

УДК 534.26.28

КОНИЧЕСКАЯ РЕФРАКЦИЯ УПРУГИХ ВОЛН, ОБУСЛОВЛЕННАЯ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ, В ВОЛЬФРАМЕ И МОЛИБДЕНЕ

© 2000 г. К. Б. Власов, А. Б. Ринкевич

Институт физики металлов Уральского отделения РАН
620219 Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18
E-mail: rin@imp.uran.ru

Поступила в редакцию 22.12.98 г.

Выполнены эксперименты по измерению амплитуды и фазы ультразвукового пучка сдвиговых волн, распространяющегося в монокристаллах вольфрама и молибдена в магнитном поле. При доплеровском сдвиге частоты акустического циклотронного резонанса наблюдался четный по магнитному полю вклад в фазу колебаний, свидетельствующий о существовании конической рефракции, обусловленной магнитным полем.

В работе изучаются магнитоакустические явления при распространении ультразвука как вдоль оси симметрии третьего порядка кубического кристалла, намагниченного вдоль этой же оси, так и вдоль намагниченного кристалла с изотропной упругостью. В этих случаях в соответствии с модами кристалла распространяются волны круговой поляризации. Однако плоскость, перпендикулярная оси третьего порядка, не является плоскостью зеркальной симметрии. Это обстоятельство делает возможным существование эффекта внутренней конической рефракции ультразвука (ВКР), проявляющегося в отклонении направления потока энергии от нормали к фронту волны. Можно полагать, что внутренняя коническая рефракция имеет место и за счет понижения симметрии кристалла в магнитном поле. Ставится задача экспериментального доказательства существования эффекта ВКР, вызванного магнитным полем. Так как ожидаемая величина отклонения потока энергии в магнитном поле невелика, то представляется возможным подтвердить существование этого вида конической рефракции косвенным образом и в резонансных условиях. Для этой цели использовалось явление доплеровского сдвига частоты акустического циклотронного резонанса, наблюдаемое в пучках ультразвука, когда волновой фронт не является плоским.

Эффект ВКР наблюдался ранее без магнитного поля [1]. Влияние магнитного поля на направление потока энергии изучалось теоретически [2] при распространении волны вдоль оси четвертого порядка, если магнитное поле направлено перпендикулярно этому направлению. Особенности явления доплеровского сдвига частоты акустического циклотронного резонанса (ДСАЦР) в условиях конической рефракции кратко освещались в работе [3]. Если полагать, что упругая волна яв-

ляется гармонической и плоской, то внутренняя коническая рефракция (ВКР) не должна существенно сказываться на ДСАЦР. Поэтому в ранних экспериментах по исследованию ДСАЦР при распространении ультразвука вдоль оси [111] [4–6] воздействие ВКР не наблюдалось. Лишь в работе [7] содержится упоминание о ВКР. В ней приводятся результаты экспериментов в длинном монокристалле меди маленького диаметра. Из-за большого угла отклонения направления потока энергии (для меди 31°), пучок вышел на боковую поверхность кристалла.

В нашей работе эксперименты выполнялись в условиях ВКР, но пучок на боковую поверхность не выходил. В качестве материала для исследования был выбран молибден, в котором значение угла отклонения потока энергии невелико, так что можно ожидать относительно большого влияния магнитного поля. Вторым объектом исследования служил кристалл вольфрама с изотропной упругостью, в котором явление ВКР без магнитного поля практически отсутствует.

Образцы приблизительно цилиндрической формы с диаметром 8–9 мм и длиной около 5 мм были отрезаны от монокристаллов молибдена с отношением электрических сопротивлений $\beta \equiv \rho_{273}/\rho_{4.2} = 29000$ и вольфрама с $\beta = 50000$. Нормаль к плоским поверхностям соответствовала кристаллографической оси [111] с погрешностью не более 1° . Погрешность юстировки образца в магнитном поле не превышала 0.8° .

Акустические измерения выполнены на частотах f от 40 МГц до 180 МГц. По методике [8] определялись появившиеся в магнитном поле действительные $Re\Delta q^\pm$ и мнимые $Im\Delta q^\pm$ добавки для собственных волн циркулярной поляризации к волновому вектору q в образце при отсутствии магнитного поля. Кроме того, измерялся угол по-

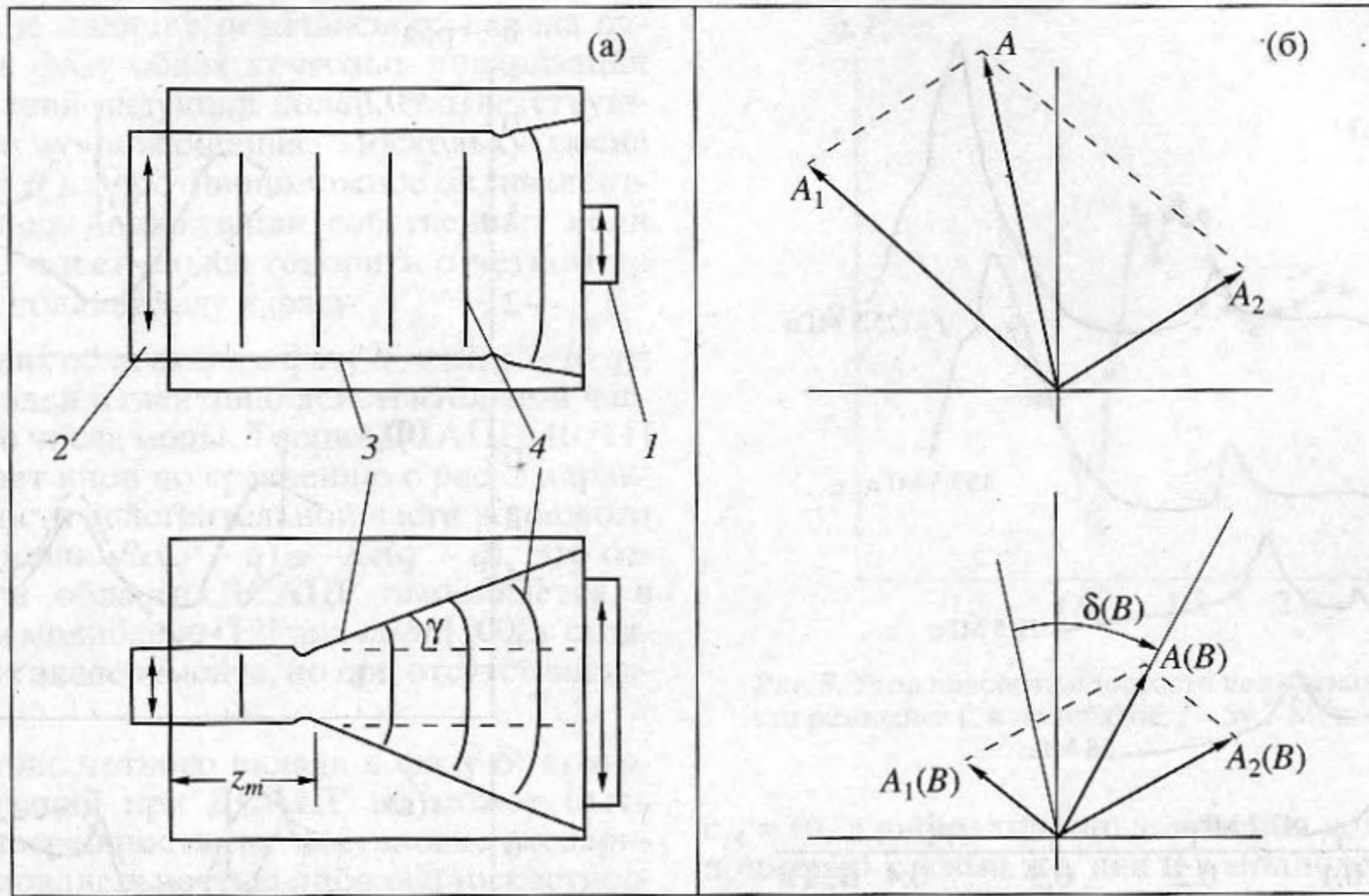


Рис. 1. Схема эксперимента с преобразователями разных размеров (а). 1 – приемный преобразователь, 2 – излучающий преобразователь, 3 – пучок, 4 – волновой фронт. Интерференция сигналов \vec{A}_1 и \vec{A}_2 от двух участков приемного преобразователя (б). Верхний рисунок – магнитное поле отсутствует, нижний рисунок – магнитное поле присутствует. Суммарный сигнал $\vec{A}(B)$ повернут в магнитном поле на угол $\delta(B)$.

ворота плоскости поляризации φ . Измерения в наклонном магнитном поле выполнены по методике работы [9].

Для пучка с неплоским волновым фронтом измеряемыми величинами будут усредненные по сечению приемного преобразователя вносимые потери $L^\pm = \text{Im}(\Delta q^\pm)z$ и фаза $\delta^\pm = \text{Re}(\Delta q^\pm)z$ упругих смещений; z – длина акустического пути. В качестве преобразователей использовались пластины из ниобата лития, причем часть экспериментов выполнена, когда приемный и излучающий преобразователи имели разные размеры. Один из них, преобразователь (1), имел диаметр 2.2 мм, а второй (2) был прямоугольной формы со сторонами 3×4 мм (рис. 1а).

В том случае, когда приемный преобразователь меньших размеров (верхний рисунок), он воспринимает центральную часть пучка. По мере увеличения пути ультразвука форма волнового фронта будет сильнее отклоняться от плоскости; периферийная часть пучка искривлена сильнее центральной.

На зависимости вносимых потерь $L = L^+ \approx L^-$ в молибдене от индукции магнитного поля B наблюдались резонансные максимумы, примерно одинаковые по величине, форме и расположению для волн правой и левой поляризации. В работе [6], где выполнялись сходные эксперименты в

вольфраме, изучались резонансы A и B , объясненные как доплерон-фононный резонанс. Мы ограничились областью более слабых магнитных полей, в которых изменения параметров упругой волны обусловлены главным образом резонансами C .

Для того чтобы убедиться, что этот резонанс вызван доплеровским сдвигом частоты и не является доплерон-фононным резонансом, были проведены измерения зависимости вносимых потерь от магнитной индукции на нескольких частотах (рис. 2а). Положение резонансных максимумов по магнитному полю при повышении частоты сдвигается линейно в область более сильных полей (рис. 2б). Зависимость величины α_{max}/f (α_{max} – значение коэффициента поглощения в самом сильном максимуме) от параметра $(f\beta)^{1/2}$, пропорционального $(ql)^{1/2}$ (l – длина свободного пробега электронов) показана на рис. 2в. Эта зависимость, как для молибдена, так и для вольфрама, является прямо пропорциональной. Подобные свойства характерны для акустического циклотронного резонанса при доплеровском сдвиге частоты, причем наличие максимума в L^\pm говорит о преобладании механизма взаимодействия электронов проводимости с ультразвуком, обусловленного деформацией материала. Наличие почти одинаковых максимумов в L^+ и L^- и линейная частотная зависимость положения резонансных мак-

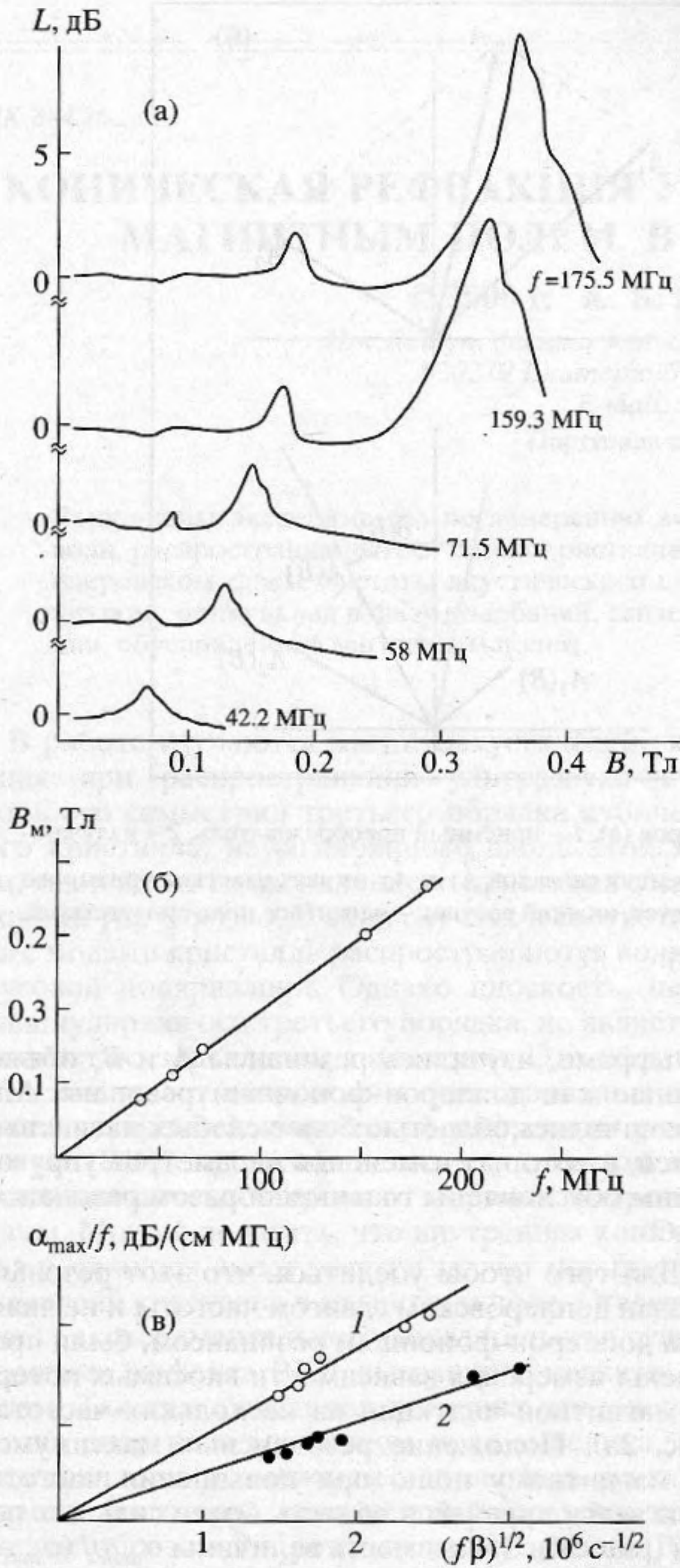


Рис. 2. Доплеровский сдвиг акустического резонанса в молибдене при $q//B//[111]$ (а); напряженность поля резонанса C как функция частоты волны (б); зависимость отношения максимального значения поглощения к частоте α_{\max}/f в резонансе C от параметра $(f\beta)^{1/2}$ (в): 1 – молибден, 2 – вольфрам.

симумов говорит об отсутствии или слабом проявлении доплерон-фононного взаимодействия в резонансах C .

После того, как получены экспериментальные свидетельства о природе резонансов C в молибде-

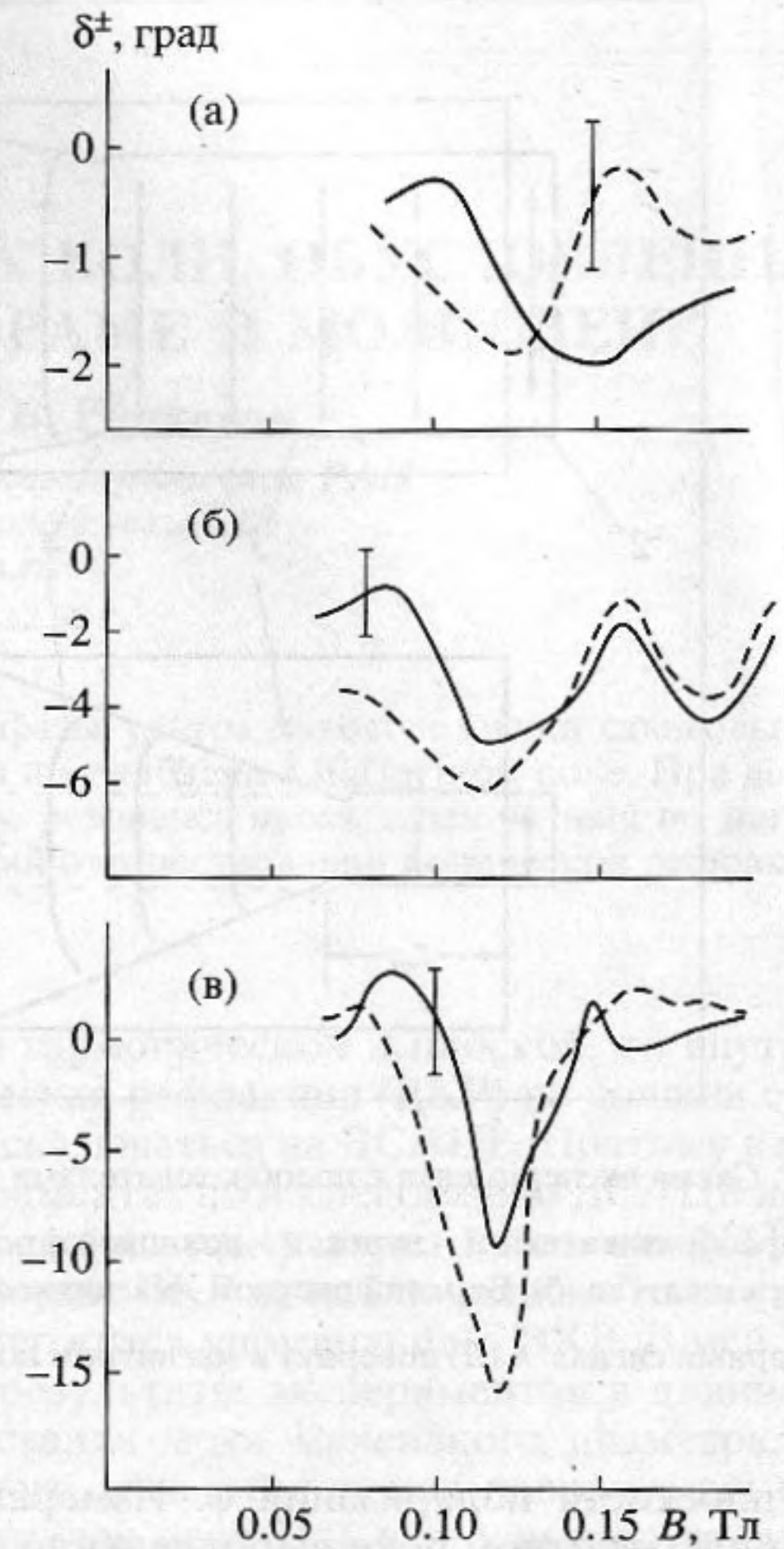


Рис. 3. Изменение фазы на приемном преобразователе в области резонанса C , δ^+ – сплошная линия, δ^- – штриховая линия. Частота $f = 59.7$ МГц; длина пути ультразвука $z = 0.48$ см (а), $z = 1.44$ см (б), $z = 2.4$ см (в).

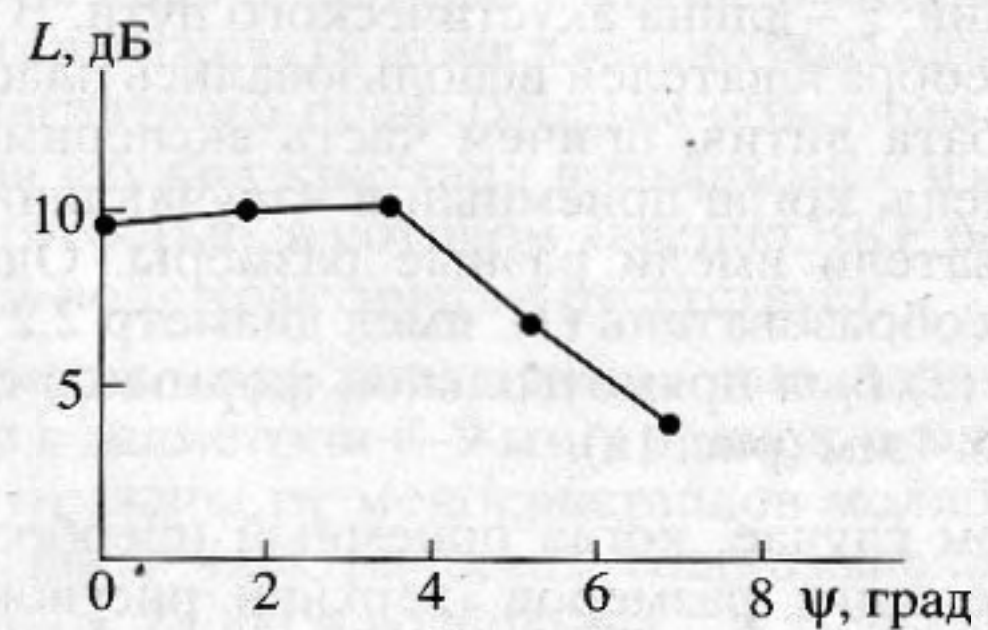


Рис. 4. Зависимость максимального значения вносимых потерь в условиях резонанса C как функция угла ψ между направлением магнитного поля и осью $[111]$.

не и вольфраме, рассмотрим результаты измерения фазы сигнала. На рис. 3 изображена зависимость фазы δ^\pm право- и левополяризованных упругих смещений от магнитной индукции B в области резонанса C с номером $n = 1$ при разных значениях длины пути ультразвука. Обращает на

себя внимание наличие резонансного вклада одного знака в фазу обеих круговых поляризаций вблизи значений индукции полей, соответствующих максимуму поглощения. Поскольку смена направления B на противоположное эквивалентна смене знака поляризации собственных волн “+” и “-”, то имеет смысл говорить о четном по магнитному полю вкладе в фазу.

Для плоских волн вклад в фазу $\delta^\pm = (Req^\pm - Req)z$ пропорционален изменению действительной части волнового числа моды. Теория ДСАЦР [10, 11] предсказывает иной по сравнению с рис. 3 характер зависимости действительной части волнового вектора, а именно $Re(q^+ - q) \approx -Re(q^- - q)$. Это соотношение в области ДСАЦР выполняется в вольфраме и молибдене [12] при $q//B//[100]$ в сходных условиях эксперимента, но при отсутствии явления ВКР.

Присутствие четного вклада в фазу δ^\pm круговых поляризаций при ДСАЦР не может быть объяснено погрешностями в постановке эксперимента – непараллельностью либо неплоскостностью торцев образцов. Отклонение векторов q , B и оси [111] кристалла от параллельности, в принципе, может привести к тому, что вместо собственных волн круговой поляризации будут распространяться волны с линейной поляризацией. Однако результаты, приведенные на рис. 3, невозможно интерпретировать как изменение фазовых скоростей нормальных волн. График “а” рис. 3 получен при длине пути ультразвука $z = 0.48$ см, “б” – при $z = 1.44$ см, график “в” при $z = 2.4$ см. Если бы вклад в фазу был обусловлен изменением скоростей волн, то графики а, б, в были бы подобны по форме, отличаясь масштабом по оси ординат. Этого не наблюдается. Четный вклад в фазу резко увеличивается с ростом пути, пройденного ультразвуком. Это обстоятельство заставляет сделать вывод о том, что проходящий на приемный преобразователь волновой фронт не является плоским. Возможными причинами неплоского фронта могут быть явления дифракции и ВКР.

Эксперименты показали, что зависимость максимального значения вносимых потерь от угла ψ между q и B достаточно сильна в области резонанса C (рис. 4). Результаты измерений угла поворота плоскости поляризации ϕ при $q//B//[111]$ в молибдене показали (рис. 5), что экстремальные значения этого угла значительно меньше, чем при $q//B//[111]$ [12, 13] в сходных условиях. Подобное отмечали авторы работ [4, 5], проводившие измерения угла поворота плоскости поляризации в монокристаллах вольфрама и алюминия.

Аналогичные измерения были выполнены в образцах вольфрама близкой формы и размеров к образцам молибдена и с теми же преобразователями. Ввиду того, что упругие свойства вольфрама изотропны, явление ВКР в нем при $B = 0$ должно отсутствовать (так как модуль упругости

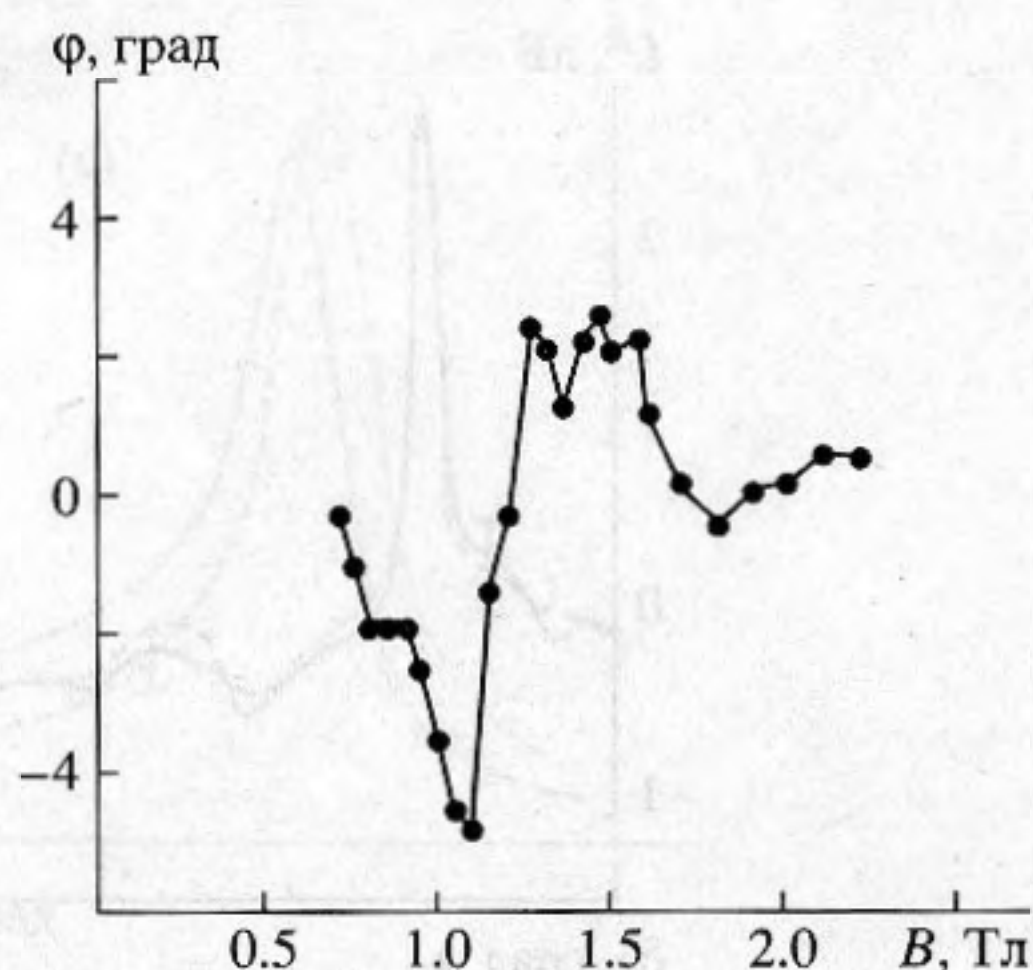


Рис. 5. Угол поворота плоскости поляризации в области резонанса C в молибдене; $f = 59.7$ МГц, $z = 1.4$ см.

$c_{14} \approx 0$), а дифракционные явления должны быть примерно такими же, как и в молибдене. Результаты измерений в вольфраме представлены на рис. 6, где $f = 56$ МГц и рис. 7, $f = 172$ МГц. Можно видеть, что на низкой частоте 56 МГц экспериментальные зависимости $L^\pm(B)$ и $\delta^\pm(B)$ в вольфраме, в отличие от молибдена, хорошо согласуются с зависимостями, которые следует ожидать согласно теории, когда вклад в ВКР, обусловленный магнитным полем, мал. А именно, выполняется приближенное равенство $\delta^+ \approx -\delta^-$, так что в этих условиях в вольфраме распространяется волновой фронт, близкий к плоскому. При повышении частоты четный вклад в δ^\pm начинает выявляться, рис. 7.

Выполненные эксперименты доказывают резонансную зависимость формы волнового фронта поперечной волны от напряженности магнитного поля при $q//B//[111]$. Возможными причинами отклонения от плоскости волнового фронта могут быть явления дифракции и внутренней конической рефракции.

Измерения на вольфраме показали, что при повышении частоты четный вклад в δ^\pm начинает выявляться и увеличиваться. Это не соответствует представлению о чисто дифракционном характере искривления волнового фронта, ведь с повышением частоты угол дифракционного расхождения пучка уменьшается. Оценка величины угла дифракционного расхождения пучка $\gamma \cong \lambda/2a$, где λ – длина волны, a – радиус излучателя, показывает, что в условиях проведенного эксперимента он составляет слишком малую величину ($\gamma \sim 0.5^\circ$), чтобы заметно изменить вносимые потери. Судя по данным рис. 4, для существенного изменения вносимых потерь нужно, чтобы он был более 4° . Поэтому в дальнейшем проанализируем возможное влияние ВКР на характеристики ультразвукового пучка.

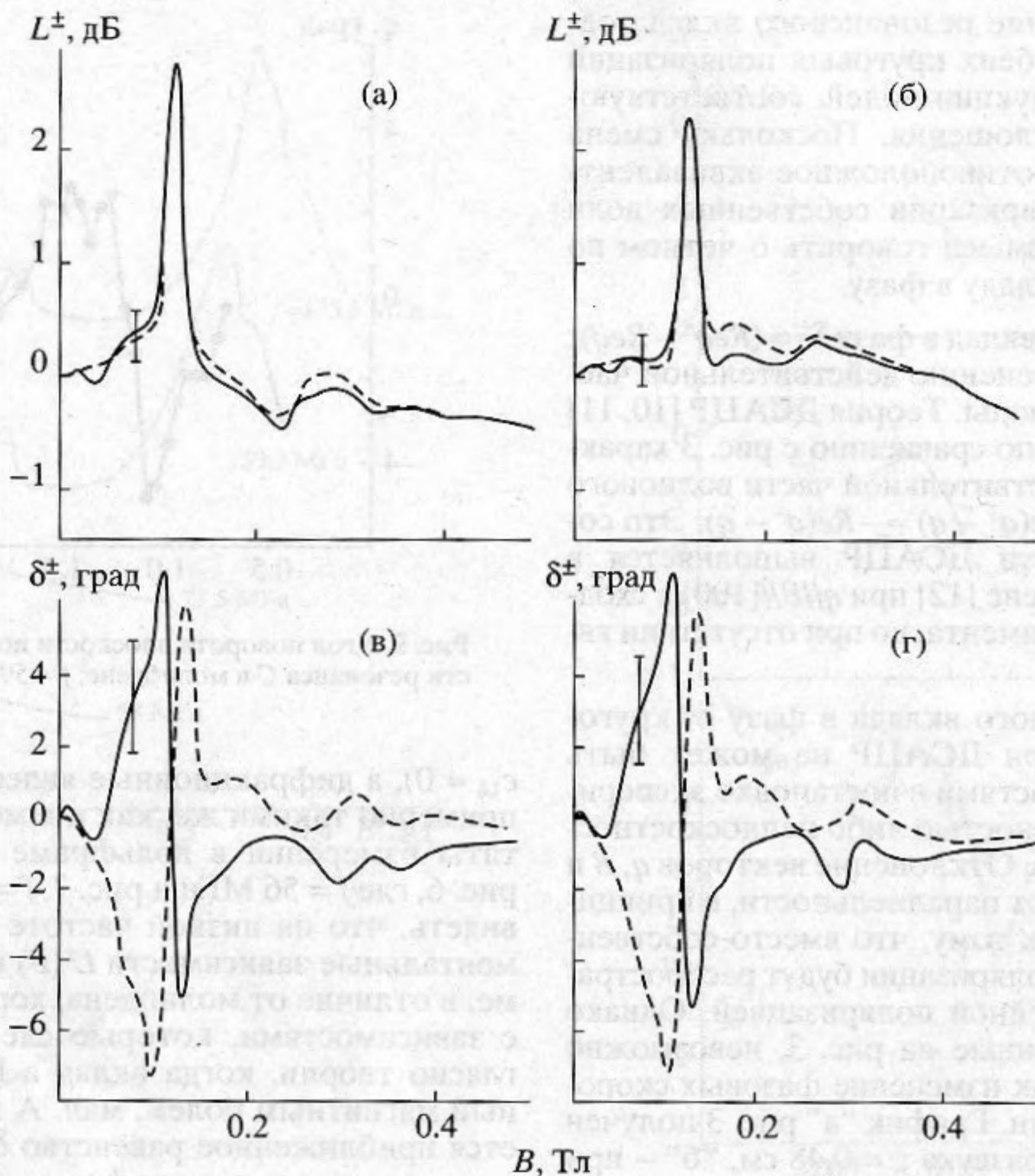


Рис. 6. Зависимость коэффициента вносимых потерь L^\pm (а, б) и фазы δ^\pm (в, г) колебаний в области резонанса С в вольфраме; $f = 56$ МГц, (а) и (в) соответствуют системам – преобразователь (2) – излучатель, преобразователь (1) – приемник; (б) и (г) системам – преобразователь (1) – излучатель, преобразователь (2) – приемник (см. рис. 1).

Влияние магнитного поля можно пояснить на основе качественных соображений. При неплоском волновом фронте в центре пучка лучи направлены вдоль B и оси $[111]$ кристалла, они отклоняются от B по мере приближения к периферии пучка. Пусть центральные лучи дают сигнал A_1 на приемном преобразователе, а периферийные – сигнал A_2 . Между такими лучами существует разность фаз (верхний рисунок 1б). Если эти лучи поглощаются в магнитном поле по-разному, то их интерференция на приемном преобразователе даст четный вклад $\delta(B)$ в δ^\pm (нижний рис. 1б), поскольку поглощение при ДСАЦР – четная функция магнитного поля при $\omega\tau \ll 1$ (ω – круговая частота волны, τ – время релаксации электронов). Из сказанного понятно, что четный вклад в фазу может возникать только вблизи пиков поглощения.

В [14, 15] указано обстоятельство, с необходимостью сопровождающее эффект внутренней конической рефракции в ультразвуковом пучке конечного размера. Поляризация колебаний в разных точках одного сечения пучка оказывается

различной, а в данной точке вполне определенной, фиксированной. Поэтому следует ожидать, что угол вращения плоскости поляризации за счет действия магнитного поля будет меньше при ВКР в пучке ультразвука, чем при отсутствии конической рефракции. Это обстоятельство, как было показано выше, подтверждено экспериментально.

Оценим величину угла внутренней конической рефракции при ДСАЦР. Теория ВКР при $q \parallel B$ для плоских волн представлена в [16]. Компоненты вектора потока энергии P_i^\pm в кубическом кристалле в магнитном поле равны

$$P_1^\pm = \mp \omega^2 c'_{14} \sqrt{\frac{\rho}{c'_{44} \pm c''_{45}}} (u^\pm)^2 \sin 2\phi,$$

$$P_2^\pm = -\omega^2 (c'_{14} \pm c''_{25}) \sqrt{\frac{\rho}{c'_{44} \pm c''_{45}}} (u^\pm)^2 \sin 2\phi, \quad (1)$$

$$P_3^\pm = \omega^2 \sqrt{\rho / (c'_{44} \pm c''_{45})} (u^\pm)^2,$$

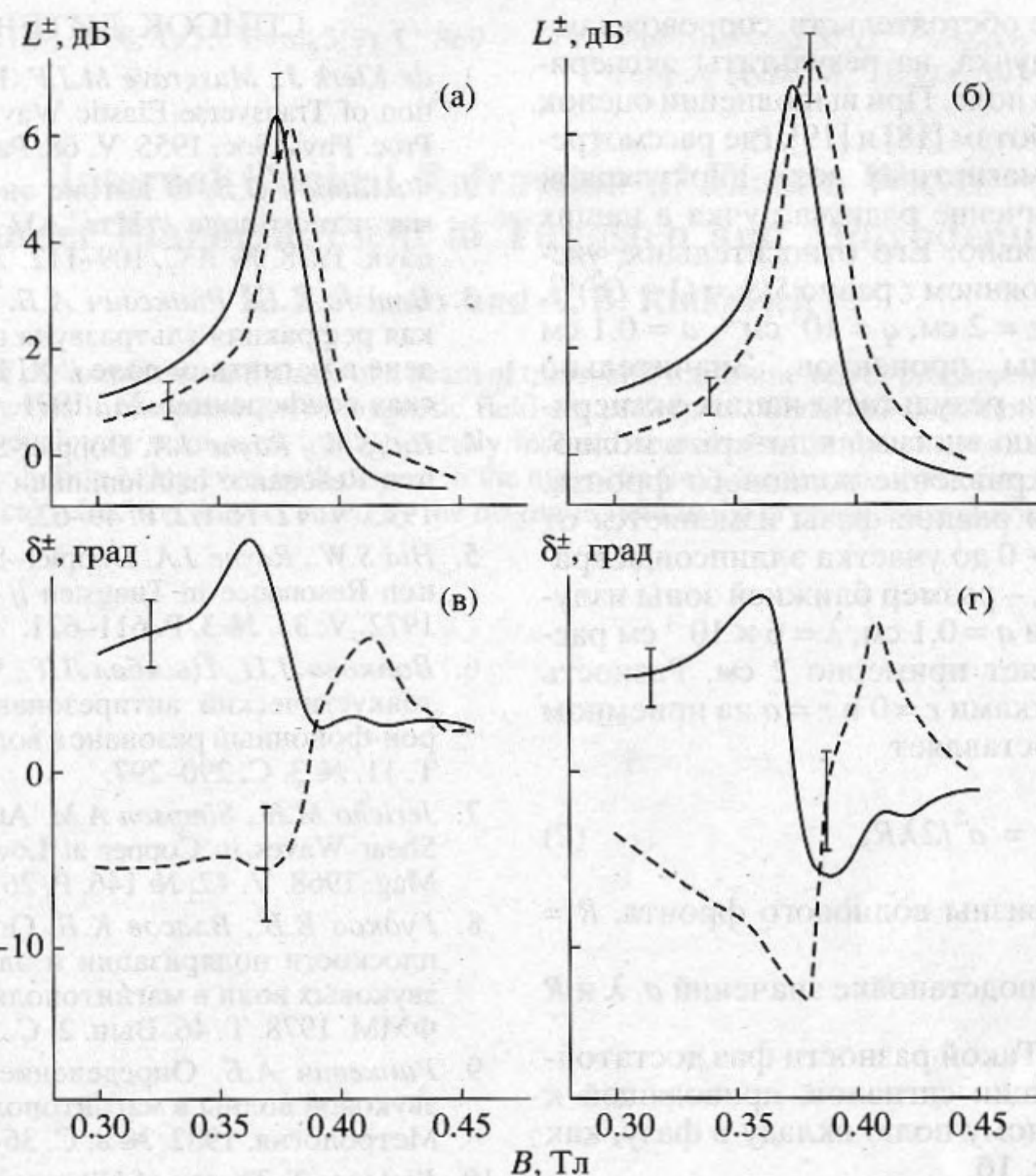


Рис. 7. То же, что рис. 6, но $f = 172$ МГц.

где $c_{ij} = c'_{ij} + ic''_{ij}$ – комплексный модуль упругости, ρ – плотность металла, u^\pm – амплитуда упругих смещений. Фазовый угол $\phi = qz - \omega t$ отсчитывается от оси $[11\bar{2}]$. Формулы (1) означают, что векторы мгновенного потока энергии P^\pm с течением времени описывают конические поверхности. В основании конусов лежат эллипсы, различные для волн “+” и “-” – поляризаций. Если магнитное поле равно нулю, то мнимые компоненты модулей c''_{25} и c''_{45} обращаются в нуль. Конуса ВКР становятся круговыми и одинаковыми для обоих направлений круговых поляризаций.

Если c'_{14} равно нулю, что имеет место в кристалле с изотропной упругостью, то $P_1^\pm = 0$ и конус ВКР вырождается в плоский сектор. В течение полупериода колебаний совершается полный цикл осцилляций вектора потока энергии.

Для выполнения оценок нужно знать величину добавок к модулям упругости, появляющихся при ДСАЦР. Относительное изменение циркулярно

поляризованных модулей упругости $\Delta c^\pm/c_{44}$ по порядку величины совпадает с $Im\Delta q^\pm/q = L^\pm/zq$. Из данных, представленных на рис. 2, 6, 7, получаем оценку для $|\Delta c^\pm/c_{44}| \sim 10^{-4}$, увеличивающуюся с ростом частоты волны. Добавка к углу отклонения $\Delta\theta$ из-за влияния магнитного поля по (1) равна $\Delta\theta = \Delta c_{14}/c_{44}$, если угол ВКР без магнитного поля θ мал, $\theta \ll 1$. Если добавки к модулям Δc^\pm и c_{14} имеют один порядок величины, то для вольфрама добавка $\Delta\theta \sim 0.3^\circ$. Эта оценка сделана в предположении, что ультразвуковая волна плоская. Поскольку эксперименты выполнены с помощью пучка конечного размера, следует ожидать, что совместное действие дифракции и ВКР приводит к появлению лучей, сильнее отклоненных от акустической оси. Имеющиеся в литературе данные о распределении упругого поля при ВКР подтверждают это предположение. Например, в [17] изучалась внутренняя коническая рефракция в кристалле германия с углом ВКР $\theta = 14^\circ$. Угол дифракционного расхождения $\gamma \cong \lambda/2a$ по оценке имеет порядок 1° . В эксперименте [17] были замечены упругие колебания вплоть до угла отклонения 20° , что значительно превышает $\theta + \gamma$.

Оценим действие обстоятельств, сопровождающих расхождение пучка, на результаты экспериментов в магнитном поле. При выполнении оценок будем следовать работам [18] и [19], где рассмотрены пучки электромагнитных волн циркулярной поляризации. Увеличение радиуса пучка в наших условиях незначительно. Его относительное увеличение S/S_0 с расстоянием z равно $S/S_0 = (1 + D^2)^{1/2}$, $D = 2z/qa^2$, что при $z = 2$ см, $q = 10^3$ см⁻¹, $a = 0.1$ см составляет единицы процентов. Значительно большее влияние на результаты наших экспериментов по измерению вносимых потерь в молибдене оказывает искривление волнового фронта. Форма поверхности равной фазы изменяется от плоскости при $z \rightarrow 0$ до участка эллипсоида вращения при $z \gg z_m$, z_m – размер ближней зоны излучения, $z_m = a^2/\lambda$. При $a = 0.1$ см, $\lambda = 6 \times 10^{-3}$ см расстояние z_m составляет примерно 2 см. Разность фаз $\Delta\phi$ между участками $r = 0$ и $r = a$ на приемном преобразователе составляет

$$\Delta\phi = a^2/2\lambda R, \quad (2)$$

где R – радиус кривизны волнового фронта, $R = a \left(\frac{1 + D^2}{D} \right)^{1/2}$. При подстановке значений a , λ и R получаем $\Delta\phi \sim 30^\circ$. Такой разности фаз достаточно для интерференции сигналов, приводящей к четному по магнитному полю вкладу в фазу, как это показано на рис. 1б.

На основании анализа экспериментальных данных о вносимых потерях и фазах упругих волн с круговой поляризацией, измеренных при различных частотах, разных длинах акустического пути, с излучающим и приемным преобразователями разных размеров, а также теоретических оценок показано, что в кристаллах кубической симметрии возникает обусловленный магнитным полем вклад во внутреннюю коническую рефракцию, что соответствует теоретическим предсказаниям [16]. Этот вклад существует при намагничивании кристалла вдоль оси третьего порядка [111] и распространении поперечного ультразвука в том же направлении.

Вызванный магнитным полем вклад в коническую рефракцию обнаружен в монокристалле вольфрама с изотропной упругостью (в котором отсутствует эффект ВКР за счет кристаллографической анизотропии), и в молибдене с анизотропной упругостью. Влияние магнитного поля на ВКР наблюдалось в условиях доплеровского сдвига по частоте акустического циклотронного резонанса, и проявилось в резонансном искажении волнового фронта ультразвукового пучка.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ–ННИО № 98-02-04094.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *de Klerk J., Musgrave M.J.P.* Internal Conical Refraction of Transverse Elastic Waves in a Cubic Crystal // Proc. Phys. Soc. 1955. V. 68. Part 2. № 422B. P. 81–88.
2. *Филиппов В.В.* О потоке энергии упругих волн в магнитном поле // Изв. АН БССР, сер. физ.-мат. наук. 1978. № 1. С. 109–112.
3. *Власов К.Б., Ринкевич А.Б.* Внутренняя коническая рефракция ультразвука в вольфраме и молибдене в магнитном поле // XI Всесоюзная акустическая конференция. М., 1991, часть В. С. 11–14.
4. *Hui S.W., Rayne J.A.* Doppler-Shifted Acoustic Cyclotron Resonance in Aluminium // J. Low Temp. Phys., 1973. V. 12. № 1/2. P. 49–62.
5. *Hui S.W., Rayne J.A.* Doppler-Shifted Acoustic Cyclotron Resonance in Tungsten // J. Phys. Chem. Solids. 1972. V. 33. № 3. P. 611–621.
6. *Волкова Л.П., Цымбал Л.Т., Черкасов А.Н.* Магнитоакустический антирезонанс и кратный доплерон-фононный резонанс в вольфраме // ФНТ. 1985. Т. 11. № 3. С. 290–297.
7. *Jericho M.H., Simpson A.M.* Attenuation of Ultrasonic Shear Waves in Copper at Low Temperatures // Phil. Mag. 1968. V. 17. № 146. P. 267–282.
8. *Гудков В.В., Власов К.Б.* Определение вращения плоскости поляризации и эллиптичности ультразвуковых волн в магнитополяризованных средах // ФММ. 1978. Т. 46. Вып. 2. С. 254–261.
9. *Ринкевич А.Б.* Определение параметров ультразвуковой волны в магнитополяризованной среде // Метрология. 1982. № 8. С. 36–40.
10. *Kjeldaas T.* Theory of Ultrasonic Cyclotron Resonance in Metals at Low Temperatures // Phys. Rev. 1959. V. 113. № 6. P. 1473–1478.
11. *Mertsching J.* Theory of Electromagnetic Waves in Metals and Their Interaction with Ultrasonic Waves // Phys. Status Solidi. 1970. V. 37. № 2. P. 465–522.
12. *Власов К.Б., Ринкевич А.Б.* Доплер-сдвинутый акустический циклотронный резонанс в вольфраме и молибдене // ФММ. 1982. Т. 54. Вып. 4. С. 668–677.
13. *Власов К.Б., Ринкевич А.Б., Зимбовская Н.А.* Магнитоакустические эффекты, обусловленные доплер-сдвинутым акустическим циклотронным резонансом в вольфраме и молибдене // ФММ. 1981. Т. 52. Вып. 3. С. 517–529.
14. *Waterman P.C.* Orientation Dependence of Elastic Waves in Single Crystals // Phys. Rev. 1959. V. 113. № 5. P. 1240–1253.
15. *Хаткевич А.Г.* Распространение и коническая рефракция пучков ультразвукового излучения // Кристаллография. 1988. Т. 31. Вып. 4. С. 629–634.
16. *Власов К.Б., Ринкевич А.Б.* Внутренняя коническая рефракция упругих волн в магнитополяризованных средах // Акуст. журн. 1995. Т. 41. № 1. С. 67–71.
17. *Анисимкин В.И., Морозов А.И.* Ультразвуковая внутренняя коническая рефракция в германии // ФТТ. 1975. Т. 17. № 10. С. 3006–3009.
18. *Ардашев А.Ю., Кашин В.А., Скроцкий Г.В.* Классическая теория неидеальных когерентных свето-

ВЫХ ПУЧКОВ // ЖЭТФ. 1968. Т. 55. Вып. 3(9). С. 869–875.

19. *Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П.* Теория волн. М., Наука, 1979. 384 с.

Internal Conical Refraction of Elastic Waves under Magnetic Field in Tungsten and Molybdenum

K. B. Vlasov and A. B. Rinkevich

Measurements of the amplitude and phase of a beam of transverse ultrasonic waves propagating in tungsten and molybdenum crystals in the presence of magnetic field are performed. Under the conditions of the Doppler-shifted acoustic cyclotron resonance, a magnetically induced contribution to the phase of oscillations is observed, this contribution being even with respect to the magnetic field. Such a result testifies to the presence of the internal conical refraction that is caused by the magnetic field in the crystals under study.