

*Письма в ЖЭТФ, том 9, стр. 356 – 360*

*20 марта 1969 г.*

**О СТАБИЛИЗАЦИИ ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ  
ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПЛАЗМЫ В Q-МАШИНЕ**

*А.А.Иванов, Ю.Б.Казаков, А.Н.Лукъянчук,  
В.Д.Русанов, С.С.Соболев, И.Тейхман*

При экспериментальном исследовании термически ионизованной плазмы в Q-машинах наблюдаются колебания концентрации заряженных частиц и потенциала. Эти колебания вызваны развитием неустойчивостей дрейфового типа в плазменном столбе, с которыми связывают аномальную диффузию плазмы поперек магнитного поля [1 – 3]. Этим объясняется возникший в последнее время интерес к возможности подавления колебаний такого типа. Описанные способы стабилизации при

помощи "ширя" [4] и высокочастотного электрического поля [5] обладают существенными недостатками. Первый требует создания очень большого азимутального магнитного поля, что технически трудно реализовать. Второй вызывает существенный уход параметров плазмы из-за нагрева электронов, что затрудняет правильную интерпретацию результатов.

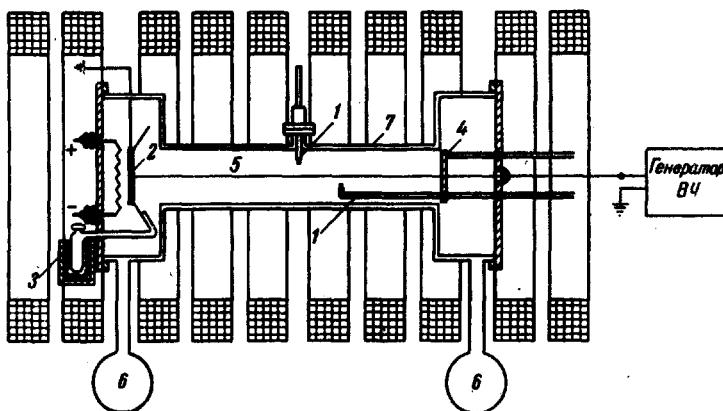


Рис. 1. Общий вид Q-машины: 1 – двойные электрические зонды, 2 – вольфрамовый электрод, 3 – калиевый испаритель, 4 – холодный торец, 5 – вольфрамовая нить, 6 – насосы, 7 – металлический лайнер

Теория стабилизации высокочастотным магнитным полем потенциальных колебаний плазмы была развита в работах [6, 7]. В этих работах изучалась стабилизация дрейфовых кинетических неустойчивостей, в частности, неустойчивости, существующей при  $n = (d\ln n / d\ln T_e) = 0$ , которая раскачивается в Q-машинах в бесстолкновительном режиме ( $k_z v_{te} \gg \nu$ ) [8]. Условие заметного уменьшения инкремента:

$\Omega > \omega^*; H_1/H_0 > \max[L/m\pi a; \Omega/k_z v_{te}]$ , где  $m$  – номер моды,  $H_0$  – амплитуда постоянного и  $H_1$  – амплитуда переменного магнитных полей,  $v_{te}$  – тепловая скорость электронов,  $n$  – концентрация заряженных частиц в плазме,  $L$  – длина и  $a$  – радиус плазменного столба. В столкновительном режиме [3, 9] существует так же дрейфово-диссипативная неустойчивость. Влияние высокочастотного магнитного поля на эту неустойчивость может быть изучено методами развитыми в работе [7].

Приведем результаты рассчета:

Условием стабилизации является неравенство  $H_1/H_0 > 2^{3/2} \sqrt{\nu \Omega / k_z v_{te}}; \mu > 1$ , где  $\nu$  – частота столкновений и  $\Omega$  – частота высокочастотного магнитного поля. Рассчеты показывают, что для дрейфовой неустойчивости инкремент уменьшается в 400 раз.

В Q-машине может существовать так же режим так называемого "белого шума", в котором  $k_y \sim 10^{-1} \text{ см}$ . При этом из условий устойчивости следует, что для характерных параметров условие стабилизации

$$H_1/H_0 \geq 1/100.$$

Эксперименты проводились с калиевой плазмой на одноторцовой Q-машине (рис. 1). Ионизация происходила на горячем вольфрамовом электроде, имеющем форму диска и находящемся под потенциалом земли. Холодный торец, находящийся на расстоянии 1 м от горячего

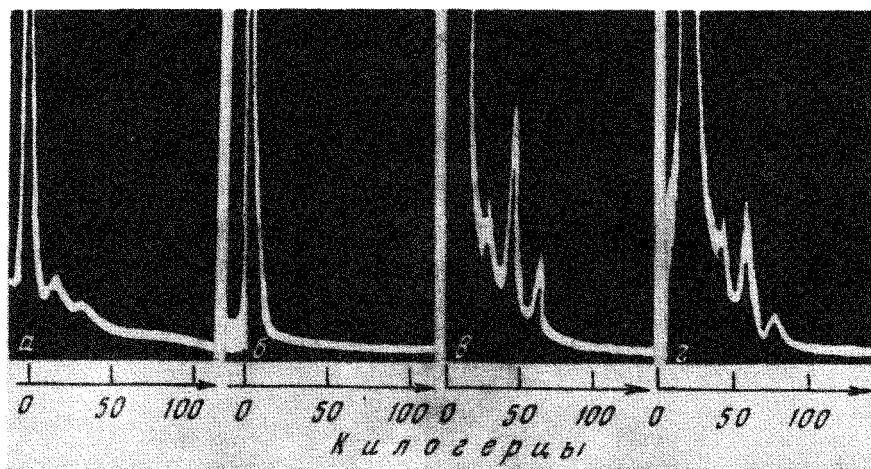


Рис. 2. Спектры колебаний потенциала: *a* и *b* относятся к режиму широкополосных колебаний; *c* и *d* относятся к периодическому режиму. В случаях *a* и *c*  $H_1 = 0$ ; в случаях *b* и *d*  $H_1$  максимально.

электрода, находился под плавающим потенциалом. По оси установки была натянута изолированная вольфрамовая нить диаметром 1,5  $\mu\text{м}$  с изоляцией, по нити пропускался ток, создающий переменное магнитное поле. Колебания потенциала измерялись двойным электрическим зондом с последующим анализом сигнала на спектроанализаторе. Проводилась также качественная оценка коэффициента диффузии. Основные параметры плазмы:  $5 \cdot 10^8 \leq n \leq 5 \cdot 10^{10}$ ,  $200 \leq H_0 \leq 1500 \text{ э}$ ;  $T_e = T_i = 0,2 \text{ эв}$ .

Переменное магнитное поле  $H_1$  с частотой 120  $\text{кгц}$  и длительностью импульса 3 сек создавалось ламповым генератором. Максимальная амплитуда тока в нити равнялась 250 а, что соответствовало значению  $H_1 = 50 \text{ э}$  на расстоянии 1 см от нити.

Исследования показали, что переменное магнитное поле подавляет потенциальные колебания, наблюдаемые в Q-машине. На рис.2 показаны типичные спектры колебаний, снятые в отсутствии переменного магнитного поля и при наложении его.

Рис. 2,*a* и *б* соответствуют режиму широкополосных колебаний, появляющихся при значениях  $H$  и  $n$  выше критических [9]. Стабилизация этих колебаний наступает уже при значении  $H_1/H_0 = 0,01$ .

Рис. 2,*в* и *г* иллюстрируют стабилизацию в режиме периодических колебаний. В этом случае подавление менее эффективно. Даже при  $H_1/H_0 = 0,05$ , соответствующем приведенным снимкам, не наблюдается полного исчезновения неустойчивости. Видно, что подавление первой гармоники хуже, чем второй (амплитуда первой гармоники уменьшается в 1,5 раза, в то время как второй в 3 раза).

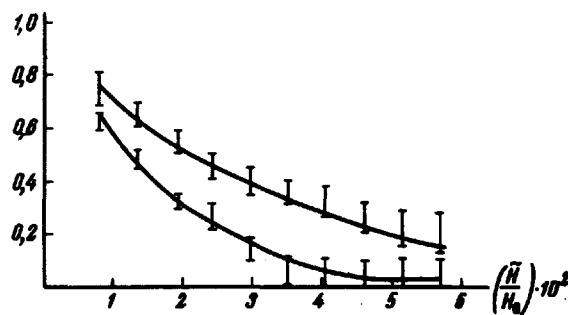


Рис. 3. Зависимость относительных амплитуд 1 и 2 гармоник от  $H_1/H_0$ . Верхняя кривая относится к первой гармонике, а нижняя кривая – ко второй гармонике колебаний

На рис. 3 приведены графики отношения амплитуд колебаний без ВЧ магнитного поля и с ВЧ магнитным полем для 1 и 2 гармоник при различных значениях  $H_1/H_0$ .

Качественно наблюдалось уменьшение диффузии поперек магнитного поля.

Изменение электронной температуры при включении магнитного поля высокой частоты контролировалось по зондовой характеристике. Было показано, что увеличение  $T_e$  не превышает 30%.

Исследуемый метод стабилизации потенциальных волн может быть применен и на других установках. Он представляется более перспективным, чем методы, предложенные в работах [3, 4], так как требует меньшего энерговклада и может быть осуществлен на очень низких частотах.

В заключение авторы выражают благодарность Я.Р.Рахимбабаеву за обсуждение и участие в работе.

Поступило в редакцию  
27 января 1969 г.

После переработки  
17 февраля 1969 г.

### Литература

- [1] Н.С.Бучельникова. Ядерный синтез, 4, 165, 1964.
- [2] H. Lashinsky. Phys. Rev. Lett., 12, 121, 1964.
- [3] B. Coppi, H. W. Hendel, F. Perkins, P. A. Politzer. Proceedings of conference on Physics of Quiscent Plasmas. 1, 201, (Frascati, 1967).
- [4] F. F. Chen. Proceedings of conference on Physics of Quiscent Plasmas. 1, 147, (Frascati, 1967).
- [5] Я.Б.Файнберг, Л.А.Шапиро. ЖЭТФ, 12, 1680, 1966.
- [6] А.А.Иванов, Л.И.Рудаков, И.Тейхман. ЖЭТФ, 53, 1690, 1967.
- [7] А.А.Иванов, Л.И.Рудаков, И.Тейхман. ЖЭТФ, 54, 1380, 1968.
- [8] Б.Б.Кадомцев. Вопросы теории плазмы, вып. 4, Физматгиз, 1964.
- [9] А.А.Иванов, Я.Р.Рахимбабаев, В.Д.Русанов, С.С.Соболев. Доклад на конференции по ионизационным явлениям в газах, Вена, 1967.

---

Письма в ЖЭТФ, том 9, стр. 360 – 364

20 марта 1969 г.

### СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ В СИСТЕМАХ С ПРОИЗВОЛЬНЫМ ЗНАКОМ ВЗАЙМОДЕЙСТВИЯ

Д.А.Киржнц

1. Необходимым условием возникновения сверхпроводимости обычно считают отрицательный знак эффективного взаимодействия квазичастиц на границе Ферми ( $\Gamma\Phi$ ). В действительности это условие справедливо лишь для взаимодействия, имеющего пик на самой  $\Gamma\Phi$ . Между тем, этот пик может оказаться смещенным относительно  $\Gamma\Phi$  на расстояние, большее его ширины. В этом случае "спаривание" квазичастиц на  $\Gamma\Phi$