

замедляющей плоскости. Мы опустим детали соответствующего алгебраического исследования в этом случае и приведем его результаты на рис. 2. На этом рисунке введены безразмерные параметры $\xi = \omega^2/\omega_0^2$ и $\eta = \omega_H^2/\omega_0^2$, где ω_0 и ω_H — плазменная и гиromагнитная частоты плазмы. Верхняя полуплоскость на рис. 1 соответствует областям $\xi > 1$. Кривая ϵ рис. 1 переходит в следующие две кривые

$$\eta = \frac{8\xi^2 - 4\xi - 1 \pm (8\xi + 1)^{1/2}}{8\xi}, \quad (15)$$

изображенные на рис. 2 в виде кривых α и β). Кроме того, на рис. 2 изображены прямые γ : $\xi = \eta$, δ : $\xi = \eta + 1$, ϵ : $\xi = 1$, разграничающие первую четверть в переменных ξ и η на ряд областей I' , IV' , V' , VI' . Взаимное соответствие областей на рис. 1 и рис. 2 следующее. В область I' переходит область I рис. 1, за исключением части этой области между пунктирным отрезком прямой α) и кривой β). В область VI' между прямой γ и кривой α) переходит часть области VI , заключенная между пунктирной частью прямой γ), кривой ϵ) и осью абсцисс. Вся область V переходит в область V' . И, наконец, область IV целиком переходит в области IV'_1 и IV'_2 между кривой β) и осью ξ , причем прямая δ) соответствует оси v на рис. 1, и IV'_1 соответствует $u < 0$, а IV'_2 — $u > 0$. Остальные части плоскости u , v рис. 1 для плазмы не реализуются.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. Вайнштейн, Электромагнитные волны, изд. Сов. радио, М., 1957.

Московский государственный педагогический институт
им. В. И. Ленина

Поступила в редакцию
28 апреля 1969 г.

УДК 533.901 : 621.371

О ВЛИЯНИИ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭФФЕКТОВ НА РЕЗОНАНСНЫЕ СВОЙСТВА ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ПЛАЗМЫ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ*

Н. В. Арефьев, В. Б. Гильденбург, Г. А. Марков

Вопросы нелинейного взаимодействия высокочастотных полей с резонирующими плазменными объектами составляют в настоящее время весьма важную физическую задачу, тесно связанную с рядом проблем динамики, нагрева и микроволновой диагностики плазмы.

В настоящем сообщении излагаются результаты экспериментального исследования нелинейных явлений, возникающих в газоразрядной плазме на так называемых резонансах Тонкса—Датнера [1, 2]. Последние наблюдались в виде серии пиков поглощения на осциллограммах «огражденная мощность — разрядный ток» при помещении разрядной трубки внутрь прямоугольного волновода перпендикулярно направлению распространения и электрическому полю падающей волны H_{01} . Новыми по сравнению с аналогичными экспериментами, выполненными ранее [3, 4], явились следующие два момента: а) наличие продольного подмагничивания плазмы (особенно существенного на гармониках гиростабильности); б) варьирование давления в разрядной трубке, позволившее наряду с «ионизационной» нелинейностью [3, 4] реализовать в области низких давлений также и не наблюдавшуюся ранее «температурную» нелинейность [5], связанную с понижением плотности плазмы при ее нагреве ВЧ полем. Заметим, что речь идет здесь только о нелинейности на основной частоте, генерация высших гармоник не рассматривается.

Условия эксперимента. Напряженность продольного магнитного поля H_0 составляла от 150 до 950 э; его неоднородность на облучаемой части разряда не превышала 10%. Разрядная трубка помещалась в пучность электрического поля волны (с одного конца волновод был закорочен) и заполнялась воздухом в режиме непрерывной откачки.

* Доклад на II Всесоюзной конференции по физике низкотемпературной плазмы, Минск, 1968.

ки; рабочий диапазон давлений $p \sim 10^{-3} - 10^{-1}$ м.м рт. ст., внутренний диаметр трубки $d = 5$ м.м; поперечное сечение волновода $3,4 \times 7,2$ см 2 . Ток разряда пульсировал с частотой 50 гц и достигал в максимуме 0,55 а. Частота зондирующего сигнала $f = 2510$ Мег, его мощность W можно было менять от единиц вт до 5 вт

Основные результаты представлены на рис. 1, 2, 3 в виде серии осциллограмм, снимавшихся для двух значений мощности W и соответственно объединенных попарно: нижние кривые — $W = 0,65$ вт (линейный режим), верхние кривые — $W = 4,2$ вт (нелинейный режим). Ток на всех осциллограммах возрастает справа налево, по вертикальной оси откладывается величина поглощения.

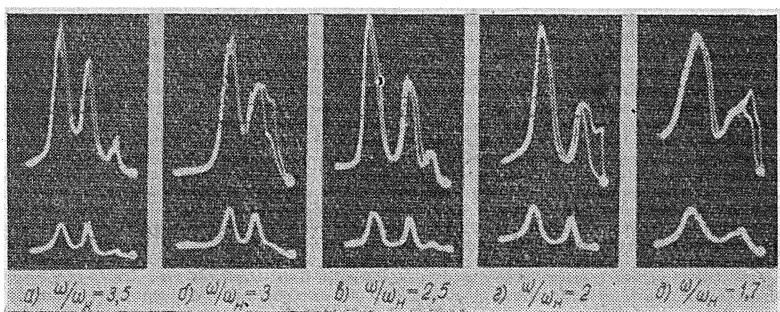


Рис. 1.

Большинство осциллограмм регистрируют два резонансных пика, представляющих собой расщепленный в магнитном поле основной (электростатический) резонанс, «нелинейной деформации» которого мы и уделяли основное внимание. Так называемые «точечные» (плазменно-волновые) резонансы при выбранных параметрах разряда почти

полностью подавлялись Лишь на рис. 1 а, в виден один из этих резонансов (первый пик в направлении роста тока). Как ясно из приведенных рисунков, основной нелинейный эффект состоит в появлении гистерезиса и скачков на снимаемых резонансных кривых. Расположение, форма и размер гистерезисных петель существенно зависят от варьируемых параметров эксперимента (p и H_0).

Влияние магнитного поля иллюстрирует рис 1 ($p = 2,5 \cdot 10^{-2}$ м.м рт. ст.) размер гистерезисных петель (расстояние между скачками) возрастает при приближении к

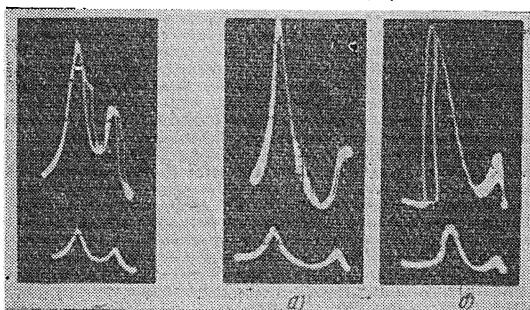


Рис. 2.

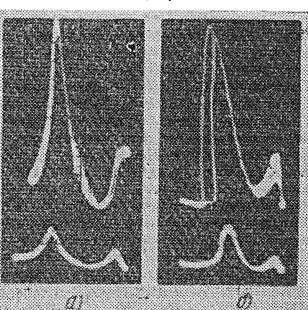


Рис. 3.

гармоникам гирочастоты ω_H ($\omega = 2\pi f = n \omega_H$, n — целое) — тем сильнее, чем ниже номер гармоники (на рис. 1 представлены случаи $n = 3$ и $n = 2$; случай $n = 1$ отдельно описывается ниже). Осциллограммы рис. 1 показывают также, что при выбранном давлении в трубке более подверженным «гистерезисной деформации» оказался первый из основных резонансов (соответствующий меньшим токам) и что положение гистерезисных петель совпадает качественно с наблюдавшимся в работах [3, 4]: скачки расположены на внутреннем (обращенном в сторону меньших токов) склоне резонансного пика. Последнее обстоятельство свидетельствует о том, что наблюдаемая нелинейность обусловлена дополнительной ионизацией плазмы под действием ВЧ поля

Вероятность ВЧ ионизации растет при увеличении давления. Естественно поэтому, что при больших давлениях гистерезис того же рода появляется и на втором (самом высоком) резонансном пике (см. рис. 2; $p = 6 \cdot 10^{-2}$ м.м рт. ст.; $\omega/\omega_H = 2$). Существенные изменения характера нелинейности при изменении давления в трубке удалось проследить вблизи гирорезонанса; при $\omega - \omega_H \ll \omega$ (рис. 3а, б), когда первый из двух основных резонансов приближается к самому началу развертки (сила тока $I = 0$), а при дальнейшем увеличении ω_H вообще пропадает. Нелинейность на этом резонансе оказалась столь сильной, что начало развертки смешалось по вертикали в максимум поглощения (рис. 3, $p = 2 \cdot 10^{-2}$ м.м рт. ст.), т. е. ВЧ поле поддерживало

плазму в резонансном состоянии практически при отсутствии тока. При уменьшении давления до величины $p = 5 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. это явление вследствие снижения вероятности ионизации исчезало, и возникала гистерезисная деформация второго резонансного пика, совершенно отличная от наблюдавшейся при более высоких давлениях: гистерезисная петля располагалась на внешнем склоне пика, при увеличении тока вхождение в резонанс происходило плавно, а выход — скачком (рис. 3б). Появление такой петли можно объяснить сменой механизма нелинейности переменное поле приводит не к возрастанию, а к убыванию электронной концентрации. Подобное «вытеснение» плазмы ВЧ полем может происходить либо под действием его усредненных ponderomotorных сил, либо (что в данном случае гораздо более вероятно) за счет повышения газокинетического давления плазмы вследствие ее ВЧ нагрева [5].

Таким образом, по характеру гистерезиса резонансных кривых можно судить о природе протекающих в плазме нелинейных процессов. Это открывает дополнительные возможности в ее микроволновой диагностике, хотя, разумеется, полная интерпретация полученных данных и переход к количественным оценкам параметров плазмы станут возможны лишь после соответствующего теоретического рассмотрения, которое предполагается провести в дальнейшем.

ЛИТЕРАТУРА

1. L. Tonks, Phys. Rev., **37**, 1458 (1931).
2. A. Dattner, Erics. Techn., **19**, 3 (1963).
3. A. M. Messiaen, P. E. Vandenberg, Phys. Lett., **25A**, 339 (1967).
4. B. C. Gregory, G. Mourier, Can. J. Phys., **45**, 3649 (1967).
5. А. В. Гуревич, Геомагнетизм и аэрономия, **5**, 70 (1965).

Научно-исследовательский радиофизический институт
при Горьковском университете

Поступила в редакцию
22 июля 1969 г.

УДК 535.341.08 : 621.378

О ВЕЛИЧИНЕ ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА В МОНОКРИСТАЛЛАХ KDP

B. С. Авербах, И. А. Батырева, В. О. Беспалов

При использовании монокристаллов *KDP* (калий дигидрофосфат — KH_2PO_4) в модуляторах света (в частности, в электрооптических затворах), умножителях частоты и параметрических генераторах видимого и ближнего инфракрасного диапазонов частот величина затухания света в кристаллах играет в ряде случаев существенную роль. Так, например, даже при коэффициенте поглощения порядка нескольких сотых обратного сантиметра потери в нелинейных элементах могут составить несколько десятков процентов, что приводит к ухудшению работы соответствующих устройств как непосредственно за счет уменьшения интенсивности света, так и косвенно — за счет искажений оптического элемента, обусловленных нагревом [1].

Данные о величине потерь света в кристаллах *KDP* приведены в ряде работ [2—7], однако по тем или иным причинам (отсутствие сведений о поляризации зондирующего пучка и об ориентации кристалла, малая точность в указанном диапазоне частот) они не являются достаточными для оценки возможности использования монокристаллов *KDP* в качестве нелинейных элементов соответствующих устройств и могут привести к неправильным представлениям о влиянии условий выращивания кристаллов на их оптическую прозрачность. Ниже приведены уточненные данные о потерях света в кристаллах.

Так как кристаллы *KDP* относятся к классу одноосных, анизотропия показателя преломления которых неизбежно связана с анизотропией показателя поглощения — дихроизмом [8], измерение потерь в них проводилось в поляризованном свете, в направлениях, совпадающих с оптической осью *z* и перпендикулярной ей осью *x* (в *z*- и *x*-срезах). Для определения коэффициентов поглощения обыкновенной (α_o) и необыкновенной (α_e) волн* использовались с небольшой модификацией спектрофотометры СФ-5 (в области $0,6 \text{ мк} < \lambda < 1,1 \text{ мк}$) и ИКС-14 (в области $1 \text{ мк} < \lambda < 1,4 \text{ мк}$). Поляризатором служила призма Глана—Фуко**. Снимались спектрафильные кривые

* Имеется в виду необыкновенная волна, распространяющаяся перпендикулярно кристаллографической оси *z*. Поглощение необыкновенной волны при произвольном угле падения зависит от α_o и α_e и описывается овалоидом коэффициента поглощения [8].

** Луч спектрофотометра без призмы является частично поляризованным, что не позволяет определить α_e .