

Успѣхи въ области акустики за послѣдніе 15 лѣтъ.

Проф. В. Д. Зернова.

Акустика не представляет собою такого отдѣла физики, отъ разработки котораго можно было бы ожидать разрѣшенія принципиальныхъ задачъ или установленія новыхъ точекъ зрѣнія на природу явленій. Но въ ученіи о звукѣ существовали нѣкоторые пробѣлы, которые надлежало заполнить части нашей науки. ея вѣрные служители находятъ всегда новые интересные вопросы и прилагаютъ много труда и остроумія для разрѣшенія поставленныхъ задачъ.

Просматривая литературу по акустикѣ, мы въ каждомъ году находимъ большое количество работъ и принципиально важныхъ и интересныхъ по постановкѣ вопросовъ. Кромѣ того, изученіе акустическихъ колебаній, какъ болѣе доступное изслѣдованію, всегда служило и служить хорошимъ подспорьемъ въ изученіи колебаній вообще какой бы то ни было природы.

Не задаваясь задачей представить читателямъ полный отчетъ о работахъ по акустикѣ за 15 лѣтъ, я позволю себѣ остановиться на вопросахъ, обслѣдованныхъ за указанный періодъ, которые мнѣ кажутся наиболѣе значительными и интересными.

Прежде всего, слѣдуетъ остановиться на вопросѣ объ источникахъ звуковыхъ колебаній, дающихъ малую длину звуковой волны, т.-е. на источникахъ весьма большой высоты тона. Вопросъ этотъ принципиально важенъ, потому что цѣлый рядъ задачъ научной акустики требуетъ именно такихъ короткихъ колебаній, или, по крайней мѣрѣ, обстановка опытовъ, при условіи короткой волны, дѣлается менѣе громоздкой, и результаты изслѣдованія пріобрѣтаютъ большую достоверность, не говоря уже о томъ, что самый вопросъ о короткихъ акустическихъ волнахъ является вопросомъ программнымъ.

Для полученія высокихъ тоновъ значительной силы, за истекшій періодъ времени, пользовались и старымъ методомъ стержней Кундта, но были предложены и новые методы, давшіе въ высшей степени удачное и исчерпывающее рѣшеніе задачи полученія звуковыхъ колебаній любой высоты. Первый приборъ новаго типа былъ построенъ

Эдельманомъ и носить названіе Гальтоновскаго свистка. Этотъ приборъ состоитъ изъ цилиндрическаго резонатора малаго діаметра (3—5 мм.), длина котораго можетъ быть измѣняема при помощи подвижнаго поршня. Собственный тонъ такого резонатора возбуждается струей воздуха, вдуваемой въ устье резонатора. Собственно Гальтоновскій свистокъ дѣйствуетъ совершенно аналогично паровозному свистку, гдѣ колебанія въ резонаторѣ возбуждаются струей пара. Приборъ даетъ тоны весьма высокіе, лежащіе далеко за предѣлами слышимости. При помощи этого прибора возможно получать и регистрировать пыльными фигурами Кундта длины стоячихъ колебаній въ 2 мм., т.-е. число полныхъ колебаній, еще вполне хорошо регистрируемыхъ, достигаетъ 85000 въ секунду. Другой еще болѣе могущественный методъ полученія короткихъ акустическихъ волнъ мы находимъ въ искровомъ разрядѣ или Паульсеновской поющей дугѣ. Электромагнитныя колебанія сопровождаются, какъ извѣстно, появленіемъ періодической искры въ вибраторѣ. Эта періодически появляющаяся искра каждый разъ нагрѣваетъ окружающій воздухъ и служитъ источникомъ періодическихъ упругихъ возмущеній воздуха, т.-е. источникомъ звука съ періодомъ проскакивающей искры. Собственный періодъ вибратора, какъ извѣстно, зависитъ отъ его электрической емкости и самоиндукціи системы, уменьшая которыя, мы можемъ получить колебанія, частота которыхъ лежитъ далеко за предѣлами нужной намъ частоты. Предѣлъ же частоты распространяющейся звуковой волны въ этомъ случаѣ обуславливается уже не методомъ, но другими обстоятельствами, о которыхъ рѣчь будетъ ниже.

Изъ вопросовъ, связанныхъ съ распространеніемъ звуковой волны въ воздухѣ, на первомъ мѣстѣ мы поставимъ вопросъ о, такъ называемомъ, звуковомъ давленіи. Это явленіе, аналогичное свѣтовому давленію, изслѣдованіе котораго составило славу нашему незабвенному учителю профессору П. Н. Лебедеву, получило свое окончательное экспериментальное подтвержденіе въ его же лабораторіи.

Впервые на явленіе звукового давленія обратилъ вниманіе еще въ 1876 году Дворжакъ и характеризовалъ это явленіе слѣдующимъ образомъ: „Во всякомъ объемѣ воздуха, въ которомъ происходятъ стоячія акустическія колебанія, манометръ, помѣщенный въ узлѣ колебанія, обнаруживаетъ маленькій избытокъ давленія“. Дворжакъ приводитъ и нѣкоторое механическое толкованіе явленія, подсказанное ему Махомъ. Вопросъ о звуковомъ давленіи вновь былъ возбужденъ Релеемъ только въ 1902 году, уже послѣ того, какъ вопросъ о свѣтовомъ давленіи былъ рѣшенъ Лебедевымъ въ положительномъ смыслѣ. Едва ли мы ошибемся, если скажемъ, что рѣшеніе вопроса о свѣтовомъ давленіи побудило Релея взяться за рѣшеніе общей задачи о звуковомъ давленіи. Релей далъ полную теорію звукового давленія и

показаль, что давлєніє звуковой волны на отражающую стѣнку выражается формулой:

$$P = \frac{1}{2} \left(\frac{c_p}{c_v} + 1 \right) \cdot E$$

гдѣ P — звуковое давлєніє, E — плотность звуковой энергіи, а $\frac{c_p}{c_v}$ известное отношеніє теплоемкостей газа.

Экспериментально задача о звуковомъ давлєніи была разрѣшена въ лабораторіи Лебедева Альтбергомъ. Сильныя звуковыя колебанія, распространявшіяся отъ Кундтовскаго стержня, падали на отражающую стѣнку, имѣвшую отверстіє, въ которомъ свободно перемѣщался поршень, укрѣпленный на плечѣ крутильной системы. Перемѣщеніє поршня, т.-е. вращеніє крутильной системы, и опредѣляло силу звукового давлєнія. Опыты вполне подтвердили результатъ теоретическаго разсужденія и показали, что давлєніє распространяющихся колебаній есть явленіє общее для всякаго рода колебаній независимо отъ ихъ природы. Последнее обстоятельство было еще подтверждено работой Капцова, стоящей внѣ предѣловъ нашего обзора, который изслѣдовалъ давлєніє волнъ, распространяющихся на водной поверхности. Работа эта сдѣлана также подъ руководствомъ П. Н. Лебедева.

Изъ формулы Релея, приведенной выше, видно, что существуетъ весьма простая зависимость между звуковымъ давлєніемъ и плотностью звуковой энергіи. Такимъ образомъ, измѣреніє въ абсолютной мѣрѣ звукового давлєнія даетъ возможность опредѣлить въ абсолютной же мѣрѣ и плотность звуковой энергіи, т.-е. абсолютную силу звука. Но къ этому вопросу мы возвратимся нѣсколько позже.

Вопросъ о скорости распространєнія звука привлечь къ себѣ значительное вниманіє, и скорость звука въ воздухѣ опредѣлялась разнообразными методами и въ весьма разнообразныхъ условіяхъ. Скорость звука опредѣлялась и въ другихъ газахъ, какъ-то: углекислотѣ, азотѣ и при весьма разнообразныхъ температурахъ. Такъ, Бюкецаль изслѣдовалъ скорость звука въ газахъ въ интервалѣ температуръ отъ 0° до +1100°, а Кукъ занимался опредѣленіемъ скорости звука для низкихъ температуръ до —190.

Величины измѣненія скорости звука при столь значительномъ измѣненіи температуры не удовлетворяютъ уже элементарнымъ газовымъ законамъ, а могутъ быть объяснены только измѣненіемъ отношенія удѣльныхъ теплоемкостей газа, что, въ свою очередь, объясняется измѣненіемъ молекулярнаго строенія газа.

На молекулярное строеніє газа въ смыслѣ диссоціи газовыхъ молекулъ вліяетъ не только нагрѣваніє, но и другіє агенты какъ, напримѣръ, лучи Рентгена. На основаніи этого была сдѣлана

попытка установить зависимость скорости звука от дѣйствія на газъ такихъ агентовъ, какъ лучи Рентгена, но тогда какъ Кюпперъ находитъ такую зависимость, другіе (Вестфаль, Стридеръ) не находятъ ея и считаютъ результатъ, полученный Кюпперомъ, ошибкой наблюденія.

Особый интересъ возбуждаетъ вопросъ о скорости распространенія короткихъ акустическихъ колебаній, ибо если вообще существуетъ зависимость скорости распространенія звука отъ длины волны, т.-е. дисперсія звуковыхъ колебаній, то ее всего легче замѣтить, изслѣдуя скорость распространенія короткихъ волнъ. Въ этомъ направленіи сдѣлано, повидимому, все возможное. Слѣдуетъ указать на работу Дикмана, который въ качествѣ источника пользовался Паульсеновской дугой и дошелъ до весьма короткихъ колебаній $\lambda = 0,59$ въ свѣтильномъ газѣ, что соотвѣтствуетъ числу колебаній $n = 780.000$ въ секунду. Число колебаній опредѣлялось изъ длины электрической волны, измѣренной при помощи особаго аппарата, употребляемаго въ безпроводочной телеграфіи для измѣренія длинъ электрическихъ волнъ, а длина акустической волны опредѣлялась отражательной диффракціонной рѣшоткой. Другая работа принадлежитъ Млодзѣвскому и сдѣлана по указанію и въ лабораторіи П. Н. Лебедева. Источникомъ звука служилъ свистокъ Гальтона ($n = 10.000$ до $n = 33.000$), скорость звука опредѣлялась способомъ, аналогичнымъ способу Физо для опредѣленія скорости свѣта. Оба изслѣдователя не находятъ измѣненія скорости звука въ зависимости отъ длины распространяющейся волны, т.-е. устанавливають отсутствіе дисперсіи звуковыхъ колебаній въ газахъ.

Отмѣтимъ, что въ цѣломъ рядѣ изслѣдованій по звуку въ настоящее время употребляется обстановка опытовъ, аналогичная оптическимъ методамъ. Такъ, завоевалъ себѣ прочное положеніе методъ опредѣленія длины волны при помощи диффракціонной рѣшотки, построенной изъ параллельныхъ проволокъ, а въ опытахъ Млодзѣвскаго мы видимъ извѣстное зубчатое колесо метода Физо.

По вопросу о дисперсіи звуковой волны мы имѣемъ классическую работу профессора Н. П. Кастерина. Онъ изслѣдуетъ распространеніе звуковой волны въ неоднородной средѣ: въ трубѣ, по которой распространяется звукъ, расположены на извѣстномъ разстояніи другъ отъ друга твердые шары. При этомъ условіи скорость распространенія звука зависитъ отъ длины волны или скорость распространенія данной волны зависитъ отъ расположенія шаровъ. Зависимость дѣлается еще болѣе очевидной, если вмѣсто шаровъ размѣщаются гельмгольцовскіе резонаторы, отвѣчающіе на тонъ распространяющейся волны. Кастеринъ даетъ полную теорію этого явленія. Опыты Кастерина, интересные съ точки зрѣнія акустики, являются рѣшающими въ теоріи дисперсіи свѣта, гдѣ свѣтовые волны, распространяясь въ неоднородной средѣ, встрѣчаютъ резонаторы-молекулы, отвѣчающіе пе-

ріоду електромагнітної світлової волни. Теорія, даная Кастеринимъ, єсть полное рѣшеніє резонанскої теорії дисперсії свѣта.

Вопросъ о поглищеніи акустическихъ колебаній подвергался изслѣдованію въ чисто практическихъ цѣляхъ для изысканія матеріаловъ, способныхъ дати наилучшую акустическую изоляцію. Но особенно интересна работа, сдѣланная въ лабораторіи Лебедева Н. П. Неклепаевымъ. Въ ней авторъ изслѣдуетъ поглищеніє короткихъ ($\lambda = 0,250$ и $\lambda = 0,083$ мм.) акустическихъ волнъ воздухомъ. Источникомъ звуковыхъ колебаній служитъ искровой разрядъ. Для измѣренія длины волни примѣнялась дифракціонная рѣшетка, а интенсивность опредѣлялась давилымъ приборомъ. Оказалось, что порядокъ величины абсорбції $A = c\lambda^2$ для короткихъ волнъ тотъ же, что даетъ теорія, хотя нѣсколько больше, чѣмъ можно ожидать на основаніи вычисленія. Коэффициентъ абсорбції c увеличивается съ уменьшеніемъ длины волни, при чемъ $A = c\lambda^2$ остается постояннымъ. Принимая данныя этой работы, П. Н. Лебедевъ дѣлаетъ слѣдующее заключеніє: „Въ общихъ чертахъ опытъ и теорія согласно свидѣтельствуютъ, что звукъ средней высоты сколько-нибудь замѣтно не поглищается воздухомъ. Для короткихъ акустическихъ волнъ это поглищеніє становится уже замѣтнымъ“. Полагая, что величина абсорбції $A = c\lambda^2$, найденная Неклепаевымъ, остается неизмѣнной и для болѣе короткихъ волнъ, П. Н. Лебедевъ вычислилъ „тотъ путь, пробѣгая который звуковая волна ослабляется до одной сотой доли своей первоначальной силы; эти пути суть:

для $\lambda_1 = 0,8$ мм.		40	см.
„ $\lambda_2 = 0,4$ „		10	„
„ $\lambda_3 = 0,2$ „		2,5	„
„ $\lambda_4 = 0,1$ „		0,6	„

Тутъ, — говоритъ Лебедевъ, — мы подходимъ къ предѣльнымъ величинамъ короткихъ акустическихъ колебаній“. Т.-е. практически такая волна не можетъ распространяться на сколько-нибудь значительное пространство, сохраняя замѣтную интенсивность.

Вопросъ объ опредѣленіи силы звука въ абсолютной мѣрѣ также получилъ за послѣдніє годы исчерпывающее разрѣшеніє.

Прежде всего, установимъ, что мы разумѣемъ подъ силой звука въ абсолютной мѣрѣ. Силой звука въ абсолютной мѣрѣ въ настоящее время обычно называютъ количество звуковой энергій, заключенное въ единицѣ объема среды, по которой распространяется звукъ или, такъ называемую, плотность звуковой энергій. Мы уже видѣли, что величина звукового давленія на отражающую стѣнку можетъ служить мѣрой плотности звуковой энергій; величина отражающей стѣнки, на которой опредѣляется давленіє, должна быть велика по сравненію съ

длиною волны, а такъ какъ длины волнъ тоновъ средней высоты уже весьма значительны (длина волны тона λ_{03} , напимѣръ, равняется приблизительно 130 сантиметрамъ), то методъ можетъ примѣняться для свободно распространяющейся волны только для весьма высокихъ тоновъ. Какъ бы то ни было методъ звукового давленія есть надежный способъ опредѣленія силы звука въ абсолютной мѣрѣ.

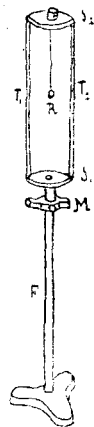
Были предложены также методы опредѣленія силы звука, основанные на превращеніи звукового колебанія въ колебаніе силы электрическаго тока. Звукъ воспринимается микрофономъ, а электрическій токъ изслѣдуется въ телефонѣ. Самымъ оригинальнымъ изъ этихъ методовъ является способъ, предложенный Гейндельгофферомъ. Звуковая волна падаетъ на тончайшій золотой листокъ, и адиабатное сжатіе и расширеніе въ волнѣ даютъ эффектъ нагрѣванія и охлажденія листка. Листокъ этотъ включенъ въ цѣпь гальваническаго элемента послѣдовательно съ первичной обмоткой Румкорфовой спирали. Вслѣдствіе измѣненія температуры листка мѣняется его электрическое сопротивление, и въ первичной обмоткѣ спирали течетъ токъ переменнѣйшей силы. Токъ, наведенный во вторичной спирали, подвергается изслѣдованію гальванометрически. Если эти методы и могутъ давать удовлетворительные результаты, то все же они малопримѣнимы вслѣдствіе сложности обстановки, которая сама можетъ быть источникомъ значительныхъ ошибокъ въ особенности при абсолютныхъ измѣреніяхъ.

Самымъ универсальнымъ и самымъ технически простымъ способомъ является, такъ называемый, дискъ Релея. Релей замѣтилъ, что пластинка, помѣщенная въ средѣ, по которой распространяется звуковая волна, отклоняется, стремясь встать перпендикулярно къ направленію распространенія волны. Вращающія силы пропорціональны силѣ звука, слѣдовательно уголъ отклоненія пластинки, подвѣшенной на крутильной нити, служить мѣрой силы звука. Объясненіе самаго явленія вращенія диска таково: изъ гидродинамики извѣстно, что если помѣстить пластинку въ потокъ жидкости подъ нѣкоторымъ угломъ къ направленію потока, то на пластинку дѣйствуютъ вращающія силы, стремящіяся поставить ее перпендикулярно къ направленію потока. Если пластинка подвѣшена на крутильной нити или на бифиллярѣ, то отклоненіе, въ предѣлахъ малыхъ угловъ, пропорціонально кинетической энергіи потока. Легко видѣть, что при измѣненіи знака потока, т.е. при переменѣ направленія потока на обратное, направленіе вращенія не измѣняется. Звуковыя колебанія можно разсматривать, какъ потокъ переменнаго направленія. Скорость частицъ измѣняется по величинѣ и по знаку. Отъ знака потока, какъ мы видѣли, направленіе вращенія диска не зависитъ, величина же отклоненія пропорціональна максимальной скорости колеблющихся частицъ. Если мы изъ отклоненія диска сумѣемъ вычислить макси-

мальную скорость, то этимъ и опредѣляется абсолютная сила звука для распространяющейся волны изъ формулы $E = \frac{\mu v^2}{2}$, гдѣ μ —плотность среды и v —максимальная скорость колеблющейся частицы. Методъ этотъ былъ предложенъ Релеемъ еще въ 1882 году, но примѣнялся только для относительныхъ измѣреній. Въ 1891 году Вальтеръ Кенигъ вывелъ формулу, при помощи которой можно было опредѣлять плотность звуковой энергіи при условіи пользованія дискомъ безконечно малой толщины, представляющемъ собою предѣльную форму эллипсоида вращения съ безконечно малой осью вращения. Методъ диска, однако, и послѣ этого долго не примѣнялся для абсолютныхъ измѣреній. Въ 1908 году авторомъ настоящаго обзора была опубликована, сдѣланная въ лабораторіи П. Н. Лебедева, работа, въ которой онъ подвергъ экспериментальному изслѣдованію приложимость формулы В. Кенига какъ къ случаю эллипсоида вращения, такъ и къ случаю пластинки (диска). Оказалось, что случаю эллипсоида формула Кенига удовлетворяетъ въ предѣлахъ ошибокъ наблюденія, въ случаѣ же диска конечной толщины, какъ и надо было ожидать, приходится дѣлать поправку, вычисленную на основаніи эмпирической формулы.

Самое изслѣдованіе производилось слѣдующимъ образомъ: эллипсоидъ вращения или дискъ, на тонкомъ стеклянномъ стержнѣ, имѣвшемъ на себѣ зеркальце, вводился въ цилиндръ, колеблющійся вмѣстѣ съ ножкой большого электромагнитнаго камертона. Амплитуда цилиндра измѣрялась непосредственно и изъ нея опредѣлялась плотность энергіи колебанія воздуха, находящагося внутри цилиндра. Съ другой стороны, та же плотность вычислялась изъ отклоненій и размѣровъ введеннаго въ цилиндръ диска или эллипсоида. Какъ уже сказано, оказалось вполне возможнымъ пользоваться дискомъ Релея для абсолютныхъ измѣреній.

Для измѣренія силы звука средней высоты, какъ, напримеръ, силы человѣческаго голоса, былъ построенъ приборъ—фонометръ слѣдующимъ образомъ: на высокой подставкѣ (см. фиг. 1) F укрѣпленъ мѣдный дискъ S , который служитъ основаніемъ двумъ стойкамъ T_1 и T_2 , несущимъ второй мѣдный дискъ. На тонкой кварцевой нити подвѣшено гальванометрическое зеркало R (діам. 3 мм.), на задней сторонѣ котораго приклеенъ маленькій магнитъ. При помощи подвижнаго магнита M можно (подымая или опуская магнитъ M) сообщить зеркалу больший или меньшій періодъ колебаній и расположить зеркало подъ нужнымъ угломъ (вращая тотъ же магнитъ около вертикальной оси). Зеркало это служитъ въ качествѣ диска Релея, при помощи его же самого измѣряется и уголъ отклоненія диска-зеркала. На разстояніи двухъ метровъ отъ диска для громкаго пѣнія



Фиг. 1.

получается плотность энергии до $2,0 \cdot 10^{-4}$ эргъ въ куб. см. Принимая, что звукъ распространяется во всѣ стороны одинаково, можно подсчитать какаѣ энергіи излучаются громко поющимъ человѣкомъ въ формѣ звуковыхъ колебаній. Для этой величины мы получаемъ приблизительно 10^{-5} лошадиной силы. Другими словами, 100.000 пѣвцовъ, одновременно громко поющихъ, излучаютъ энергію въ формѣ звуковой волны, равную энергіи двигателя силою въ одну лошадиную силу. Зная плотность энергіи, легко подсчитать какова будетъ, наприимѣръ, амплитуда частицъ для тона do , и значенія энергіи E $2,0 \cdot 10^{-4}$ эргъ въ кубич. см. силы звука, которую мы оцѣниваемъ какъ звукъ весьма большой силы. Получается приблизительно A 0,00035 см. Неожиданно малая величина амплитуды даетъ впечатлѣніе сильнаго звука.

Авторъ обзора обследовалъ также и другіе методы, а именно: методъ звукового давленія и, такъ называемый, методъ вибраціоннаго манометра Вина. Всѣ методы даютъ согласные результаты, но наиболѣе удобнымъ и вполне достаточно чувствительнымъ является все же методъ диска Релея.

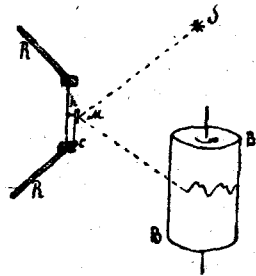
По рисунку проф. П. Н. Лебедева былъ построенъ на принципѣ диска Релея весьма удобный портативный фонометръ, въ которомъ дискъ замѣненъ длинной зеркальной пластинкой (пластинка имѣетъ 15 мм. длины, 3 мм. ширины и толщину покровнаго стекла). При помощи демфера колебанія системы сдѣланы аперіодичными. Удобство и универсальность метода характеризуется тѣмъ, что вслѣдъ за опубликованіемъ названныхъ изслѣдованій появилась цѣлая серія работъ, въ которыхъ авторы для опредѣленія силы звука пользовались именно дискомъ Релея.

Въ настоящее время вопросъ объ измѣреніи силы звука въ абсолютной мѣрѣ можно считать вполне исчерпаннымъ.

Много работъ посвящено вопросу объ изслѣдованіи тембра или состава звука. Значительное число авторовъ пользуются для этого превращеніемъ звуковаго колебанія въ колебаніе электрическаго тока и регистрируютъ уже колебанія этого послѣдняго. Звукъ и здѣсь воспринимается микрофономъ и измѣненіе силы тока записывается осциллографомъ (Дево, Шарбоннель и др.).

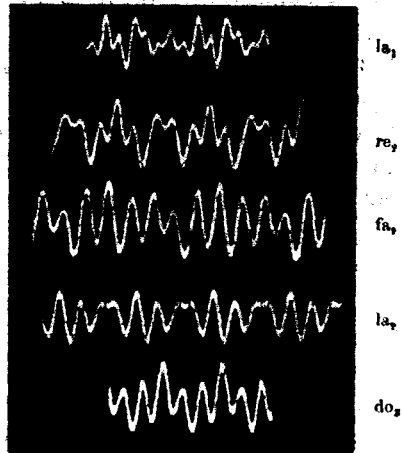
Одна изъ работъ этой серіи (Гохштеттеръ) особенно оригинальна по обстановкѣ: переменный токъ микрофона течетъ по спирали, внутри которой вложенъ брусокъ стекла, содержащаго значительное количество свинца. Оптическія свойства такого стекла мѣняются въ магнитномъ полѣ, при чемъ наблюдается появленіе двойкаго преломленія и его измѣненіе въ зависимости отъ измѣненія силы поля. Брусокъ стекла помѣщенъ между скрещенными николями. При появленіи двойкаго преломленія въ брускѣ, черезъ анализаторъ начинаетъ проходить свѣтъ и тѣмъ болѣе, чѣмъ сильнѣе токъ въ спирали.

Въ другой серіи работъ авторы пользуются способомъ фотографирования колебанія мембраны (пластинки, повторяющей звуковыя колебанія) при помощи приспособленія, предложеннаго фیزیологомъ Германомъ, позволившаго ему регистрировать звуки человѣческаго голоса. Дно рупора (см. фиг. 2) *R* представляетъ собою упругую пластинку (пробка, тонкое стекло, слюда и проч.), штифтъ *h*, приклеенный къ пластинкѣ, упирается въ зеркальце *M*, вращающееся около точки *C*. Лучъ свѣта отъ источника *S* падаетъ на зеркальце *M* и, отразившись отъ него, падаетъ на вращающійся цилиндръ *B*, на который надѣвается чувствительная пленка. Когда



Фиг. 2.

мембрана колеблется, повторяя звуковое колебаніе, упавшее на нее, зеркало вращается, и отраженный лучъ *MB* скользитъ по вращающемуся барабану, оставляя на пленкѣ фотографическую записъ, — такъ называемую, фонограмму. Полученная кривая затѣмъ подвергается анализу. Такимъ именно способомъ получены приводимыя фонограммы (см. фиг. 3), изображающія кривыя для гласной *A*, спѣтой въ рупоръ. Кривая 1) для тона *la*₁; 2) для тона *re*₂; 3) для тона *fa*₃; 4) для тона *la*₂ и 5) для тона *do*₃.



Фиг. 3.

Фонограммы человѣческаго голоса показываютъ, что кривыя съ ясно выраженнымъ періодомъ получаются только при пѣніи и медленномъ произношеніи словъ. Можно усмотрѣть изъ фонограммъ также и то, что каждая гласная характеризуется опредѣленной высотой обертономъ; высота его мало измѣняется при измѣненіи высоты основного тона. Такой обертономъ, характерный для данной гласной, носитъ названіе форманты. Еще Гельмгольцъ, изслѣдуя составъ гласныхъ при помощи набора резонаторовъ, установилъ присутствіе этихъ формантъ. Теперь это обстоятельство еще разъ подтверждается. Прокторъ Холль обнаруживаетъ такія же форманты для носовыхъ согласныхъ.

Всѣ методы регистраціи колебанія при помощи колеблющейся мембраны (какъ микрофонъ, такъ и способъ Германа) страдаютъ тѣмъ, что регистрируется собственно колебаніе мембраны, и въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ мы не можемъ быть вполне увѣрены, что мембрана въ точности повторяетъ колебанія, посылаемыя источникомъ звука. Чтобы мембрана по возможности точно воспроизводила коле-

банія, ея собственный тонъ долженъ быть высокъ по сравненію съ тѣми тонами, которые она повторяетъ.

Свободнымъ отъ указаннаго недостатка является методъ непосредственнаго фотографированія звуковыхъ колебаній, которымъ пользовались Фалей и Зудеръ. Звуковая волна, распространяющаяся отъ искрового разряда, освѣщается электрической искрой, и тѣни, получаемыя отъ неодинаковой плотности воздуха въ волнѣ, фиксируются фотографически. Методъ этотъ, интересный для весьма короткихъ и сильныхъ колебаній, распространяющихся отъ искрового разряда, не приложимъ къ тонамъ средней высоты, составомъ которыхъ мы, главнымъ образомъ, интересуемся.

Свободнымъ отъ указанныхъ недостатковъ является также методъ Эдварса. Это видоизмѣненный методъ изслѣдованія состава звука Гельмгольца. Наборъ резонаторовъ, настроенныхъ въ послѣдовательности гармоническихъ обертоновъ, но вмѣсто обычныхъ пламенъ Кенинга, по вибраціямъ которыхъ судятъ о томъ, который изъ резонаторовъ отвѣчаетъ на одинъ изъ обертоновъ основного тона, передъ отверстіемъ каждаго резонатора подвѣшено по диску Релея, и когда резонаторъ возбуждается, то соответствующій дискъ отклоняется отъ положенія равновѣсія. Такое видоизмѣненіе цѣнно въ томъ отношеніи, что по отклоненію дисковъ мы можемъ судить не только о качественномъ составѣ звука, но точно отвѣтить на вопросъ объ относительной силѣ обертоновъ даннаго тона.

Весьма большое количество работъ посвящено изслѣдованію тона различныхъ музыкальных инструментовъ и изслѣдованію колебаній отдѣльных частей инструмента. Чаше другихъ мы встрѣчаемъ имя Бартонъ, который въ сотрудничествѣ съ цѣлымъ рядомъ другихъ изслѣдователей подробнѣйшимъ образомъ обслѣдуетъ колебанія струнъ монохорда и скрипки, колебанія подставки (кобылки), тѣла инструмента и воздуха, заключеннаго внутри его. Регистрація колебаній производится фотографически и изслѣдуется зависимость формы колебанія отъ различнаго рода возбужденія колебанія струны и силы нажатія смычкомъ. Колебанія тѣла скрипки и воздуха внутри ея значительно отличаются отъ формы колебанія струны. При изслѣдованіи колебанія кобылки (Раманъ) получается на первый взглядъ странное обстоятельство, что кобылка повторяетъ вообще колебанія струны, но наибольшую амплитуду обнаруживаетъ для колебаній съ числомъ вдвое большимъ, чѣмъ основное число колебаній струны; но это обстоятельство, повидимому, легко объяснить тѣмъ, что кобылка наклоняется впередъ на наибольшій уголъ каждый разъ, когда струна наиболѣе удалена отъ положенія равновѣсія, а такихъ положеній для одного основного колебанія струны—два. Изъ работъ, посвященныхъ изслѣдованію тона скрипки, интересна работа Гевлетта, который, поль-

зуюсь методомъ Эдварса (резонаторы съ дисками Релея), старается установить составъ идеальнаго скрипичнаго звука и устанавливаетъ, если и не идеальный составъ, то, во всякомъ случаѣ, составъ звука первоклассныхъ инструментовъ.

При изслѣдованіи колебаній струнъ рояля (Берри) удается установить, что для полученія наилучшаго состава колебанія необходимо возбуждать струну ударомъ молотка въ совершенно опредѣленномъ ея мѣстѣ, а именно: на одной девятой ея длины отъ мѣста прикрѣпленія. Къ тому же результату чисто эмперическимъ путемъ пришли и фортепьянные мастера.

Для разрѣшенія общаго вопроса о причинѣ различнаго тембра у различныхъ музыкальных инструментовъ интересные результаты мы находимъ у Гольдена. Онъ изслѣдуетъ составъ звука деревянныхъ духовыхъ инструментовъ и находитъ, что каждый типъ инструментовъ характеризуется своеобразной формантой, т.-е. обертономъ опредѣленной высоты, который сопутствуетъ всѣмъ тонамъ даннаго инструмента. Такимъ образомъ, этотъ вопросъ разрѣшается такъ же, какъ вопросъ объ образованіи гласныхъ.

Къ этой же серіи работъ надо отнести и изслѣдованіе фонъ-Нюнеса, занимавшагося изученіемъ состава звука колоколовъ на Амстердамскомъ соборѣ. Авторъ устанавливаетъ зависимость высоты главнаго тона отъ способа возбужденія. При ударѣ по вогнутой сторонѣ, главный тонъ на октаву выше, чѣмъ при ударѣ по выпуклой сторонѣ колокола. Главному тону всегда сопутствуетъ большое число (до семи) обертоновъ и иногда одинъ болѣе низкій тонъ. Тотчасъ послѣ удара звучитъ всего сильнѣе первый обертонъ и только позднѣе преобладающимъ является главный тонъ.

Интересны также попытки экспериментально обслѣдовать акустическія свойства помѣщеній. Эксеръ построилъ для этой цѣли особый аппаратъ „Акустометръ“, при помощи котораго опредѣляется сила звука въ различныхъ точкахъ даннаго помѣщенія по сопротивленію, которое надо ввести въ цѣпь телефона, чтобы сдѣлать неслышимымъ опредѣленный звукъ. Въ качествѣ источника звука употреблялся выстрѣлъ изъ дѣтскаго пистолета. Въ работахъ Сабина и Маража устанавливается, что въ помѣщеніи, хорошемъ въ акустическомъ отношеніи, произведенный звукъ долженъ поддерживаться (гудѣть) опредѣленное время. Для фортепьянной игры Сабинъ устанавливаетъ это время въ 1,1 секунды, а для гласныхъ человѣческой рѣчи Маражъ даетъ время отъ 0,5 до 1,0 секунды, различное для различныхъ гласныхъ. Этотъ послѣдній результатъ имѣетъ весьма большое практическое значеніе, т. к. извѣстно, что заранѣе при постройкѣ аудиторіи или концертнаго зала очень трудно предвидѣть, какова будетъ акустика этого помѣщенія. Если залъ не удастся въ акустическомъ отношеніи,

то, регулируя время гула (помѣщеніемъ въ залѣ особыхъ резонаторовъ или, напротивъ, занавѣсей, поглощающихъ звукъ), можно, повидимому, исправить этотъ недостатокъ.

Въ заключеніе я укажу на одинъ вновь поднятый вопросъ изъ области фізіологической акустики. Это—вопросъ, почему наблюдатель можетъ не только оцѣнивать силу звука, его высоту и тембръ, но можетъ также опредѣлить то направленіе, откуда приходитъ звуковая волна. Вопросъ этотъ поднять Релеемъ и онъ же даетъ на него наиболѣе удовлетворительный отвѣтъ. Для тоновъ не слишкомъ высокихъ, повидимому, мы судимъ о направленіи распространенія звуковой волны по той разности фазъ, съ которой достигаетъ волна того и другого уха наблюдателя. Вопросъ этотъ породилъ значительную литературу, но можно думать, что если для высокихъ тоновъ можно указать и другую причину, какъ, напримѣръ, разницу въ силѣ, то для тоновъ средней высоты рѣшеніе вопроса, данное Релеемъ, является наиболѣе вѣроятнымъ.
