

ЦИКЛОТРОННЫЙ ДОПШЕРОН

А. Ю. Романов, В. П. Силин

УДК 538.569

Для анизотропной поверхности Ферми продемонстрирована возможность распространения циклотронных волн с частотами и волновыми векторами, отвечающими окрестности доплер-сдвинутого циклотронного резонанса.

Циклотронные волны, распространяющиеся вдоль постоянного магнитного поля в электронной жидкости металлов, впервые обсуждались в работе /1/. В работе /2/ были сообщены результаты экспериментального исследования импеданса калия, указывающие на проявление таких циклотронных волн. Согласно теории, подобные циклотронные волны в калии из-за эффектов бесстолкновительного затухания существуют только в области сравнительно больших длин волн /1,3/ и в то же время в области частот, не сильно отличающихся от циклотронной. Факт сравнительно узкой области существования циклотронных волн обусловлен видом поверхности Ферми щелочных металлов, которая практически совпадает со сферой. В то же время известно /4/, что в металлах со сферической поверхностью Ферми также оказывается сравнительно узкой область существования доплеронов. Напротив, для целого ряда анизотропных поверхностей Ферми область существования доплеронов весьма расширяется, а их экспериментальное исследование стало источником интересной информации о свойствах электронов проводимости (см., напр., /5/).

Анизотропия поверхности Ферми ведет к новым магнитным возбуждениям, названным в работах /6/ магнитными доплеронами. Общность такого проявления анизотропии заставляет вести поиски новых типов доплеронных возмущений, реализация которых возможна вблизи края бесстолкновительного затухания — доплер-сдвинутого

циклотронного резонанса.

В настоящем сообщении мы хотели бы привлечь внимание к возможности существенного расширения значений длин волн, для которых в случае анизотропной поверхности Ферми возможно распространение циклотронных волн в металлах вдоль постоянного магнитного поля. Расширение такой области имеет место в окрестности границы бесстолкновительного поглощения и в определенных условиях может приводить к возможности низкочастотных возбуждений, что делает циклотронные волны подобными доплеронам. Для таких низкочастотных циклотронных волн мы будем использовать название циклотронный доплерон (ЦД).

Имея в виду демонстрацию принципиальной возможности ЦД, мы рассмотрим простейшую модель поверхности Ферми в форме чечевицы /7/, ось вращения которой направлена вдоль постоянного магнитного поля. Для описания ферми-жидкостных эффектов мы воспользуемся приемом, подобным использованному в работе /8/, поставив в соответствие чечевице сферу, на которой разложим функцию междуэлектронного взаимодействия по полиномам Лежандра. В таком разложении мы ограничимся лишь слагаемыми вплоть до второго полинома, которому отвечает коэффициент разложения A_2 . В соответствии с этим, оказывается возможным записать следующее простое дисперсионное уравнение для распространяющихся вдоль постоянного магнитного поля циклотронных волн ($\exp[-i\omega t + ikz]$):

$$(\omega \pm \Omega + i\nu)^2 [\omega + (1 + A_2)(\pm \Omega + i\nu)] = k^2 v^2 [(1 + A_2)(\omega \pm \Omega + i\nu) - (64/75)A_2 \omega]. \quad (1)$$

Здесь Ω - циклотронная частота, ν - частота столкновений, v - скорость электронов на поверхности Ферми.

В длинноволновой области, когда $k^2 v^2 \ll \Omega^2$, дисперсионное уравнение (1) приводит к типичному спектру циклотронных волн

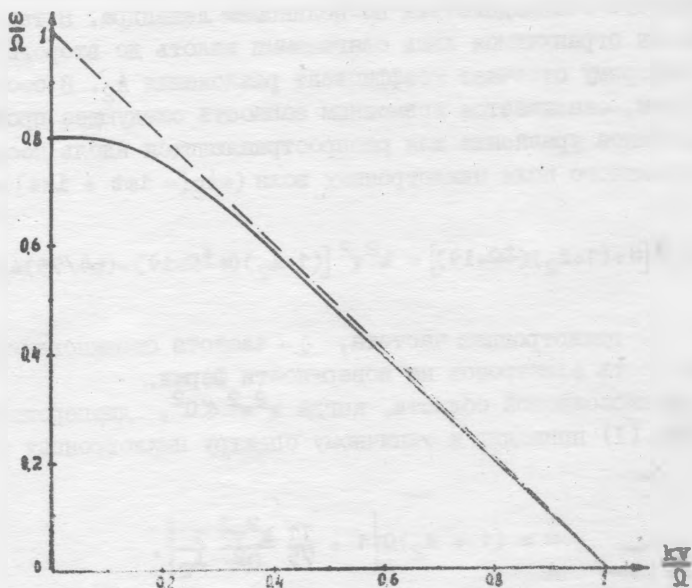
$$\omega = (1 + A_2)\Omega \left[1 + \frac{11}{75} \frac{k^2 v^2}{\Omega^2} \frac{1}{A_2} \right]. \quad (2)$$

Здесь мы пренебрегли частотой столкновений ν . Также мы поступим и в случае низкочастотных возбуждений, считая $\nu \ll \omega \ll \Omega$.

Тогда из уравнения (1) следует

$$\omega = (\Omega - kv) \frac{1 + A_2}{1 + (139/150)A_2} \quad (3)$$

При $A_2 > 0$ линия (3) на плоскости ω, k лежит правее прямой $\omega = \Omega - kv$, описывающей обычную квазиклассическую границу бесстолкновительного затухания (или иначе, границу доплер-сдвинутого циклотронного резонанса - ДСЦР). Поэтому можно думать, что в этих условиях для более детальной модели возникнут подавляющие существование волн эффекты затухания. Напротив, при $A_2 < 0$ спектр (3) в плоскости (ω, k) оказывается левее границы ДСЦР. В этом случае спектр (3) отвечает при $k \sim \Omega/v$ низкочастотной циклотронной волне - циклотронному доплерону (ЦД). Заметим здесь, что в случае $A_2 > 0$ длинноволновые циклотронные волны имеют спектр (2), а при $kv \sim \Omega$ их частота может достигать 2Ω .



Р и с. 1. Закон дисперсии циклотронных волн в калмии при $A_2 = -0,02$

На рис. 1 приведена зависимость частоты (ω/Ω) от волнового вектора (kv/Ω), отвечающая решению уравнения (1) и имеющая своими асимптотиками (2) и (3). При этом принято $A_2 = -0,2$. Поскольку для такого значения формула (3) имеет вид $\omega = 0,98(\Omega - kv)$, то нетрудно понять, что для реального наблюдения ЦД требуются измерения высокой точности. В то же время, как и в случае обычных доплеронов, ЦД имеют круговую поляризацию, что позволяет их отличить от неволновых осцилляций в проводниках. Подчеркнем, что при равных волновых векторах частота ЦД значительно превышает частоту обычного доплерона. Это позволяет надеяться, что проявление ЦД может быть обнаружено в осцилляциях поверхностного импеданса пластинок в условиях, когда существование обычного доплерона запрещено.

Поступила в редакцию
апреля 1980 г.

Л и т е р а т у р а

1. В. П. Силин, ЖЭТФ, 35, 1243 (1958).
2. G. A. Baraff, C. C. Grimes, P. M. Platzman, Phys. Rev. Lett., 22, 590 (1969).
3. В. П. Силин, ФММ, 29, 681 (1970).
4. В. Г. Скобов, дополнение к книге Ф. Платцман, П. Вольф, Волны и взаимодействия в плазме твердого тела, изд. "Мир", М., 1975 г.
5. В. В. Лаврова и др., ЖЭТФ, 65, 705 (1973).
6. В. М. Зверев, В. П. Силин, Препринты ФИАН № 63, № 183, М., 1979 г.; ФММ, 49, № 1, 23 (1980); ФТТ, 22, № 3 (1980).
7. R. G. Chambers, V. G. Skobov, J. Phys., F1, 202 (1971).
8. Г. П. Алоджанц, ЖЭТФ, 59, 1429 (1970).