2029, 1961.
3. Э. И. Асиновский, В. М. Батенин. *Теплофизика высоких температур*, **6**, № 6, 1968.
4. А. Е. Шейндлин, В. М. Батенин, Э. И. Асиновский. *Electricity from MHD*, **2**, 123, 1966.
5. D. E. Golden, H. W. Bandel. *Phys. Rev.*, **138**, 1A, 14, 1965.
6. В. Ф. Чиннов. *Electricity from MHD*, IAEA, **2**, 113, 1966.
7. Л. М. Биберман, В. С. Воробьев, И. Т. Якубов. *Electricity from MHD*, **1**, 97, 1968.