

STICA A-10030

Открытія Гельмгольца

ВЪ ОБЛАСТИ

# ТЕОРІИ МУЗЫКИ.

---

ПУБЛИЧНАЯ ЛЕКЦІЯ

читанная 8 ноября 1894 года

проф. Б. СРЕЗНЕВСКИМЪ.

---

---

ЮРЬЕВЪ.

Печатано въ типографіи К. Матисена.

1895.

Открытія Гельмгольца

ВЪ ОБЛАСТИ

# ТЕОРИИ МУЗЫКИ.

---

ПУБЛИЧНАЯ ЛЕКЦІЯ

читанная 8 ноября 1894 года

проф. Б. СРЕЗНЕВСКИМЪ.

---

ЮРЬЕВЪ.

Печатано въ типографіи К. Матисена.

1895.

Библотека Юрьевскаго Университета

UNIVERSITÄT

TEORIIN MÄÄRYKSI.

*Est.*



8189

43255681

Оттискъ изъ „Ученыхъ Записокъ Имп. Юрьевскаго Университета“  
1895 г., № 1.

prof. P. SPRENGELI

UNIVERSITÄT

Лекция М. В. Фролова о библиотеке Юрьевскаго Университета

1895

Прежде всего позволяю себѣ принести мою глубокую благодарность профессору В. Ф. Чижу за лестное приглашеніе принять участіе въ качествѣ лектора въ одной изъ ряда лекцій, устроенныхъ имъ въ пользу недостаточныхъ студентовъ Юрьевскаго Университета, и при томъ пожелать полного успѣха благому дѣлу, которому какъ я, такъ, надѣюсь, и всѣ присутствующіе отнесутся съ искреннимъ сочувствіемъ. Приглашеніе В. Ф. Чижана, сдѣланное 1<sup>1/2</sup> мѣсяца тому назадъ, застало меня въ воспоминаніяхъ о заслугахъ только что предъ тѣмъ скончавшагося знаменитаго натуралиста Гельмгольца. Двадцать лѣтъ тому назадъ одно изъ геніальнѣйшихъ произведеній великаго естествоиспытателя „die Lehre von den Tonempfindungen“, возбуждившее при чтеніи мой юношескій восторгъ, было одной изъ главныхъ причинъ, побудившихъ меня посвятить свои силы изученію физики. Многіе, читавшіе это произведеніе не могутъ не быть поражены новизною и интересомъ результатовъ, въ выводѣ которыхъ величественно сказывается геніальная, разносторонняя, творческая натура Гельмгольца, которому въ равной мѣрѣ поклоняются и фізіологи, и физики, и математики, и механики, и музыканты, и техники.

Во всѣхъ этихъ областяхъ знанія Гельмгольцъ стяжалъ себѣ высокую репутацію и славное имя. Нашъ университетъ въ лицѣ своихъ физиковъ не остался безучастнымъ въ раз-

работѣ ученія о звуковыхъ ощущеніяхъ, и благодаря этому нашъ физическій кабинетъ довольно богато снабженъ пособиями по акустикѣ и въ частности по музыкальной акустикѣ.

Все это побудило меня посвятить мою настоящую лекцію изложенію главнѣйшихъ результатовъ выше упомянутаго изслѣдованія о физическихъ основахъ теоріи музыки.

Мы имѣемъ здѣсь такъ называемый монохордъ или резонансовый ящикъ съ натянутой на немъ струной; струна эта поддерживается въ срединѣ особаго рода подвижной подставкой и ею можетъ быть раздѣлена на части равной или различной длины, колеблющіяся въ отдѣльности. Мы замѣчаемъ, что, когда подпорка раздѣляетъ струну на двѣ равныя части, колебанія этихъ частей, возбуждаемая бряцаніемъ (или иначе), сопровождаются слышимыми звуками совершенно одинаковыми, совершенно согласными. Если мы передвигаемъ подпорку такъ, чтобы длины частей струны, находящіяся по обѣ стороны ея, относились между собою какъ простѣйшія числа, то тоны этихъ частей, хотя не оказываются одинаковыми, однако образуютъ созвучіе довольно согласное и пріятное. Такъ, если части струнъ относятся какъ  $2:1$ , то мы получаемъ тоны, дающіе созвучіе октавы, отношеніе частей равное  $3:2$  даетъ интерваллъ квинты,  $3:4$  — интерваллъ кварты,  $4:5$  — большой терціи,  $5:6$  — малой терціи и т. д. Все это интерваллы дающіе пріятное и музыкальное созвучіе. Спрашивается, нѣтъ ли какого-нибудь соотношенія между простотой математическихъ измѣреній и эстетическимъ значеніемъ созвучія. Нѣкоторые математики давали на этотъ вопросъ отвѣтъ метафизическаго характера, въ сущности ничего необъясняющій, выражаясь, что музыка, состоящая изъ послѣдовательности музыкальныхъ созвучій, есть ничто иное, какъ бессознательное упражненіе души въ арифметикѣ.

Мы подойдемъ къ нѣкоторому объясненію созвучій или консонансовъ, вспомнивши нѣкоторыя извѣстныя основанія

Фиг. 1.

акустики. Однимъ изъ способовъ возбужденія звуковаго ощущенія можетъ служить имѣющаяся здѣсь сирена. Этотъ инструментъ состоитъ изъ двухъ дисковъ, соотвѣтственно прорѣзанныхъ по окружностямъ рядомъ отверстій (по 20 въ каждомъ дискѣ). Когда верхній кругъ вращается около своего центра, то воздухъ нагнетаемый въ отверстія нижняго кружка, проходитъ сквозь отверстія верхняго толчками. Число этихъ толчковъ можетъ быть сосчитано при помощи особаго счетчика, отмѣчающаго число оборотовъ кружка. Умножая на 20 число оборотовъ, совершившихся въ одну секунду времени, мы получаемъ обычное измѣреніе числа воздушныхъ колебаній. Пока эти колебанія происходятъ медленно, мы ощущаемъ воздушные толчки только какъ какое-то дрожаніе, но когда число ихъ достигаетъ 30, 35 въ секунду, то мы начинаемъ слышать низкій музыкальный тонъ. При увеличеніи числа колебаній, тонъ этотъ становится, какъ говорятъ музыканты, выше и выше, проходя послѣдовательно діапазоны длиннѣйшихъ органныхъ трубъ, мужскаго голоса, женскаго голоса, скрипки, пиколофлейты и, наконецъ, утрачиваетъ способность быть слышимыми при числѣ колебаній свыше 40000. Каждой клавишѣ фортепіано мы можемъ найти соотвѣтствующее число колебаній на сиренѣ, при чемъ увидимъ, что числа колебаній для музыкальныхъ интервалловъ будутъ давать простыя отношенія; мы убѣдимся также, что числа колебаній будутъ обратно пропорціональны длинамъ колеблющихся частей струны.

Фиг. 2.

Тоны возбуждаемые сиреной, слышны по всѣмъ направленіямъ отъ нея; звуковые толчки, производимые сиреной распространяются во всѣ стороны въ воздушной средѣ, средѣ коей упругость, извѣстная изъ множества физическихъ опытовъ, несомнѣнно участвуетъ въ распространеніи колебаній.

Разсмотримъ механизмъ звуковаго колебанія вдоль какой-нибудь прямой линіи, исходящей отъ источника звука. Частицы воздуха, лежащія по этой прямой линіи могутъ быть

Фиг. 3.

уподоблены упругимъ костянымъ шарикамъ, изъ которыхъ

каждый, получая боковой толчокъ, передаетъ таковой сосѣднему; толчокъ, сообщенный крайнему шарикѣ, передается имъ послѣдовательно отъ одного къ другому, что обнаруживается отскакиваніемъ послѣдняго въ рядѣ шарика. Периодическія толчки, сообщаемыя крайнему шарикѣ, очевидно будутъ производить періодическія движенія шарика на другомъ краю ряда. Въ этомъ случаѣ каждый шарикъ послѣдовательно испытываетъ сжатіе, вслѣдствіе толчка, и расширеніе вслѣдствіе внутреннихъ силъ упругости. Такія-же сжатія и расширенія, такія-же сгущенія и разрѣженія мы приписываемъ частямъ воздуха, лежащимъ вдоль линіи звуковаго луча, при этомъ мы выражаемся, что прохожденіе сгущеній и разрѣженій вдоль звуковаго луча есть ничто иное какъ движеніе волны сгущеній и разрѣженій; въ случаѣ слышимаго звука, сопровождающаго колебательное движеніе, это будетъ звуковая волна. Спрашивается, какое-же соотношеніе можно заподозрить между воздушными сгущеніями и разрѣженіями и хорошо извѣстнымъ намъ явленіемъ волны, которое мы всегда склонны приурочить къ движеніямъ на поверхности воды. Разница оказывается существенная; для того кто думаетъ, что волна на морѣ состоитъ изъ частицъ дѣйствительно бѣгущихъ въ извѣстномъ направленіи, разница эта можетъ казаться не столь значительной; но напрасно, — частицы воды не перемѣщаются вмѣстѣ съ волной, а совершаютъ колебательное движеніе вверхъ и внизъ и лишь отчасти впередъ и назадъ. Очевидно, что между колебаніемъ воды, происходящимъ поперекъ линіи распространенія, и колебаніемъ воздуха вдоль звуковаго луча, впередъ и назадъ, есть мало общаго. Постараемся сдѣлать переходъ отъ колебаній вдоль къ колебаніямъ поперекъ, попытаемся сдѣлать механическій переходъ отъ колебаній продольныхъ къ явленію волны, состоящей изъ поперечныхъ колебаній и объяснимъ такимъ образомъ схему заключающуюся въ выраженіе „волна“. Мы имѣемъ здѣсь цѣпь изъ проволочныхъ звеньевъ съ длинными отростками книзу; на концѣ каждаго отростка укрѣпленъ шарикъ, рядъ шариковъ рас-

полагается вдоль линіи, которую при достаточной натянутости цѣпи мы можемъ считать за прямую; пусть эти шарики изображаютъ частицы воздуха. Для того чтобы представить сгущеніе, мнѣ достаточно немного приподнять какую нибудь точку цѣпи, и тогда лежаліе подъ ней шарики сблизятся (тѣмъ болѣе, чѣмъ длиннѣе отростки). Немного придавивши цѣпь къ низу, я заставляю шарики разойтись, т. е. произвожу изображеніе воздушнаго разрѣженія. Каждому искривленію нашей цѣпи будетъ соотвѣтствовать измѣненіе расположенія шариковъ. Каждой формой цѣпи будетъ характеризоваться сгущеніе и разрѣженіе. Если мы дадимъ нашей цѣпи слегка волнистый видъ, то шарики обнаружатъ послѣдовательную смѣну сближеній и удаленій, соотвѣтствующихъ сгущеніямъ и разрѣженіямъ. Постараемся только не обращать вниманія на маленькія уклоненія шариковъ отъ прямой линіи; такихъ уклоненій въ рядѣ воздушныхъ частицъ, передающихъ звуковую волну, не существуетъ. Но обратимъ вниманіе на таковыя-же уклоненія цѣпи отъ ея первоначальной формы. Для того, чтобы изобразить движеніе звуковой волны, заставимъ пальцы, поддерживающіе цѣпь, скользить вдоль по ея линіи, такъ чтобы волна пробѣгала вдоль по цѣпи, и мы увидимъ, что подъ пальцами и шарики будутъ обнаруживать поступательное перемѣщеніе сгущенія вдоль прямой линіи впередъ и назадъ. Если нѣсколько рукъ будутъ поддерживать равноотстоящія точки цѣпи и скользить въ одномъ направленіи съ равной скоростью, то и сгущенія будутъ передаваться съ той-же скоростью, а для каждой пары сосѣднихъ шариковъ мы замѣтимъ періодическое повтореніе сближеній и удаленій т. е. сгущеній и разрѣженій, періодическое колебаніе. Таково движеніе воздушныхъ частицъ при прохожденіи звуковой волны. Конечно, въ природѣ нѣтъ такихъ механизмовъ, которые связываютъ между собою воздушныя частицы, какъ цѣпь связываетъ эти шарики, частицы даютъ другъ-другу толчки безъ посредства какой-бы то ни было связывающей ихъ цѣпи, между ними дѣйствуютъ только силы упругости, сущность которыхъ для насъ непостижима.

Цѣль моя только показать возможность изображать періодическое колебаніе воздушныхъ частицъ въ формѣ волны. Еще разъ оговаривалось, что выраженіе волна есть только схема.

Однако соотношеніе между звуковыми колебаніями и волной, представляемое этой цѣпью можетъ быть и далѣе развито. Если мы тряхнемъ цѣпь за одинъ конецъ, то на цѣпи получается фестонъ кверху, быстро перебѣгающій до другаго конца цѣпи. (Это еще очевиднѣе на длинномъ резино-вомъ шнуркѣ). Подъ вершиной фестона находится сгущеніе, изображаемое сближеніемъ шариковъ, и это сгущеніе также быстро перебѣгаетъ вмѣстѣ фестонами; здѣсь мы имѣемъ полную аналогію между движеніемъ волны и движеніемъ воздушнаго сгущенія. Далѣе мы видимъ, что если мы приподымаемъ цѣпь за два конца звена или въ двухъ какихъ нибудь близкихъ точкахъ, то мы получаемъ каждый разъ новую форму искривленія цѣпи, новую форму волны и соотвѣтственно съ этимъ новое размѣщеніе частицъ воздуха. И такія волны, и такія сгущенія могутъ перебѣгать вдоль длины цѣпи. Спрашивается, не замѣчается-ли и въ звуковыхъ волнахъ такое разнообразіе, какое даетъ намъ наша цѣпь; дѣйствительно оно весьма велико. Чтобы обнаружить разнообразіе звуковыхъ волнъ, мы воспользуемся приборомъ, устройствомъ котораго я обязанъ любезности и искусству М. П. Косача. Приборъ этотъ состоитъ изъ металлическаго стакана, кото-

Фиг. 5.

раго дно прорѣзано и замѣнено перепонкой изъ одного слоя животнаго пузыря. Плоскость пузыря занимаетъ вертикальное положеніе, на центръ перепонки надавливаютъ при посредствѣ кусочка гуттаперчи маленькое вертикальное-же зеркальце, придѣланное къ тоненькой горизонтальной проволочкѣ, укрѣпленной концами у краевъ отверстия стакана, эта проволока своей упругостью и прижимаетъ зеркальце къ перепонкѣ. Когда мы производимъ звуки предъ отверстіемъ стакана, то звуковыя волны, ударяясь въ перепонку, сообщаютъ ей колебательное движеніе; иначе сказать каждая точка перепонки движется въ

горизонтальной плоскости вследствие горизонтальных толчковъ сосѣднихъ частицъ воздуха. Если мы кромѣ звуковаго луча пустимъ на перепонку и свѣтовой лучъ въ видѣ тонкаго пучка, идущаго отъ электрическаго фонаря, то этотъ пучокъ, отразившись отъ зеркала, дастъ гдѣ нибудь на стѣнкѣ изображеніе кружка, которое будетъ колебаться вверхъ и внизъ при колебаніи перепонки и зеркала. Такимъ образомъ ничтожныя колебанія перепонки можно сдѣлать видимыми. Кружочекъ, остававшійся неподвижнымъ при тишинѣ, начинаетъ прыгать вверхъ и внизъ подъ вліяніемъ звуковой волны. Такъ какъ колебанія происходятъ весьма быстро, то послѣдовательныя положенія кружка сливаются въ одну сплошную вертикальную линію, и мы наблюдаемъ только размахъ колебаній, неулавливая формы волны. Чтобы наблюдать послѣднюю, постараемся растянуть отраженное изображеніе кружка по горизонтальному направленію. Для этой цѣли мы воспользуемся шестигранною зеркальною призмою, вращающеюся около своей вертикальной оси. Каждая грань зеркала вращается около вертикальной оси, какъ вращается рама въ окнѣ, и разбрасываетъ въ горизонтальной плоскости падающій на неё лучъ свѣта. Интересующій насъ пучокъ свѣта, перехваченный зеркаломъ и отброшенный на большой бѣлый щитъ (экранъ), описываетъ на послѣднемъ свѣтлую горизонтальную линію въ томъ случаѣ, когда зеркало вращается. Если въ то время, когда пучокъ свѣтъ описываетъ эту горизонтальную линію, мы сообщимъ ему вертикальное колебательное движеніе помощью звуковой волны, то вследствие послѣдняго прямая линія искривляется и принимаетъ видъ волнообразный. — Приблизимъ къ перепонкѣ звучащій камертонъ, тогда мы усматриваемъ на экранѣ главную волнистую линію, по формѣ совершенно соответствующую той кривой, которую математики называютъ синусоидой. Ударяя камертонъ сильнѣе, мы получаемъ синусоиду съ болѣе крутыми изгибами, которые по мѣрѣ затиханія камертона дѣлаются болѣе и болѣе пологими. Взявши камертонъ болѣе низко звучащій, мы получаемъ большее

разстояніе между фестонами кривыхъ, иначе сказать синусоиду съ большей длиной волны, но во всѣхъ этихъ случаяхъ мы имѣемъ дѣло съ правильной простой синусоидой. Явленіе измѣняется, если мы будемъ приводить перепонку въ движеніе звуками хотя-бы голоса. Произнося протяжно предъ отверстіемъ стакана гласныя *y, o, a, e, и*, мы замѣчаемъ на экранѣ каждый разъ новую форму волнистой линіи. Проводя смычкомъ по струнѣ скрипки вблизи аппарата, мы получаемъ опять новую форму волны. На фигурѣ № 6 изображена во первыхъ форма волны, соответствующей колебаніямъ скрипичной струны; она представляетъ собой зигзагообразную линію съ пологими подъемами и почти вертикальными спусками; во вторыхъ форма волны струны цитры, возбуждаемой бряцаніемъ; послѣдняя состоитъ изъ горизонтальной линіи съ язычками кверху и книзу, расположенными попарно.

Фиг. 6.

Одна и таже струна можетъ давать различныя формы волны, смотря по способу возбужденія колебаній; мы можемъ это демонстрировать на длинномъ резиновомъ шнуркѣ, котораго колебанія настолько медленны, что могутъ быть легко видимы. Этотъ шнурокъ, проведенный между двумя колоннами залы имѣетъ въ длину 15 метровъ и даетъ колебанія по одному въ  $1\frac{1}{2}$  секунды. Но мнѣ стоитъ сообщать нѣкоторой точкѣ его по два колебанія въ  $1\frac{1}{2}$  секунды, и шнурокъ дѣлится на двѣ половины, совершающія свои колебанія порознь, при томъ такъ, что при поднятіи одной половины, другая опускается, и наоборотъ, представляя въ крайнихъ своихъ положеніяхъ подобіе простой синусоиды. Еще ускорю колебательное движеніе, и моя струна раздѣлится на три части, далѣе на четыре, при чемъ крайнія положенія ея будутъ представлять волнистую линію, подобную синусоидѣ.

Фиг. 7.

Колебанія одной и той-же струны могутъ складываться изъ колебаній по всей длинѣ и колебаній по частямъ. Такъ середина струны, которая остается неподвижной при половинныхъ колебаніяхъ струны, можетъ обнаруживать сама пере-

мѣщенія кверху и книзу, повинуюсь колебательному движенію той-же струны по всей длинѣ. Такимъ образомъ звуковая волна, соотвѣтствующая музыкальному тону обыкновенно состоитъ изъ наложенія волнъ, которыхъ длины относятся какъ  $1 : \frac{1}{2} : \frac{1}{3} : \frac{1}{4}$  и т. д.

Гельмгольцъ показалъ, что почти во всякомъ музыкальномъ звукѣ, независимо отъ способа его образованія, волна складывается изъ таковыхъ-же дробныхъ волнъ, просоединяющихся къ главной. Присоединеніе этихъ дробныхъ волнъ по Гельмгольцу сказывается на измѣненіи оттѣнковъ звуковъ.

Пользуясь струнами рояля, мы можемъ показать, что во первыхъ дѣйствительно струна музыкальнаго инструмента можетъ давать колебанія по частямъ. Прижмемъ къ клавишу *La* соотвѣтствующую звуку съ 418 колебаніями, лежащую въ среднемъ діапазонѣ мужскаго голоса; чрезъ это демпферъ, заглушающій струну, приподыметъ и дастъ возможность струнѣ звучать; теперь ударимъ отрывистымъ ударомъ *la* лежащее октавой выше, дающее 835 колебаній въ секунду. Струна этого *la* сейчасъ-же заглохнетъ, но звукъ будетъ тянуться вслѣдствіе колебаній первой струны, возбужденныхъ резонансомъ. Стоитъ отнять палецъ отъ клавиши, демпферъ спустится, и тогда звукъ прекращается. Очевидно, что струна, дававшая звукъ мужскаго голоса, можетъ давать при извѣстныхъ условіяхъ тонъ средняго діапазона сопрано, дѣлясь на части звучащія отдѣльно, какъ звучать короткія струны. Далѣе мы на той-же струнѣ фартеніано можемъ показать, что ударъ, произведенный особымъ мягкимъ молоточкомъ по разнымъ точкамъ струны даетъ каждый разъ звукъ съ новымъ оттѣнкомъ, хотя одной и той-же высоты. Если мы ударимъ молоткомъ по срединѣ, то середина струны получитъ наибольшій розмахъ колебанія и не позволитъ образоваться ни половиннымъ, ни четвертнымъ колебаніямъ, такъ какъ при таковыхъ середина струны остается сравнительно неподвижной. Строители роялей уже давно обратили вниманіе на значеніе мѣста удара по струнѣ и нашли наиболѣе благозвучнымъ

тонъ струны возбуждаемый ударомъ на разстояніи  $\frac{1}{7}$  отъ конца; очевидно, что при такимъ ударѣ дробленіе звучащей струны на семь частей невозможно.

Гельмгольцъ обнаружилъ присутствіе высокихъ звуковъ въ сложномъ составѣ музыкальнаго тона при помощи особыхъ резонаторовъ. Здѣсь мы имѣемъ коллекцію металлическихъ шаровыхъ резонаторовъ Гельмгольца; каждый изъ нихъ при вдуваніи воздуха въ отверстіе даетъ едва слышный тонъ вполне опредѣленной высоты, тѣмъ болѣе низкій, чѣмъ резонаторъ больше. Подвигая камертонъ къ отверстию резонатора, мы замѣчаемъ каждый разъ усиленіе звука камертона, если только оба инструмента находятся въ унисонѣ; такого усиленія звука не происходитъ, если тоны инструментовъ различны; второе отверстіе резонатора позволяетъ легче замѣтить усиленіе звуковъ: стоитъ только придвинуть къ этому отверстию ухо. Слушая при помощи большаго ряда резонаторовъ какой-нибудь музыкальный звукъ, Гельмгольцъ выслушиваетъ и всѣ частные звуки, входящія въ составъ его. Эти частныя звуки носятъ названіе обертоновъ. Резонаторы позволяютъ сдѣлать анализъ звука. Лица, обладающія хорошимъ музыкальнымъ ухомъ, могутъ выслушивать обертоны и безъ помощи резонаторовъ хотя-бы въ звукѣ рояля, а еще лучше фисгармоніи. Извѣстный французскій композиторъ 18-го вѣка Рамо, слушая ночью отдаленные звуки, иногда воспринималъ первый обертономъ ранѣе основнаго звука.

Высоту обертоновъ мы можемъ угадывать при помощи особаго рода клавиатуры, которая отличается отъ обычной клавиатуры различной шириной клавишей. Эта клавиатура построена посредствомъ отложенія чиселъ колебаній отъ одного края къ другому; такъ мы видимъ, что нижнее *do* находится въ разстояніи 33 сантиметровъ отъ края; октава его, т. е. *do* дающее двойное число колебаній, расположено на двойномъ разстояніи отъ края т. е. на разстояніи 66 сантиметровъ. Интерваллъ этой октавы измѣряется слѣдовательно 33-мя сантиметрами. Вторая октава нижняго *do*, она-же октава 2-го *do*, располо-

Фиг. 8.

жена въ разстояніи  $132 = 66 \times 2 = 33 \times 4$  сантиметровъ такъ что интервалль 2-ой октавы занимаетъ на клавиатурѣ 66 сантиметровъ. Откладывая отъ края клавиатуры длины  $66 \times 2$ ,  $66 \times 3$ ,  $66 \times 4$ , мы получаемъ обертоны основнаго *do*; это будутъ *do, sol, do, mi, sol, si*  $\frac{1}{2}$ , *do* . . . . Покажемъ на опытѣ, что таковы именно будутъ обертоны *do*. Прижмемъ соотвѣтствующія клавиши на фортепіано и сообщимъ отрывистый ударъ основному низкому *do*; когда послѣдняя заглухнетъ, мы слышимъ въ рояли только аккордъ, составленный обертонами, какъ будто аккордъ удаленнаго хора.

Точно также можно возбуждать звучаніе каждаго отдѣльнаго обертона основнымъ его тономъ. Мы можемъ сдѣлать такую линейку, прикладывая которую къ клавиатурѣ, рояля мы найдемъ при соотвѣтственныхъ маркахъ всѣ обертоны. Если эти марки при любомъ положеніи линейки совпадаютъ послѣдовательно съ *do, sol, do, mi, sol, si*  $\frac{1}{2}$ , *do* . . . ., то и при всякомъ новомъ положеніи линейки они будутъ указывать на послѣдовательные обертоны. Такъ мы можемъ убѣдиться, повторяя выше указанный опытъ на фортепіано, что отрывистый ударъ по низкому *fa* возбуждаетъ въ струнахъ аккордъ изъ болѣе высокихъ *fa, do, fa, la, do, mi*  $\frac{1}{2}$ , *fa*.

Есть однако звуки совершенно лишены обертоновъ; таковы звуки камертона; анализируя ихъ при посредствѣ колеблющейся перепонки съ зеркальцемъ, мы получаемъ простую синусоидальную волнистую линію. Звукъ камертона дѣлается легко слышимымъ, если мы, ударивши его, упремъ ножкою на столъ, или деку рояля, или иной резонансовый ящикъ; звукъ этотъ отличается своей глухостью; такой-же глухой звукъ мы получаемъ, вдывая воздухъ въ отверстіе шароваго резонатора или какой-нибудь бутылки съ узкимъ горломъ; такіе-же глухіе звуки, лишены обертоновъ, даютъ закрытыя трубы церковнаго органа. Для послѣднихъ резонаторы, соотвѣтствующіе двойному, тройному и т. д. числу колебаній не откликаются. Такіе же глухіе тоны, лишены обертоновъ, даетъ піанино, пріобрѣтенное профессоромъ А. А. фонъ Этингенемъ для

физическаго кабинета; оно имѣетъ вмѣсто струнъ вертикально установленные камертоны, въ которые ударяютъ обыкновеннымъ способомъ молоточки прекраснаго механизма Блютнера; за камертонами расположенъ резонансовый ящикъ изъ цинковой жести, подраздѣленный на рядъ вертикальныхъ трубокъ, съ прямоугольнымъ сѣченіемъ, короткихъ для высокихъ тоновъ и длинныхъ для низкихъ; такимъ образомъ за каждымъ камертономъ стоитъ соотвѣтственный призматическій резонаторъ съ отверстіемъ противъ колеблющихся ножекъ. Издавая на этомъ инструментѣ рядъ аккордовъ, мы слышимъ замѣчательно тихіе, нѣжные, чистые, пріятные звуки, подобные пѣнію отдаленнаго хора въ нижнемъ діапазонѣ и напоминающіе колокольчики въ верхнихъ октавахъ. Первая прелюдія Баха (послуживая канвой для еще болѣе популярной „Méditation“ Гуно), исполняемая на этомъ инструментѣ, получаетъ какой-то совершенно небесный характеръ. Гораздо болѣе ясный, свѣтлый звукъ даютъ открытыя трубы органа, еще болѣе рѣзкіе — скрипичные звуки, обладающіе обертонами до пятнадцатаго включительно.

Приборъ изображенный на чертежѣ 10-омъ, позволяетъ Фиг. 10. разсмотрѣть намъ, какъ измѣняется форма волны при сложеніи основнаго тона съ 2-ымъ и 3-имъ обертонами.

Приборъ этотъ состоитъ изъ ряда шариковъ, повѣшенныхъ на равныхъ разстояніяхъ на нитяхъ около метра длины; почти въ одной плоскости съ нитями расположены лекала синусоидъ, которыя можно вращать около горизонтальныхъ линій, проходящихъ чрезъ самыя низкія точки синусоидъ, чрезъ ихъ долины. Если мы слегка наклонимъ такое лекало, то нитки будутъ зацѣплены шпильками, расположенномъ вдоль лекала и подтянуты кверху отдѣльными точками синусоидъ. Если шарики внизу нитей были расположены по прямой линіи, то при наклоненіи лекала, они расположатся по волнистой линіи, соотвѣтствующей очертаніямъ лекала и тѣмъ болѣе крутой, чѣмъ болѣе наклонено лекало. Если-же шарики, коими заканчиваются нити, впередъ уже расположены по синусоидѣ, то наклоненіа лекала, заставятъ ихъ расположиться

по нѣкоторой сложной синусоидѣ. Наклоняя оба лекала ниже и выше, мы получимъ синусоиду, состоящую изъ трехъ синусоидъ. На нашемъ приборѣ шарики расположены по синусоидѣ, имѣющей длину волны 60 сантиметровъ. Нижнее лекало имѣетъ длину волны 30 сантиметровъ, верхнее 20 сантиметровъ. Такимъ образомъ, если синусоида образуемая шариками соотвѣтствуетъ волнѣ основнаго тона, то лекала дають волны перваго и втораго обертоновъ. Комбинируя эти три волны, мы можемъ получить значительное разнообразіе этихъ волнъ, которое значительно увеличилось-бы, если-бы мы располагали приборомъ съ большимъ числомъ лекалъ, соотвѣтственно третьему, четвертому и дальнѣйшимъ обертонамъ. Есть математическія изслѣдованія, которыя показываютъ, что не существуетъ такого періодическаго движенія, которое нельзя было-бы разложить на простыя синусоиды. Точно такъ же нѣтъ такого сложнаго тона, который нельзя было бы разложить на синусоиды основнаго тона и его обертоновъ. Нужно только не ограничиться 2-мъ и 3-мъ обертонами, а взять большое число ихъ. Заслуга Гельмгольца между прочимъ состоитъ въ томъ, что онъ указалъ реальное значеніе математической теоремы, которая до него казалось только отвлеченною. Покажемъ на нашемъ приборѣ нѣсколько примѣровъ сложенія волнъ, при чемъ обратимъ вниманіе, что приборъ позволяетъ не только измѣнять высоту волны (иначе сказать крутизну склоновъ, размахъ, амплитуду) но и сдвигать эти синусоиды вправо и влево, располагаемъ по желанію вершины синусоиды надъ вершинами, долинами или иными точками другихъ синусоидъ. Если мы назовемъ фазою волны разстояніе вершины отъ лѣваго края рамы, то такія смѣщенія волнъ мы въ правѣ назвать относительными измѣненіями ихъ фазъ.

Первый примѣръ. Нижнее лекало при равной фазѣ съ фазою волны шариковъ, будучи наклоняемо, заставляетъ заостряться вершины волны шариковъ; напротивъ долины волны дѣлаются болѣе плоскими, такъ какъ имъ соотвѣтствуютъ

вершины волны на лекаль. Если мы измѣнимъ фазу лекала на половину волны, то долины лекала будутъ совпадать съ вершинами и долинами волны шариковъ; теперь при наклоненіи лекала будутъ заостряться долины волны шариковъ, а вершины сдѣлаются болѣе плоскими. Сообцивши лекаламъ нѣкоторую промежуточную фазу, мы сообщимъ волнѣ форму несимметричную; на примѣръ, если вершины лекала будутъ расположены немного лѣвѣе вершинъ волны шариковъ, то послѣдняя при наклоненіи лекала получитъ крутые подъемы и пологіе спуски. Эти разновидности волнъ получаются на примѣръ въ звукахъ флейты или открытыхъ органныхъ трубъ.

Примѣръ второй. Верхнее лекало, имѣющее длину волны втрое меньшую противъ волны шариковъ, даетъ возможность получить волны, соответствующія такъ называемому регистру квинтатъ на церковномъ органѣ, который даетъ отдѣльные тоны, сопровождаемая ихъ вторымъ обертономъ т. е. верхней квинтою или дуодецимою. Слабые звуки заглушенныхъ трубокъ, примѣняемыхъ для возбужденія этого обертона, могутъ быть слышимы и въ отдѣльности, но, въ соединеніи съ основными звуками, сообщаютъ послѣднимъ только эффектъ крайней рѣзкости. Здѣсь мы сталкиваемся съ искусственнымъ синтезомъ звука, имѣющимъ цѣлю полученіе особаго оттѣнка звука. Упомянутое верхнее лекало, устанавливаемое вершинами противъ вершинъ нижней волны шариковъ, будучи наклоняемо, заостряетъ какъ вершины, такъ и долины волны, такъ какъ при указанномъ положеніи его противъ долинъ волны шариковъ находятся и его долины; сдвигая лекало на 10 сантиметровъ, мы получаемъ болѣе плоскія какъ вершины, такъ и долины, но за то крутые спуски и подъемы. И здѣсь можно промежуточными положеніями лекала получить несимметричныя формы волны.

Гельмгольцъ показалъ однако, что относительныя измѣненія фазъ не сопровождаются измѣненіями оттѣнка звука, и рѣшилъ такимъ образомъ споръ между двумя знаменитыми физиками Омомъ и Зеебекомъ въ пользу перваго. Это было

достигнуто имъ помощью крайне удачныхъ опытовъ надъ синтезомъ звука, въ особенности искусственнымъ воспроизведеніемъ гласныхъ при помощи звучанія ряда камертоновъ, построенныхъ по обертонамъ и болѣе или менѣе заглушаемыхъ.

Нѣкоторое понятіе о такомъ синтезѣ звука гласныхъ мы можемъ получить и не прибѣгая къ крайне сложнымъ приспособленіямъ Гельмгольца. Приподыместъ демпферы рояля помощью правой педали и пропоемъ какую-нибудь гласную надъ струнами его; когда голосъ прекратится, мы начинаемъ слышать ту-же гласную въ струнахъ рояля. Я говорю что именно струны рояля даютъ отголосокъ звука гласной, такъ какъ стоитъ опустить демпферы, и звучаніе гласной прекращается. Положеніе демпферовъ не имѣло-бы значенія, если-бы отголосокъ происходилъ въ резонансовомъ ящикѣ инструмента помимо струнъ. (И такой отголосокъ дѣйствительно происходитъ безъ участія струнъ въ такомъ большомъ и высокомъ залѣ какъ наша aula, которой своды повторяютъ произносимые звуки въ видѣ эхо. Указываемый опытъ въ силу этого удастся преимущественно въ малыхъ комнатахъ съ плохимъ резонансомъ). Другое доказательство тому, что отголосокъ рояля зависитъ отъ звучанія струнъ, мы усмотримъ въ томъ, что отголосокъ появляется лишь тогда, когда мы поемъ гласную на тонѣ одной изъ струнъ рояля. Измѣнивши высоту звука на интервалъ въ четверть тона (выражаясь музыкальнымъ языкомъ), мы уже не получаемъ отголоска. Если-бы отголосокъ появлялся въ резонансовомъ ящикѣ, то и въ этомъ случаѣ опытъ удался-бы. Перейдемъ теперь къ опредѣленію, что такое музыкальный консонансъ. Изъ всего предыдущаго мы отмѣтимъ пока тотъ фактъ, что употребительные въ музыкѣ тоны складываются изъ основнаго тона и обертоновъ до шестаго включительно, которые даютъ между собою благозвучныя сочетанія. Но мы еще не имѣемъ здѣсь полнаго опредѣленія консонанса; чтобы его получить мы познакомимся съ рѣзкими нарушеніями благозвучія.

Проведемъ струи воздуха изъ воздушныхъ мѣховъ въ

двѣ открытыхъ органичныхъ трубы, звучащихъ одинаково; одновременное звучаніе ихъ даетъ ровный, спокойный тонъ; слегка прикроемъ пальцемъ верхнее отверстіе одной изъ трубъ и тѣмъ понизимъ издаваемый его тонъ; тогда сложный звукъ теряетъ свою ровность, мы слышимъ рѣзкія біенія, сообщающія созвучію непріятный характеръ; особую рѣзкость ощущенія Гельмгольцъ получилъ при числѣ біеній, достигающемъ 30 въ секунду, при помощи особой двойной сирены, имъ построенной. Непріятность ощущенія, зависящаго отъ біеній вполне аналогична непріятности множества другихъ прерывистыхъ ощущеній: всякому извѣстно, съ какимъ трудомъ выносить глазъ мерцающій свѣтъ, хотя-бы и слабой силы, многіе испытываютъ даже ознобъ или по крайней мѣрѣ непріятное чувство при царапаніи ногтемъ по шершавому коленкору, дающемъ прерывистый шумъ, и т. д.

Зависимость числа біеній отъ интервала и высоты созвучающихъ тоновъ мы съ удобствомъ изслѣдуемъ на фисгармоніи. Для нѣкотораго даннаго основнаго тона біенія получаютъ въ тѣмъ ббльшемъ числѣ, чѣмъ болѣе удаленъ созвучающій тонъ. Въ среднемъ діапазонѣ фисгармоніи интерваллъ полутона даетъ біеній около десяти въ секунду, интерваллъ тона — около пяти; если интерваллъ остается постояннымъ, то число увеличивается при повышеніи обоихъ тоновъ, уменьшается при ихъ пониженіи. Одинаковое число біеній можно получить для терціи въ басу и для малой секунды въ среднемъ діапазонѣ. Терція звучитъ въ басу гораздо грубѣе, чѣмъ въ дисканту, почти такъ-же грубо, какъ полутонъ. Въ музыкальной практикѣ мы можемъ найти непосредственное подтвержденіе этому: дуэты написанные для женскихъ голосовъ часто даютъ движеніе въ терціяхъ, между тѣмъ какъ для низкихъ діапазоновъ и для басовъ созвучія терціи избѣгаются; если таковыя и встрѣчаются, какъ на примѣръ въ извѣстномъ дуэтѣ басса и баритона въ „Пуританахъ“, то эти созвучія производятъ нѣкоторое странное и оригинальное впечатлѣніе, вѣроятное составлявшее особую цѣль автора. Такое различіе между употребительностью

тѣсныхъ интервалловъ въ бассу и дискантѣ объясняется тѣмъ, что эти тѣсные интерваллы въ бассу даютъ такое число біеній, которое приближается къ числу неприятныхъ біеній.

Біенія могутъ ощущаться не только между основными тонами сложныхъ звуковъ, но и между ихъ обертонами; замѣчательно, что весьма мало слышный звукъ камертона можетъ дать весьма замѣтныя біенія со столь-же незамѣтнымъ обертономъ открытой органной трубы и тѣмъ совершенно нарушить благозвучіе тона послѣдней. Мы имѣемъ здѣсь открытую органную трубу, дающую низкое *do*, и камертонъ дающій верхнюю октаву этого *do*, но нечистую, а слегка разстроенную. Стоитъ ударить камертонъ, и звукъ трубы дѣлается дрожащимъ, хотя мы не слышимъ явственно ни перваго обертона трубы, ни звука камертона, отъ созвучанія которыхъ происходятъ біенія, вслѣдствіе незначительнаго ихъ несовпаденія.

Гельмгольцъ изслѣдовалъ числа біеній между низкимъ *do* скрипки и любымъ его интервалломъ, причемъ принялъ въ соображеніе всѣ обертоны сложнаго скрипичнаго звука; изслѣдованіе это, не могущее здѣсь быть въ полности изложено, приводитъ къ результату, изображенному фигурой № 11.

Фиг. 11. Верхній извилистой край зазубренной черной площади, проведенной надъ клавиатурой, состоитъ изъ точекъ, которыхъ разстоянія отъ нижней горизонтальной линіи пропорціональны грубоности интервалловъ. Мы видимъ, что грубость интервала уменьшается для каждаго полутона нашей гаммы; она обращается въ нуль для октавы (*do*) и квинты (*sol*) и весьма мала для интервалловъ кварты и сексты (*fa* и *la*); но для интервалловъ, близкихъ къ послѣднимъ достигаетъ весьма значительной величины; такъ она весьма велика для нечистаго униссона и октавы, нѣсколько менѣе для нечистой квинты, еще менѣе для нечистой кварты. Такимъ образомъ наша кривая показываетъ, что малѣйшія нарушенія въ чистотѣ интервалловъ, признаваемыхъ нами за лучшіе консонансы, крайне замѣтны для уха, вслѣдствіе возникновенія біеній между составными частями звуковъ, дающихъ фальшивый интервалль.

Явленія созвучанія двухъ тоновъ сопровождаются обыкновенно появленіемъ нѣкотораго низкаго тона, невходящаго въ составъ ни одного изъ складывающихся звуковъ. Заставимъ звучать двѣ органнныя трубы, дающихъ *do* и *sol*. При извѣстномъ напряженіи слуха, мы замѣчаемъ, что созвучаніе этихъ трубъ сопровождается звучаніемъ низкаго *do*, лежащаго октавою ниже, чѣмъ *do* нашей трубы. Чтобы помочь уху замѣтить это *do*, мы можемъ напомнить его себѣ отрывистыми ударами по соотвѣтственной клавишѣ рояля; зная, что мы должны слышать, мы легче сосредоточимъ вниманіе. Тонъ, происходящій отъ созвучанія двухъ другихъ, называется комбинаціоннымъ; число колебаній ему соотвѣтствующее равно разности между числами колебаній созвучающихъ тоновъ; такъ въ нашемъ примѣрѣ, если *do* имѣло 132 колебанія въ секунду, то *sol* должны были соотвѣтствовать 198 колебаній въ секунду, разность этихъ чиселъ  $198 - 132 = 66$  соотвѣтствуетъ какъ разъ числу колебаній нижней октавы *do*, такъ какъ  $66 = 1\frac{1}{2}^2$ . Это замѣчаніе позволяетъ усвоить указаннымъ комбинаціоннымъ тонамъ названіе разностныхъ въ отличіе отъ болѣе слабыхъ тоновъ суммовыхъ съ числомъ колебаній равнымъ суммѣ чиселъ колебаній составляющихъ тоновъ; таковыя существуютъ дѣйствительно, какъ это показалъ Гельмгольцъ сначала математическимъ анализомъ, а за тѣмъ экспериментально (опытами съ резонаторами). Существованіе обѣихъ категорій комбинаціонныхъ тоновъ имѣетъ важное значеніе для теоріи ихъ происхожденія, и Гельмгольцъ доказываетъ, что между комбинаціонными тонами и біеніями нѣтъ ничего общаго, между тѣмъ какъ ранѣе предполагалось, что біенія обращаются въ комбинаціонный тонъ, когда число ихъ достигаетъ 33 въ секунду, т. е. низшаго числа колебаній, воспринимаемыхъ какъ звукъ. Гельмгольцъ находитъ, что на низшемъ предѣлѣ слышимыхъ звуковъ одно и то-же число колебаній (около 35 въ секунду) можетъ быть ощущаемо и въ качествѣ густаго музыкальнаго тона, и въ качествѣ наиболѣе непріятнаго прерывистаго раздраженія.

Фиг. 8.

Для того, чтобы съ удобствомъ опредѣлять комбинаціонные тоны для любого интервала, мы воспользуемся двумя неравномерными клавиатурами, изображенными на фигурѣ № 8, на которыхъ каждый миллиметръ длины соотвѣтствуетъ одному лишнему колебанію въ секунду. Чтобы узнать, какой комбинаціонный тонъ будетъ получаться при созвучаніи *do* и *sol*, мы должны будемъ отсчитать отъ лѣваго края клавиатуры такое разстояніе, которое равно разности разстояній отъ края обѣихъ рассматриваемыхъ нотъ. Всего проще это сдѣлать давши нашимъ клавиатурамъ положеніе изображенное на чертежѣ, именно совмѣстивши *do* и *sol*, тогда лѣвый край верхней клавиатуры будетъ указывать на ноту съ числомъ колебаній, равнымъ искомой разности. Это будетъ именно *Do*, лежащее на полторы октавы ниже *sol* и на одну октаву ниже взятаго *do*. Легко видѣть, что тотъ-же комбинаціонный тонъ будетъ полученъ при созвучаніи *Do* и *do*, *Sol* и *mi*, *do* и *sol*, *sol* и *do'*, если мы подвигаемся постепенно слѣва направо по клавиатурамъ. При всякомъ другомъ относительномъ положеніи двухъ клавиатуръ мы получимъ при лѣвомъ краѣ одной изъ клавиатуръ комбинаціонный тонъ, соотвѣтствующій созвучанію двухъ любыхъ совпадающихъ клавишъ нашей клавиатуры. При интервалахъ меньшихъ октавы комбинаціонный тонъ лежитъ ниже обоихъ тоновъ. При созвучаніи октавы, легко видѣть, онъ совпадаетъ съ нижнимъ тономъ, въ чемъ мы убѣдимся, сравнивая числа колебаній, хотя-бы для двухъ *do*, 66 и 132; разность ихъ = 66 т. е. числу колебаній нижняго тона. При интервалахъ болѣе октавы комбинаціонный тонъ лежитъ между созвучающими тонами. Такъ совмѣщая *Do* съ *mi*  $\flat$ , лежащимъ на октаву и  $1\frac{1}{2}$  тона выше, мы получаемъ при лѣвомъ краѣ клавиатуры клавишу *Fa*  $\sharp$ .

Существованіе комбинаціонныхъ тоновъ можетъ быть до нѣкоторой степени подтверждено возникновеніемъ осязательныхъ біеній, коль скоро комбинаціонный тонъ не совѣмъ точно совпадаетъ съ нижнимъ тономъ интерваловъ. Если мы возьмемъ двѣ закрытыхъ органныхъ трубы, дающихъ октаву, то

комбинаціонный тонъ какъ мы видѣли, будетъ совпадать съ нижнимъ тономъ октавы; если мы слегка повысимъ верхній тонъ, то тѣмъ самымъ, какъ мы видѣли, слегка повысимъ и комбинаціонный тонъ, и онъ будетъ давать біенія, какъ фальшивый унисонъ. Біенія эти нельзя объяснить біеніемъ обертоновъ, такъ какъ мы взяли для опыта закрытыя органныя трубы, не дающія обертоновъ.

Теперь мы располагаемъ всѣмъ матеріаломъ для объясненій консонансовъ.

На разныхъ примѣрахъ мы видѣли, что интерваллы октавы, квинта, кварта суть именно тѣ интерваллы, которые не даютъ непріятныхъ біеній ни между основными тонами, ни между ихъ ближайшими обертонами, ни между ихъ комбинаціонными тонами.

Остановимся однако на интерваллѣ малой терціи (на примѣръ *do, mi*  $\frac{2}{2}$ ), входящемъ въ составъ каждаго минорнаго трезвучія или аккорда. Такъ какъ 4-й обертонъ есть большая терція (въ нашемъ примѣрѣ чистое *mi*), то имѣющіяся малая и большая терція, дающія непріятный интерваллъ полутона, неизбежно нарушаютъ благозвучіе аккорда и сообщаютъ ему нѣкоторый болѣзненный характеръ, обуславливающій повидимому примѣненіе минорныхъ аккордовъ при музыкальномъ изображеніи грустныхъ, тяжелыхъ настроеній. Неблагозвучіе интервала малой терціи, однако, настолько сознавалось прежними музыкантами, что даже Бахъ (въ XVIII столѣтіи), произведенія котораго мы считаемъ и понынѣ недосягаемымъ образцомъ полифонической музыки, соблюдающей полную самостоятельность голосовъ, и съ наслажденіемъ слушаемъ, Бахъ не вполне примирился съ минорнымъ аккордомъ и заканчивалъ свои минорныя произведенія разрѣшеніемъ въ мажорный аккордъ той-же тоники. Только такимъ образомъ онъ получалъ успокоительное окончаніе; возьмемъ для примѣра хотя-бы 2-ю фугу (*fa* минеръ) или 8-ю прелюдію (*mi*  $\frac{2}{2}$  минеръ) изъ его „Wohltemperirtes Clavier“.

Разбирая комбинаціонные тоны различныхъ трехголосныхъ

и четырехголосныхъ аккордовъ, Гельмгольцъ указалъ такія сочетанія, при которыхъ получается наименьшее число неприятныхъ біеній. Фигура 12 представляетъ собою нотное изображеніе этихъ благозвучнѣйшихъ аккордовъ. Четвертныя ноты приписанныя къ минорнымъ аккордамъ изображаютъ комбинаціонные тоны, которые, какъ легко видѣть, неизбежно вносятъ нѣкоторую фальшь въ аккордъ. Замѣчательно, что въ сочиненіяхъ нѣкоторыхъ классическихъ композиторовъ, Гельмгольцъ находилъ по преимуществу эти самые благозвучнѣйшіе аккорды; такъ на примѣръ въ сочиненіяхъ Палестрины знаменитаго преобразователя католическаго духовнаго пѣнія въ XVII вѣкѣ.

Для объясненія состава гаммъ, примѣняемыхъ для мелодическихъ слѣдованій, Гельмгольцъ вводитъ понятіе о сродствѣ звуковъ, находя, что мелодіи складываются изъ тѣхъ-же тоновъ, которые входятъ въ составъ аккордовъ, но обобщаетъ это положеніе, включая въ составъ гаммъ всѣ тоны сродные въ первой степени т. е., имѣющіе общіе обертоны. Отысканіе тоновъ первой степени весьма облегчается линейками съ марками, соответствующими обертонамъ, подобными той, которая изображена на фигурѣ 9. Прикладывая двѣ такихъ линейки къ равномѣрной клавиатурѣ при всевозможныхъ совпаденіяхъ марокъ обертоновъ, мы будемъ получать при маркахъ основныхъ тоновъ тоны сродные въ первой степени. Такъ на примѣръ прикладывая марку основнаго тона къ *do*, и совмѣщая съ маркой 5-го обертона ея марку 4-го обертона другой линейки, мы получимъ подъ маркой основнаго тона послѣдней *mi*  $\frac{1}{2}$ , сродное въ первой степени съ *do*. Въ слѣдующей таблицѣ сведены полученные такимъ образомъ всѣ тоны сродные въ первой степени съ *do* въ предѣлахъ одной октавы кверху и одной октавы книзу.

Обертоны интервала.	Обертоны топки.					
	1	2	3	4	5	6
1	<i>do</i>	<i>do'</i>				
2	<i>Do</i>	<i>do</i>	<i>sol</i>	<i>do'</i>		
3		<i>Sol</i>	<i>do</i>	<i>fa</i>	<i>la</i>	<i>do'</i>
4		<i>Do</i>	<i>Fa</i>	<i>do</i>	<i>mi</i>	<i>sol</i>
5			<i>Mi</i> ♯	<i>La</i> ♯	<i>do</i>	<i>mi</i> ♯
6			<i>Do</i>	<i>Fa</i>	<i>La</i>	<i>do</i>

Между этими сродными тонами встрѣчаются тоны, составляющіе интервалъ полутона, — таковой интервалъ для дѣвственнаго уха первобытныхъ народовъ одаренныхъ музыкальнымъ слухомъ казался слишкомъ грубымъ, и потому при составленіи гаммъ пользовались только ближайшими сродными тонами, отбрасывая тѣ которые вводятъ въ гамму интервалъ полутона, а также отбрасывая и дальнѣйшіе сродные. Такъ получились гаммы въ

- 1) восходящей октавъ *do, V fa, sol, la, do'*
- 2) нисходящей октавъ *Do, Mi ♯, Fa, Sol, V do*.

Остающіеся большіе промежутки отмѣченные знакомъ *V* заполнились тонами имѣющими болѣе отдаленное сродство, и такъ получились гаммы

- 1) *do, re, fa, sol, la, do'* (безъ терціи и септими)
- 2) *Do, Mi ♯, Fa, Sol, Si ♯, do* (безъ секунды и сексты).

Приведемъ примѣры мелодій, составленныхъ по этимъ пятитоннымъ гаммамъ.

Чертежъ 13 представляетъ нотное изображеніе китайской мелодіи, построенной на гаммѣ безъ секунды и сексты, и шотландской мелодіи на гаммѣ безъ терціи и септими. Фиг. 13.

Транспонируя вышеозначенныя гаммы, можно получить гаммы

- 1) *do ♯, re ♯, fa ♯, sol ♯, la ♯, do ♯*
- 2) *re ♯, fa ♯, sol ♯, la ♯, do ♯, re ♯*

играющіяся на черныхъ клавишахъ рояля. Любители шотландскихъ пѣсень знаютъ, что, фантазируя на черненькихъ клавишахъ, они легко сочиняютъ мелодіи съ шотландскимъ характеромъ.

Если мы изобразимъ число колебаній тоники цифрой 2, то для вышеозначенныхъ гаммъ мы получимъ слѣдующіе ряды чиселъ колебаній отдѣльныхъ ступеней.

$$2, \frac{9}{4}, \frac{8}{3}, 3, \frac{10}{3}, 4 \dots\dots 1)$$

$$1, \frac{6}{5}, \frac{4}{3}, \frac{3}{2}, \frac{16}{9}, 2 \dots\dots 2)$$

Звуки рояля, вслѣдствіе особенности его настройки не представляютъ такихъ простыхъ отношеній тоновъ. На рояли выполнена бываетъ только чистота октавъ, а интерваллъ каждой октавы раздѣляется на двѣнадцать равныхъ интервалловъ, откуда строй фортепіано получилъ названіе равномерной темперациі. При такомъ строѣ число колебаній для каждой клавиши превышаетъ въ  $n$  разъ число колебаній непосредственно предшествующей, гдѣ  $n$  есть число немного большее единицы, именно 1.0595; интерваллу секунды соотвѣтствуетъ отношеніе  $n^2 = 1.1225$ , интерваллу малой терціи  $n^3 = 1.1892$ , интерваллу большой терціи  $n^4 = 1.2599$ , интерваллу квинты  $n^7 = 1.4983$ . Мы видимъ, что интерваллъ полученной такимъ образомъ терціи не равенъ интерваллу  $\frac{4}{3} = 1.25$ , который мы считаемъ за интерваллъ консонирующей или натуральной терціи, интерваллъ квинты не равенъ интерваллу чистой квинты  $\frac{3}{2} = 1.5$ . Въ особенности замѣтно несовпаденіе интервалловъ для терціи и сексты. Въ этомъ всего легче убѣдиться, издавая указанные созвучія на фисгармоніи; выслушивая продолжительные звуки послѣдней, мы легко замѣчаемъ комбинаціонные тоны, составляющіе рѣзкій доссонансъ съ тонами взятаго созвучія и даже способные обусловить непріятное раздраженіе уха при продолжительномъ выдерживаніи указанныхъ простыхъ интервалловъ. Изъ за этихъ фальшивыхъ комбинаціонныхъ тоновъ многіе музыканты избѣгаютъ игры на фисгармоніи. Ихъ можно заглушить только полнзвучными аккордами, которыхъ составныя части скрывали-бы комбина-

ціонные тоны къ нимъ близкіе. Указанная фальшь въ настройкѣ рояля и фисгармоніи, зависящая отъ способа построения клавиатуры, раздѣленной всего на 12 интервалловъ въ октавѣ, переходитъ по необходимости и во всю современную инструментальную музыку. Эта фальшь въѣдается въ плоть и кровь заурядныхъ музыкантовъ, которымъ кажется дикимъ какой-нибудь иной способъ дѣленія октавы, чѣмъ примѣняемый на фортепіано, которые въ своемъ слухѣ не находятъ никакого основанія для различія *do*  $\sharp$  и *re*  $\flat$  или т. п., и усваиваютъ эту разницу только какъ результатъ того, что *magister dixit*. Но, выслушивая игру такого хорошаго музыканта, какъ знаменитый скрипачъ Іоахимъ, Гельмгольцъ замѣтилъ, что упомянутый артистъ, издавая на своей скрипкѣ терціи и сексты, повиновался требованіямъ чистаго слуха, неизвращеннаго равномерной настройкой клавишныхъ инструментовъ; тоже было замѣчено и относительно многихъ пѣвцовъ, которые свободны въ выборѣ интервалловъ, какъ и виртуозы смычковыхъ инструментовъ.

Гельмгольцу, равно какъ и другимъ теоретикамъ, принадлежатъ попытки устройства клавишныхъ инструментовъ, позволяющихъ извлекать чистые интерваллы. Въ нашемъ распоряженіи имѣется фисгармонія, построенная Антономъ Аппуномъ въ Ганау по указаніямъ проф. А. А. фонъ Эттингена.

Объясняя этотъ инструментъ, я однако долженъ оговориться, что старый мастеръ причинилъ большое неудовольствіе своимъ непослушаніемъ автору проекта и самъ призналъ свое произведеніе подлежащимъ передѣлкѣ, но за смертью не привелъ въ исполненіе своего обѣщанія. Одинъ изъ главнѣйшихъ недостатковъ инструмента состоитъ въ томъ, что язычки сдѣланы латунные, а не нейзильберовые и потому не даютъ такого чистаго тона, какой мы слышимъ на инструментахъ Дебэна, Шидмайера, Эстея и другихъ. Это тѣмъ болѣе жаль, что инструментъ предназначенъ для того, чтобы показать благозвучіе чистыхъ интервалловъ. Тѣмъ не менѣе онъ до

нѣкоторой степени удовлетворяетъ своей цѣли, такъ какъ сравнительное благозвучіе чистыхъ интервалловъ на немъ выдвинуто въ достаточной степени, и каждый по ошибкѣ взятый нечистый интерваллъ производитъ явно непріятное впечатлѣніе.

Диапазонъ инструмента составляетъ  $4\frac{1}{2}$  октавы отъ *do* до *fa*, и каждая октава раздѣлена на 53 полутона; соотвѣтственныя клавиши расположены на пяти клавиатурахъ, или мануаляхъ лежащихъ въ видѣ лѣстницы одна надъ другой (см. фиг. 14). Если мы беремъ *do* послѣдовательно на всѣхъ клавиатурахъ начиная съ нижней, то мы подвигаемся съ каждой новой нотой на  $\frac{1}{5}$  полутона кверху и *do* верхняго мануаля находится почти въ созвучіи съ *do*  $\sharp$  нижняго. Нѣкоторыя клавиши верхняго мануаля дѣйствительно находятся въ полномъ созвучіи съ клавишами нижняго, именно:

на верхнемъ *si* *fa*  $\sharp$  *do*  $\sharp$  *re*  $\sharp$  *la*  $\sharp$  *sol*  $\sharp$  и  
 на нижнемъ *do* *sol* *re* *mi* *si* *la*

Остальныя пять клавишъ октавы отличаются на дробь полутона на верхнемъ и нижнемъ мануаляхъ. Такимъ образомъ на протяженіи каждой октавы инструментъ даетъ возможность извлекать 53 послѣдовательныхъ звука; иначе сказать октава гармоніума раздѣлена на 53 интервала. Способъ настройки инструмента слѣдующій; на нижней октавѣ берется за основаніе нота *Fa*; ходы двумя чистыми квинтами вверхъ даютъ *do* и *sol*; спускаясь на чистую октаву внизъ, мы получаемъ *Sol*, составляющее секунду къ основному *Fa*. Интерваллъ этой секунды по способу полученія равняется  $\frac{1}{2} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{3}{2} = \frac{9}{8}$  т. е. равенъ интерваллу натуральной секунды. Такимъ же ходомъ кверху на двѣ квинты и на одну октаву книзу, мы получаемъ ноты *re*, *la* и *La*. Послѣдняя составляетъ терцію къ основному *Fa*; число колебаній ея равняется какъ видно изъ способа полученія  $\frac{9}{8} \cdot \frac{9}{8} = \frac{81}{64}$ , слѣдовательно не равно числу колебаній натуральной терціи, составляющему  $\frac{5}{4} = \frac{80}{64}$ . Полученная нами терція чрезмѣрно высока и носитъ названіе Пифагоровой терціи, такъ какъ такимъ образомъ получалась терція на лирѣ

древнихъ Грековъ по указаніямъ Пиеагора. Повтореніемъ подобныхъ ходовъ на двѣ квинты вверхъ и на одну октаву внизъ, мы получаемъ и остальные ноты октавы нижняго мануала до *Si*  $\flat$  включительно, по которымъ строятся ноты и прочихъ октавъ нижняго мануала. Достигнутая нами при настройкѣ *si*  $\flat$  уже не даетъ чистой квинты съ основнымъ *fa*; по этому *si*  $\flat$  мы строимъ, какъ чистую квинту, *fa* на второмъ мануалѣ. Это *fa* будетъ нѣсколько выше основнаго *fa* на нижнемъ мануалѣ и разница составитъ  $\frac{1}{2} : (\frac{9}{8})^6 = 1.0136$ . Отъ полученнаго на второмъ мануалѣ *fa* мы строимъ всѣ ноты точно также, какъ и на первомъ. Доходя до *si*  $\flat$ , мы откладываемъ чистую квинту *fa* на третьемъ мануалѣ и т. д. Такимъ образомъ инструментъ позволяетъ извлекать чистыя квинты обычнымъ способомъ на каждомъ отдѣльномъ мануалѣ для всѣхъ нотъ кромѣ *si*  $\flat$ . Но большія терціи (пиеагоровы), взятыя на одномъ мануалѣ звучать крайне непріятно; посмотримъ, какъ найти чистую терцію. Если мы отъ какого нибудь тона, котораго число колебаній принимаемъ за единицу, отложимъ восемь квинтъ внизъ, то получимъ ноту съ числомъ колебаній равнымъ  $(\frac{2}{3})^8$ ; взявши отъ нея пятую октаву вверхъ мы получимъ ноту вблизи исходной ноты съ числомъ колебаній равномъ  $(\frac{2}{3})^8 \cdot 2^5$  т. е. приближающееся къ  $\frac{5}{4}$  съ такой точностью, которая превосходитъ точность нашего ощущенія консонансовъ; полученная нота будетъ чистой терціей исходной ноты. Такой способъ полученія чистой терціи при настройкѣ былъ еще въ XIII столѣтіи извѣстенъ Арабамъ. Если мы, на примѣръ, отъ нѣкотораго *do* на нашей фисгармоніи отложимъ 8 чистыхъ квинтъ книзу и подыдемся на пять октавъ кверху, то мы получимъ *mi*, составляющее чистую терцію отъ *do*, но это *mi* будетъ лежать не на томъ-же мануалѣ какъ *do*, такъ какъ нисходя чистыми квинтами отъ *do* внизъ, мы лишь первую квинту *fa* получимъ на томъ-же мануалѣ, а для послѣдующей квинты *si*  $\flat$  должны будемъ перейти на нижній мануаль. Мы видимъ отсюда, что натуральную большую терцію мы должны брать на томъ мануалѣ,

который лежит ступеню ниже. Но это правило имѣеть мѣсто не для всѣхъ нотъ, а только для *fa do sol re la mi si fa*  $\sharp$ , для прочихъ-же нотъ *re*  $\flat$ , *la*  $\flat$  *mi*  $\flat$  *si*  $\flat$  большая терція получается на томъ-же мануалѣ (въ этомъ различіи заключается погрѣшность допущеннаго Аппуномъ искаженія плана конструкціи). Что касается получения малой терціи, коей интервалль равенъ  $\frac{6}{5}$ , то таковая получается для даннаго тона на ближайшемъ верхнемъ мануалѣ. Это ясно уже изъ способа произведенія какого-нибудь трезвучія, хотя-бы мажорнаго, напримѣръ *do—mi—sol*; ясно, что это трезвучіе состоитъ изъ двухъ терцій, большой *do—mi* съ интервалломъ въ  $\frac{5}{4}$  и малой *mi—sol* съ интервалломъ  $\frac{6}{5}$  (такъ какъ перемножая эти двѣ дроби, мы получаемъ  $\frac{6}{5} \cdot \frac{5}{4} = \frac{30}{20} = \frac{3}{2}$  т. е. интервалль чистой квинты). Такъ какъ для получения этого трезвучія мы беремъ *do* и *sol* на одномъ мануалѣ, а *mi* на другомъ мануалѣ, лежащемъ пониже, то ясно, что для *mi* мы беремъ малую терцію *sol* на верхнемъ мануалѣ. Тѣ-же самыя правила легко послужать для отысканія натуральныхъ секстъ малыхъ и большихъ; стоитъ только замѣтить, что большая секста составляетъ октаву малой терціи, взятой внизъ, такъ какъ  $\frac{5}{6} \cdot 2 = \frac{5}{3}$ , и малая секста составляетъ октаву большой терціи взятой внизъ, такъ какъ  $\frac{4}{5} \cdot 2 = \frac{8}{5}$ . Какъ случайное исключеніе можно указать тонъ *la*  $\flat$  мажоръ, для котораго чистые интерваллы *re*  $\flat$ —*fa*—*la*  $\flat$  — *do*—*mi*  $\flat$ —*sol*—*si*  $\flat$  лежатъ всѣ на одномъ мануалѣ. Для новичка можно рекомендовать играть на фисгармоніи фонъ Эттингена только въ тонахъ діэзныхъ, съ тониками на бѣлыхъ клавишахъ, для которыхъ техника одна и та-же. Многие, кому случалось играть на фисгармоніяхъ, позволяющихъ извлекать натуральные интерваллы, отзываются съ восторгомъ о полученномъ ими впечатлѣніи чистоты созвучій.

Мы видѣли, что въ области основъ музыки Гельмгольцемъ добыто много данныхъ для уразумѣнія ихъ естествен-

ности и рациональности. Послѣ физическаго объясненія общихъ основъ гармоніи и голосоведенія слѣдовало-бы перейти къ болѣе художественнымъ частямъ теоріи музыки, къ ученію о ритмѣ, о формахъ композиціи, о средствахъ музыкальнаго выраженія. Здѣсь начинается интереснѣйшая часть музыкальной эстетики, и научное изслѣдованіе ея можетъ казаться крайне заманчивымъ. Но естествоиспытатель наталкивается здѣсь на психологическіе мотивы, выводящіе его изъ сферы современнаго естествознанія, современнаго, я говорю, т. к. въ область психологіи натуралисты нынѣ только начинаютъ дѣлать шаги. Однако считая себя внѣ естествознанія лишь диллетантомъ, Гельмгольцъ отказывается отъ дальнѣйшаго изслѣдованія. Но посмотримъ какими, можно сказать, идеалистическими выраженіями характеризуетъ этотъ строгій мыслитель-натуралистъ, каковаго мы привыкли считать и матеріалистомъ, дальнѣйшее содержаніе музыки и вообще работу художника, его вдохновеніе:

„Нельзя болѣе сомнѣваться, что прекрасное подлежитъ законамъ и правиламъ, зависящимъ отъ природы человѣческаго разума. Но если эти правила и законы могутъ служить основаніемъ при критическомъ разборѣ, то нельзя не замѣтить съ удивленіемъ, что они не сознаются ни художниками при созданіи или исполненіи произведеній искусства, ни наслаждающимися ими зрителями и слушателями. Художественное произведеніе должно казаться произвольнымъ твореніемъ художника. Такъ это было, такъ оно будетъ, какъ-бы ясно ни сознавалась цѣль художника произведенія. Художникъ долженъ создавать свои образы слѣдуя фантазіи, подчиняясь закону и одушевляясь извѣстною цѣлью, но не отдавая себѣ во всемъ этомъ отчета. Произведеніе, выработанное однимъ разсудкомъ, мы не признаемъ за художественное произведеніе, какъ-бы оно близко ни подходило къ цѣли. „Чувствуешь намѣреніе и теряешь настроеніе“, говоритъ Гёте . . . . Напротивъ тамъ, гдѣ мы воспринимаемъ слѣды законности, связи и порядка, не будучи въ состояніи вполнѣ обнять законность и планъ цѣлаго, художественное произведеніе вселяетъ въ насъ чувство выс-

шаго духа, которое объемять гораздо болѣе того, что мы можемъ обнять, и котораго предѣлы мы замѣтить не можемъ. Вспоминая слова Духа къ Фаусту:

Du gleichst dem Geist den Du begreifst,

мы чувствуемъ тѣ духовныя силы которыя работали въ художникѣ и которыя оставляютъ далеко за собою наше сознательное мышленіе; мы не можемъ представить себѣ громадность времени, труда и размышленія, нужныхъ для того, чтобы достигнуть сознательнымъ мышленіемъ той-же степени порядка, связи и равновѣсія частей и всѣхъ внутреннихъ отношеній, которыя художникъ передалъ, руководимый своимъ вдохновеннымъ чувствомъ и вкусомъ, и которыя мы въ состояніи оцѣнить и постичь нашимъ собственнымъ вкусомъ и чувствомъ за долго до того, какъ приступимъ къ холодному анализу.

Очевидно, на этомъ видѣтся то высокое уваженіе, которое мы питаемъ къ художнику и къ его произведенію. Мы почитаемъ въ артистѣ искру божественной творческой силы, которая выходитъ изъ предѣловъ нашего постигающаго и сознающаго мышленія“.

Оглядываясь на результаты своей плодотворной 70-лѣтней жизни, въ юбилейной рѣчи Гельмгольцъ признается, что его холодная гордость, которую ему должны были внушать его поразительныя открытія, смѣлыя и удачныя сопоставленія, эта „гордость значительно принижалась отъ сознанія, что рѣшеніе задачъ почти всегда удавалось ему, послѣ долгаго блужданія по сторонамъ, рядомъ счастливыхъ проблесковъ мысли. Что-же мы скажемъ объ изслѣдователѣ или художникѣ, котораго часто посѣщаютъ эти счастливыя вдохновенныя идеи; его признаютъ гениальнымъ человѣкомъ, благодѣтелемъ человѣчества. Но кто сочтетъ и взвѣситъ это молніи ума? кто съумѣетъ прослѣдить таинственные пути сцѣпляющихся представлений, тѣхъ мыслей, которыя невѣдомо для насъ, помимо сознанія бродятъ ночью въ тайникахъ человѣческаго духа. Эти счастливыя наитія нерѣдко вторгаются въ голову такъ тихо, что не сразу замѣтишь ихъ значеніе; иной разъ

только случайность укажетъ въ послѣдствіи, какъ и когда они пришли; а не то — мысль въ головѣ, а откуда она — не знаешь самъ. Въ другихъ случаяхъ мысль осѣняетъ мозгъ внезапно, явно, какъ вдохновеніе“.

Это все слова знаменитаго натуралиста. Ставить-ли этотъ геніальный умъ отвѣтъ на загадки о работѣ его великаго ума, на вопросъ о вдохновеніи? Нѣтъ, этотъ отвѣтъ ушелъ въ могилу вмѣстѣ съ человѣкомъ, и долго нужно будетъ ждать появленія художника — изслѣдователя, который будетъ обладать разносторонностью, безпристрастностью и глубиною, нужною для наблюденія въ самомъ себѣ вдохновенныхъ проблесковъ генія.

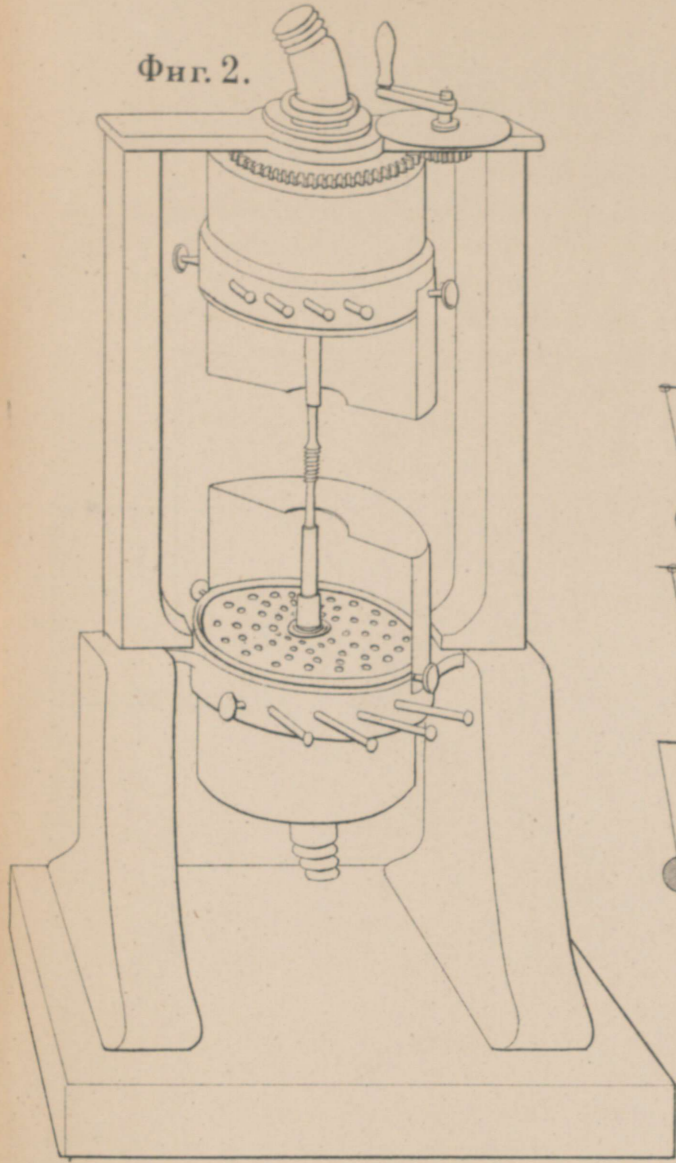
Музыка, имѣющая своимъ содержаніемъ нѣчто неосязаемое, неконкретное, нереальное, въ отношеніи цѣлей своихъ рѣзко отличается отъ другихъ искусствъ; слово имѣетъ вполне определенное значеніе, описываетъ существующее, проповѣдуетъ желательное; живопись и скульптура копируютъ дѣйствительность; но въ содержаніи этихъ реальныхъ искусствъ нѣтъ того неосязаемаго, что составляетъ въ музыкѣ не только прелесть, но все существо музыки, все ея содержаніе. Многіе желаютъ связать музыку съ реальною дѣйствительностью; много громаднхъ шаговъ сдѣлано въ этомъ направленіи, начиная съ древности, и во всѣхъ странахъ свѣта. Балетъ, романсъ, опера, програмная музыка симфонистовъ нашего времени, все это формы, въ которыхъ отлилось это стремленіе къ конкретному содержанію музыки. И какъ расширена этимъ власть и распространеніе музыки, наслажденіе ея! Кто изъ насъ не выносилъ изъ театра въ душѣ звуковъ послѣдняго дуэта изъ Аиды, дуэта умирающихъ въ подземельи любовниковъ, звуковъ полныхъ какой то раздирающей, томительной нѣги, и несбывшейся мечты счастья подъ лучами солнца, подъ синевою неба, среди весеннихъ цвѣтовъ, подъ покровомъ общечеловѣческой христіанской любви! Все это нами прочувствовано.

Да, но все это популяризація музыки. На всемъ этомъ

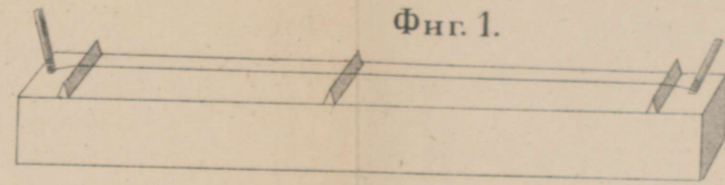
мы только учимся постигать собственное содержаніе, исключительное достояніе музыки. И когда мы его улавливаемъ, какъ улавливаетъ и ящикъ разливающейся своимъ теноромъ на необозримомъ пространствѣ безмолвной степи, и арабъ поющій свои причудливыя фіоритуры на 17 тонахъ своей октавы, тогда мы постигаемъ смыслъ безмысленнаго соединенія звуковъ, постигаемъ, что музыка есть особая часть міровозрѣнія, удѣлъ доступный и простолюдину, и великому естествоиспытателю.

## Б. Срезневскій.

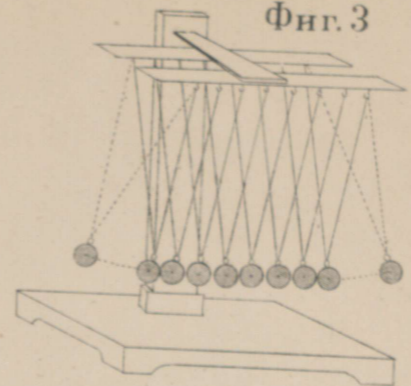
Фиг. 2.



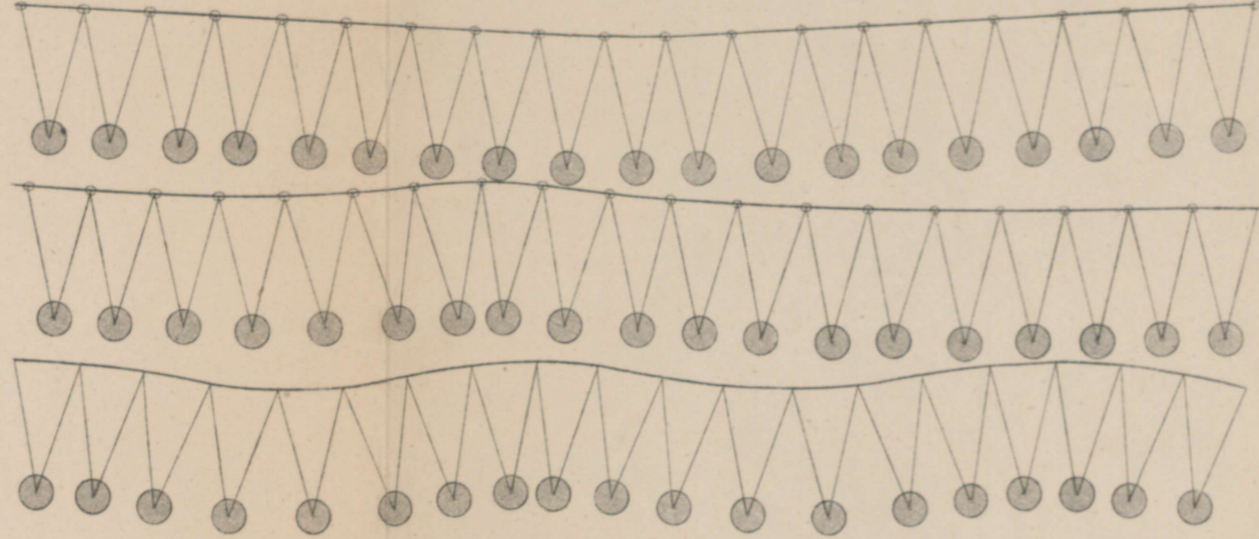
Фиг. 1.



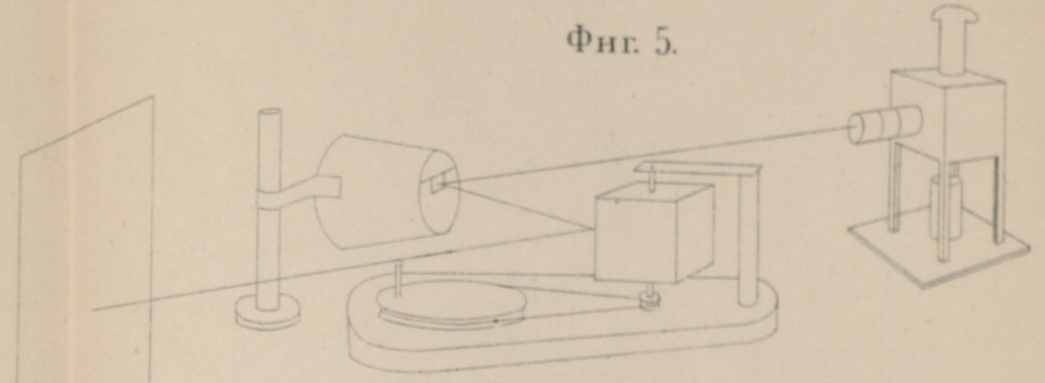
Фиг. 3.



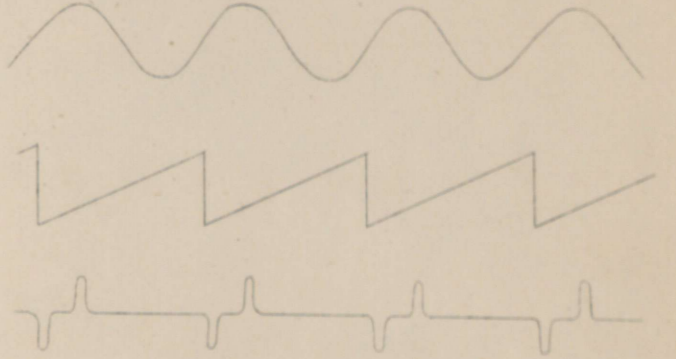
Фиг. 4.



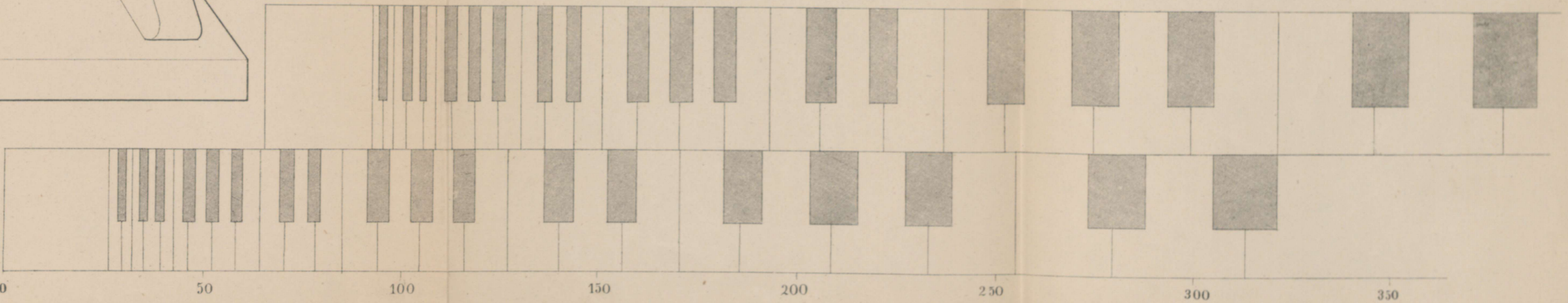
Фиг. 5.



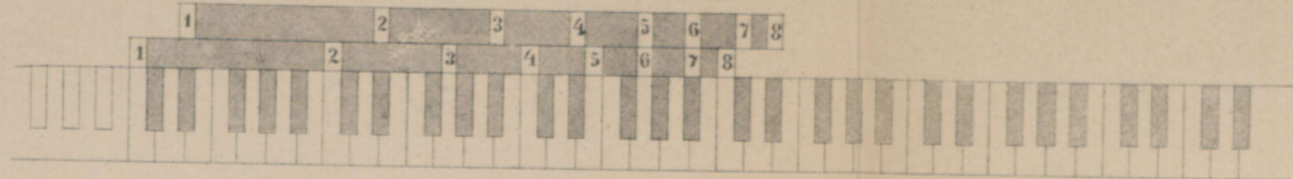
Фиг. 6.



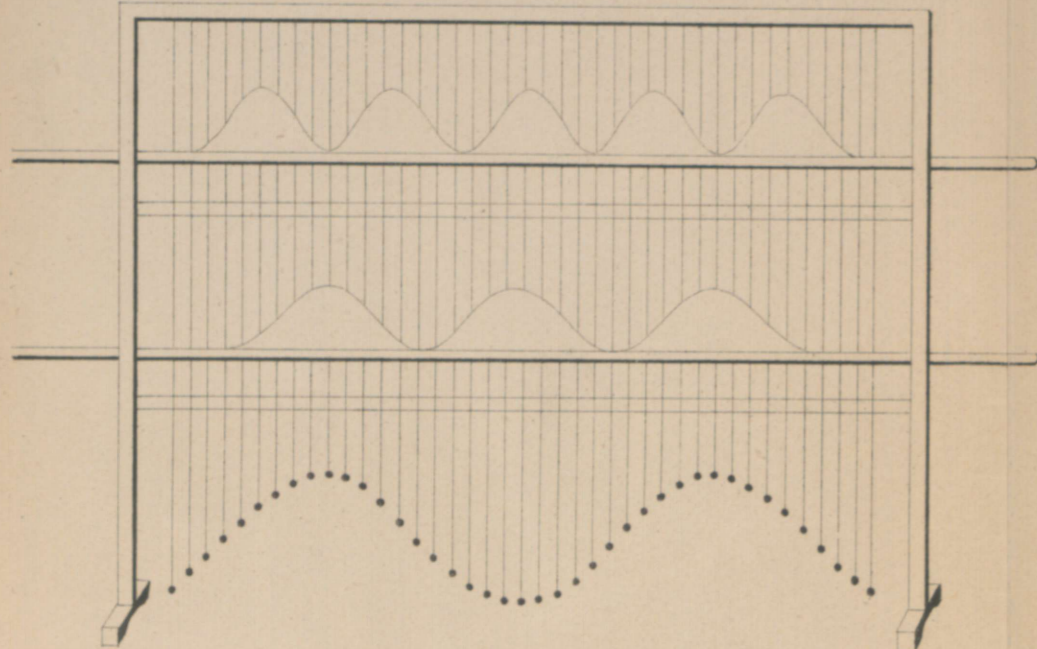
Фиг. 8.



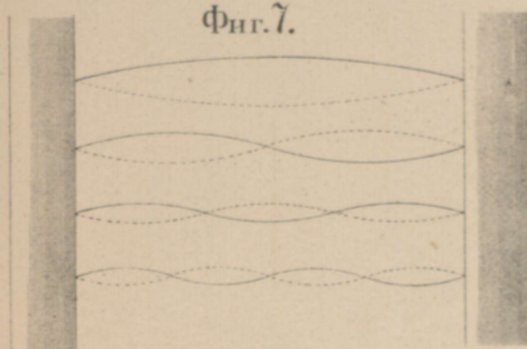
Фиг. 9.



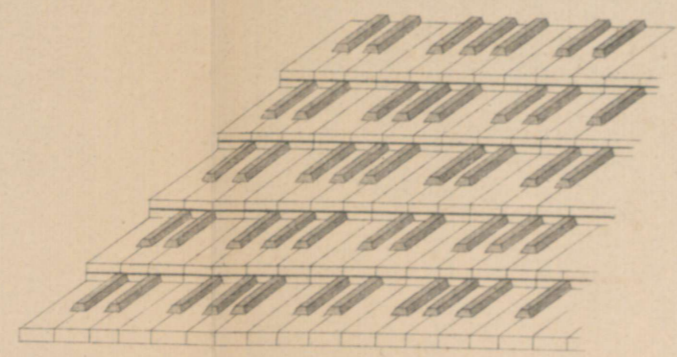
Фиг. 10.



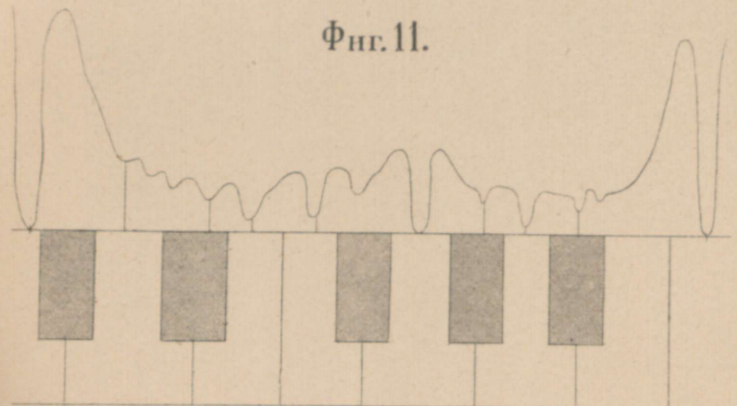
Фиг. 7.



Фиг. 14.

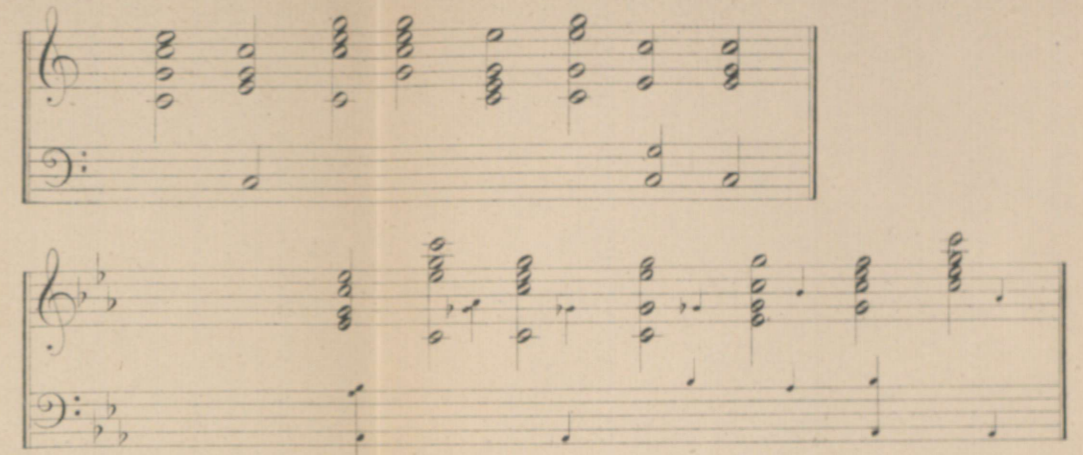


Фиг. 11.



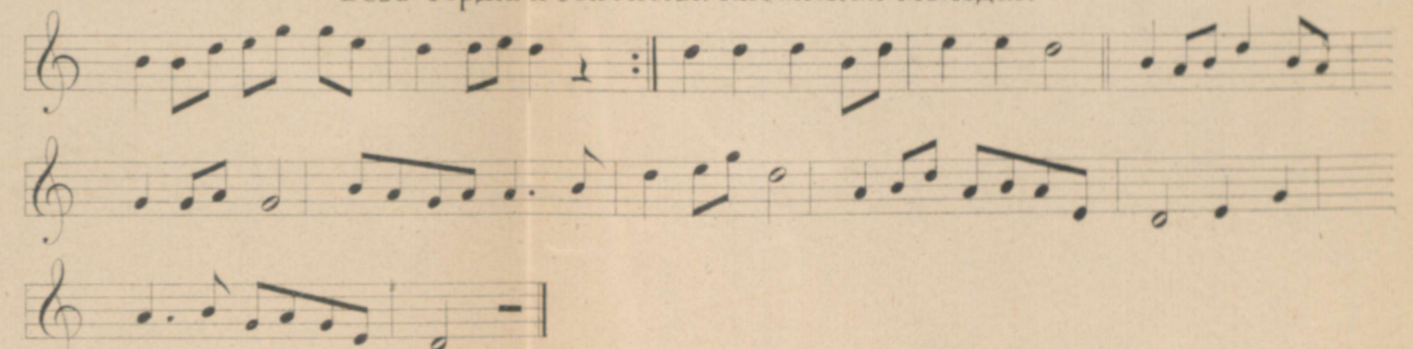
Фиг. 12.

Лучшія расположенія 4голос. аккордовъ.



Фиг. 13.

Безъ терціи и септими. Китайская мелодія.



Безъ секунды и сексты. Характеръ минора. Шотландская пьесня: Cockle Shell's



Est.  
A-10030