

$$|E_{\parallel}|^2 = \frac{\theta k^2}{\pi c} \sqrt{\frac{\omega}{8\pi\sigma}} \left(\frac{1}{2k^2 z^2} + i \right), \quad (2)$$

$$|E_{\perp}|^2 = \frac{\theta k^2}{\pi c} \sqrt{\frac{\omega}{8\pi\sigma}} \left(\frac{1}{2k^2 z^2} + 2\ln \frac{L}{z} \right),$$

где $L = 5,38 \frac{\pi c c}{\omega^2}$; $k = \frac{\omega}{c}$. На расстоянии $z \ll d$ $|E_{\parallel}|^2$ получают добавку

$$\frac{0}{16\pi^2\sigma} \frac{1}{z^3}. \quad (3)$$

(Вертикальная составляющая вычислена в предположении $k^2 dz \ll 1$, т. е. не для бесконечно больших расстояний).

Для плохо проводящей среды $\left| \sigma \ll \frac{\epsilon\omega}{4\pi} \right|$ на расстояниях $z \gg \frac{1}{\sqrt{\epsilon} k}$

$$|E_{\parallel}|^2 = \frac{\theta k^2}{\pi c} \frac{1}{\sqrt{\epsilon}} \left(\frac{1}{2k^2 z^2} + 1 \right), \quad (4)$$

$$|E_{\perp}|^2 = \frac{\theta k^2}{\pi c} \frac{1}{\sqrt{\epsilon}} \left(\frac{1}{2k^2 z^2} + 2\ln \frac{\epsilon}{16kz} \right).$$

На расстояниях $z \ll 1/\sqrt{\epsilon} k$ горизонтальная составляющая получает добавку

$$\frac{0}{4\pi\omega\epsilon} \frac{1}{z^3} \quad (5)$$

($|E_{\perp}|^2$ вычислен в предположении $kz \ll \sqrt{\epsilon}$).

Интересующее нас флюктуационное поле хорошо проводящей среды на расстояниях $z \gg d$ вычислено приближенным методом в работе Левина [3]. Им получены формулы, совпадающие с (2) с точностью до постоянной в L . Таким образом, подтверждается справедливость приближенного метода в [3]. В работе С. М. Рытова [4] приближенными методами показано, что плотность энергии флюктуационного поля вблизи поверхности зависит от z по закону $\frac{1}{z^3}$. Формула (3) подтверждает такую зависимость для электрической составляющей поля.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Л. Левин, ДАН СССР, 102, 539 (1955).
2. A. Sommerfeld, F. Reppner, Ann. d. Phys., 41, (1942).
3. М. Л. Левин, ЖЭТФ, 31, 302 (1956).
4. С. М. Рытов, Теория электрических флюктуаций и теплового излучения, изд. АН СССР, М., 1953.

Ивановский педагогический институт

Поступила в редакцию
30 декабря 1957 г.

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО БЕЗЭЛЕКТРОДНОГО РАЗРЯДА

Р. И. Кононенко

В связи с развитием техники сверхвысоких частот, а также применением газоразрядных ламп в радиотехнике и, в частности, в радиолокации, возникла необходимость изучения физики газового разряда при сверхвысоких частотах. Физические свойства газового разряда в значительной степени определяются параметрами плазмы, к которым, в первую очередь, относятся температура и плотность электронов, а также некоторые другие величины.

Изучение высокочастотного безэлектродного разряда (ВБР) началось задолго до его практического применения. Первая работа по измерению параметров высокочастотного безэлектродного разряда была опубликована еще в 1931 г. [1]. В 1935 г. была опубликована работа [2] с более совершенной методикой. Однако помещение больших металлических электродов в качестве опорных точек внутри разрядной колбы, как это было сделано в работах [1] и [2], приводит к некоторым искажениям.

В статье [3] был предложен новый метод определения параметров плазмы высокочастотного безэлектродного разряда с помощью двух зондов, свободный от указанного недостатка. Этот метод двух зондов был экспериментально проверен в работе [4] и нашел полное подтверждение. В этой же работе были определены некоторые закономерности в изменении параметров плазмы ВБР в зависимости от напряженности поля и давления. Однако систематических исследований в этом направлении еще не имеется.

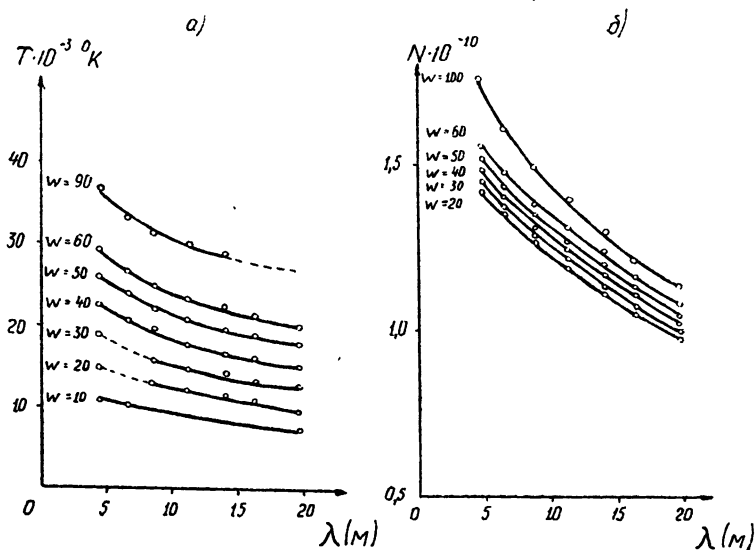


Рис. 1. Зависимость температуры плазмы ВБР от длины волны λ возбуждающего поля при различных значениях мощности W этого поля, выраженной в относительных единицах. Наполнение лампы:

а) Ne при $p = 0,5$ мм рт. ст.; б) Ne при $p = 0,1$ мм рт. ст.

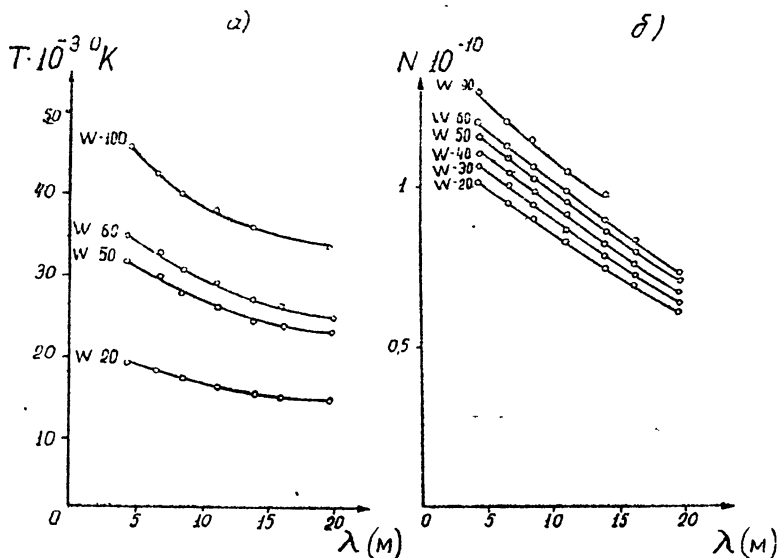


Рис. 2. Зависимость плотности плазмы ВБР от длины волны λ возбуждающего поля:

а) Ne; б) He.

Мы поставили перед собой задачу провести систематические исследования изменений температуры и плотности электронов в плазме высокочастотного безэлектродного разряда.

Для этой цели была собрана установка по схеме, описанной в работе [3].

Исследование проводилось на специально изготовленных лампах, наполненных неонам и гелием при давлениях 0,5 и 0,1 мм рт. ст. соответственно. Лампы поме-

щались в поле, образуемое высокочастотным напряжением между двумя алюминиевыми дисками диаметром $D = 30$ см. Соотношение диаметров дисков и ламп обеспечивало достаточную однородность высокочастотного поля. Установка была тщательно экранирована.

В проведенной экспериментальной работе изучалась зависимость температуры и плотности электронов от напряженности поля, при помощи которого возбуждался ВБР, и от длины волны.

Генератор был собран на двух лампах ГУ-32. Изменение длины волны достигалось при помощи сменных катушек контура. Длина волны измерялась резонансным волномером или при помощи системы Лехера. Результаты измерений представлены на рис. 1, 2.

Как видно из приведенных графиков, температура и плотность электронов возрастают в условиях нашего эксперимента с ростом напряженности высокочастотного поля и с увеличением частоты. Аналогичные результаты были получены и в работе [4] при фиксированной длине волны $\lambda = 2,3$ метра и при давлении 0,07 и 0,56 мм рт. ст.

Полученные результаты можно объяснить следующим образом. При увеличении напряженности высокочастотного поля энергия, получаемая каждым электроном на длине свободного пробега, возрастает, следовательно, возрастает и средняя скорость электрона. Увеличение средней скорости приводит, с одной стороны, к увеличению кинетической энергии (к повышению температуры), а, с другой стороны, с повышением скорости увеличивается ионизационная способность электронов, что приводит к росту концентрации.

Вместе с тем, при фиксированной напряженности высокочастотного поля и при увеличении частоты также наблюдается рост как температуры, так и плотности электронов. Это явление можно объяснить, если учесть, что процесс передачи энергии электрону высокочастотным полем существенно зависит от соотношения частоты поля и частоты столкновений (длины свободного пробега). В условиях нашего эксперимента (при давлениях $P = 0,1 \div 0,5$ мм рт. ст. и длинах волн $\lambda = 4 - 20$ м) с увеличением частоты передача энергии электронам увеличивалась, что приводило к таким же результатам, как и увеличение напряженности высокочастотного поля при фиксированной частоте. В наших экспериментах были получены плотности порядка 10^{10} эл/см³ и температуры от 7000 до 46000°К.

ЛИТЕРАТУРА

1. Banerji a. Ganguli, Phil. Mag., 11, 410 (1931).
2. Beck, Zs. f. Phys., 97, 355 (1935).
3. Л. Биберман и Б. Панин, ЖТФ, 21, 12 (1951).
4. Х. А. Джерпетов и Г. М. Патеюк, ЖЭГФ, 28, 3, 343 (1955).

Харьковский авиационный институт

Поступила в редакцию
30 декабря 1957 г.