АКУСТИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ БОЛЬШОЙ АМПЛИТУДЫ

(Ответ на замечания Б. В. Дерягина).

А. А. Эйхенвальд, Милан

В своем ответе я постараюсь быть по возможности кратким.

1. Статья Б. Дерягина (1933) дошла до меня только в августе 1934 г., а я отослал свою статью в редакцию еще в марте; таким образом упомянуть о работе Б. Дерягина в своей статье я уже не мог. Впрочем, работа Б. Дерягина и не могла бы иметь влияние на мою статью, так как результат, полученный Дерягиным, совпадает с результатом работы Ф. Линдига (1903), а работа Линдига была мне хорошо известна.

2. В противоположность мнению Б. Дерягина я должен сказать, что „значительная часть" моей статьи посвящена явлению деформации волн и только на 3 или 4 страницах (из 32) говорится о возникновении комбинационных тонов. Это объясняется очень просто тем обстоятельством, что самое появление моего доклада в Милане было вызвано законченными опытами Вотье (1931) над деформацией проходящей волны. Что же касается вопроса о комбинационных тонах, то я должен был коснуться и его, так сказать попутно, в связи с остальным. Я даже не счел нужным привести литературу по этому вопросу, как это мною сделано по другим вопросам.

3. Теперь о работах Линдига и Дерягина. Оба наблюдателя подтвердили мнения прежних ученых (начиная чуть ли не с 1830 г.), что вблизи камертона в самом воздухе появляется, кроме основного тона камертона, также и его октава. Оба наблюдателя нашли, что амплитуда этой октавы пропорциональна квадрату амплитуды основного тона, а относительные фазы обоих тонов оказались одинаковыми. Необходимо прибавить, что методы измерений, примененные Линдигом и Дерягиным, в принципе одинаковы, но, само собою разумеется, измерения Дерягина несравненно точнее измерений Линдига. Как же обстоит дело с теорией? Линдиг приложил к свом опытам теорию Гельмгольтца о комбинационных колебаниях, и оказалось, что

теория и опыт находятся в полном согласии друг с другом как в отношении амплитуды, так и в отношении фазы изучаемых колебаний. Еще точнее это согласие оказалось в опытах Б. Дерягина. Казалось бы, все обстоит благополучно. К сожалению, однако, теория в той форме, как она предложена Линдигом, не может быть принята, так как она предполагает у частиц воздуха некоторый собственный период колебаний, чего на самом деле нет. Если же откинуть это предположение и применить теорию волн (а не колебаний), что напрашивается само собою, то оказывается, что теория и опыт сходятся только по отношению к амплитуде и расходятся по отношению к фазе колебаний. Все это было известно еще 30 лет тому назад, да это легко видеть и прямо из формул, как это замечает и сам Б. Дерягин. Как же теперь быть: неприемлемая теория оказывается на опыте верной, а приемлемая теория оказывается неверной. Б. Дерягин приводит по этому поводу мнение П. Лазарева, заключающееся в том, что около острых ножек камертона при колебаниях возникают вихри, которые и служат причиной комбинационных тонов. Несомненно, что около колеблющегося камертона возникают вихри, и так же несомненно, что от вихрей, могут получиться комбинационные тоны (так как соотношения нелинейны, § 15; о вихрях я тоже упомянул в § 17); но можно сделать и другие предположения. Однако все подобные предположения, без точной математической формулировки и без приложения к тому или иному реальному опыту, не могут иметь большого значения. Б. Дерягин, однако, так уверен, что предположение о вихрях единственно возможное, что считает возникновение комбинационных тонов без вихрей (по Линдигу) опровергнутым на опыте. Более того, Б. Дерягин предполагает, что если камертон заменить мембраной с заделанными краями, то вихрей образовываться не будет и комбинационная октава тоже не появится. Я должен, однако, разочаровать Б. Дерягина: вихри все равно образовываться будут (см. опыты Гартмана-Кемпфа в § 14 моего доклада). Тем не менее дальнейшие опыты, конечно, желательны.

4. Образование вихрей при колебаниях было исследовано, между прочим, Дворжаком (1876, 1901), и теория опытов Дворжака была дана Рэлеем (1883). Однако в приложении к опытам Линдига и Дерягина, где акустический зонд помещается в непосредственной близости колеблющейся ножки камертона, подобная теория представила бы значительные математические трудности.

5. В конце концов Б. В. Дерягин полагает, что „следует вообще поставить под сомнение возможность появления комбинационных тонов в воздухе как результат членов второго порядка в потенциале скоростей" и „что Эйхенвальдом не доказано... так как не учтено влияние затухания и расчеты произведены для плоских волн" (а не сферических, как предполагает Б. Дерягин) и т. д. и т. д. Спешу согласиться с моим оппонентом: Эйхенвальдом вообще ничего не доказано... так как все это уже давно доказано другими и без Эйхенвальда. Тем не менее, может быть дальнейшие разъяснения будут не совсем лишними.

6. Теория Римана в применении в волнам плоским, без затухания и даже без вихрей (а я прибавлю еще: и без турбулентных движений) показывает нам, что акустическая волна при своем распространении в воздухе должна деформироваться (наподобие морской волны во время прибоя к берегу). Опыты Вотье в о о ч и ю (рис. 2 в § 9 моего доклада) демонстрировали эту деформацию. Нужды нет в том, что у Вотье волна наверно была не совсем плоская и была с затуханием, и наверно сопровождалась вихрями (движение воздуха без вихрей — ведь это была бы большая редкость).

7. Далее теория Римана приводит к заключению, что деформирующаяся волна должна в конце концов превратиться в ударную. И это подтверждается в настоящее время на опытах с детонацией взрывчатых веществ. Теория Римана подтверждается также и при измерениях скорости распространения волн. Вообще в настоящее время в явлении деформации волн нам с о м н е в а т ь с я н е п р и х о д и т с я. А если волна при своем рас-

пространении деформируется, то в ней несомненно возникают и комбинационные тоны; оба утверждения вполне эквивалентны.

8. Из этой теории Римана непосредственно следует, что в акустических волнах (проходящих и стоячих) колебания асимметричны. Другими словами, в воздухе должны, между прочим, возникать комбинационные волны четных степеней и, конечно, в первую очередь должна появляться октава. Асимметричные колебания отличаются тем, что средние значения их амплитуд отличны от нуля, а величины этих средних значений равны амплитуде соответственного комбинационного тона. Но величины средних значений давлений звуковой волны были тщательно измерены Альтбергом (1903, 1907) и Зерновым (1906) и притом, что особенно важно, измерены не только относительно, но и абсолютно. Результаты этих измерений вполне подтвердили теорию Рэлея, которая следует также из теории Римана (§ 21).

Отсюда мы можем сделать такое заключение: давление звука, смеренное Альтбергом и Зерновым, можно рассматривать как косвенное измерение амплитуды четных комбинационных тонов (конечно, главным образом октавы). Эти измерения можно назвать вполне объективными и им можно доверять даже более, чем если бы кто-нибудь собственным своим ухом услыхал комбинационную октаву в воздухе.

9. Математическая теория Римана для акустических волн пока ограничивается случаями плоских незатухающих волн, и обобщения этой теории со включением других факторов (трение воздуха, его теплопроводность, вихревое движение, турбулентность и т. п.), конечно, весьма желательны. Но нельзя не признать, что теория Римана и в своей простейшей форме дает уже очень многое и притом не только в вопросах научных, но в и вопросах чисто практического характера. Что же касается основной мысли Гельмгольтца о комбинационных тонах (нелинейность соотношений), то она неотразима и останется в силе при всех дальнейших усовершенствованиях акустических теорий.

Отв. ред. Э. В. Шпольский. Техн. ред. А. В. Смирнова.

Индекс Т-Т-60. Тираж 3 800 + 50 отд. отт. Сдано в набор 2/IV 1935 г. Подп. в печ. 23/V 1935 г. Формат бумаги 62 × 94. Авт. л. 7. Бум. л. $3^1/_2$. Печатн. зн. в бум. л. 101 000. Заказ № 542. Уполномоч. Главлита В-22713. Выход в свет июнь 1935 г.

3-я тип. ОНТИ им. Бухарина. Ленинград, ул. Моисеенко, 10.