1953 г. Июль *Т. L, вып. 3*

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

МЕТОДИЧЕСКИЕ ЗАМЕТКИ

ДЕМОНСТРАЦИИ ПО УЛЬТРАЗВУКУ

Я. С. Максимов

За последние десятилетия ультразвук начинает играть всё бо́льшую роль не только в научных исследованиях, но и в решении большого круга технических и практических задач: в подводной сигнализации и связи, ультразвуковой дефектоскопии металлов и сплавов, в медицине, химии и биологии. Поэтому введение в лекционные курсы физики демонстрационных опытов с ультразвуком представляется весьма целесообразным. Ниже описаны некоторые из опытов, поставленных автором настоящей заметки.

Для их осуществления был изготовлен ламповый генератор ультразвуковых колебаний, держатель кварца, простейший радиометр и фокусирующая линза. Генератор был собран по схеме (рис. 1), заимствованной из книги Б. Б. Кудрявцева «Применение ультраакустических методов в практике физико-химических исследований».

Данные генератора приведены в таблице:

	Число витков	Диаметр катушки в *мм*	Шаг намотки в *мм*	Способ изготовления катушки
L_1 — междусеточная катушка	50	70	3	Из медной проволоки толщиной 1,5 *мм* без каркаса
L_2 — контурная катушка	60	90	2,5	То же
L_3 — катушка для связи кварца с генератором	40	110	3,8	То же

Конденсатор C_1 имеет ёмкость 300 *см*. Конденсатор C_2 — 150 *см*. Дроссель *Д* намотан на плексигласовый каркас из медной эмалированной проволоки диаметром 0,25 *мм*; число витков — 500. Питание генератора осуществляется от силового трансформатора типа ЭЛС-2 мощностью 70 *вт*, частота может изменяться в пределах от 0,8 до 5 *Мгц*.

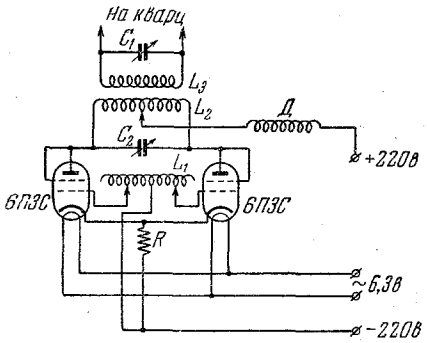

Рис. 1.

Устройство держателя под кварц диаметром 20 *мм* (частота кварца 2,85 *Мгц*) показано на рис. 2: *1* — латунный корпус, *2* — плексигласовый или бакелитовый вкладыш, *3* — резиновое кольцо (амортизатор); *4* — контактное тонкое латунное кольцо, *5* — фланец (верхняя крышка), *6* — кварц, *7* — конусное резиновое кольцо для уплотнения, *8* — винты для крепления фланца, *9* — резиновое кольцо для уплотнения, *10* — сальник, *11* — контактная втулка.

Держатель можно приспособить под другие размеры кварца. Для этого следует заменить плексигласовый или бакелитовый вкладыш, фланец и резиновые кольца. Конструкция держателя позволяет поме-

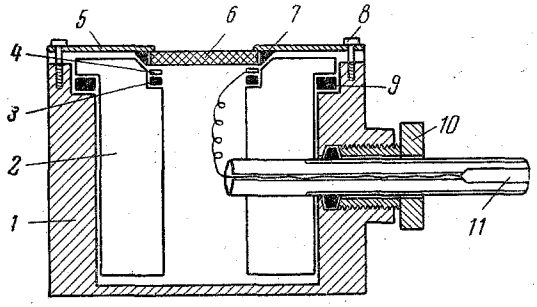

Рис. 2.

щать кварц в воду. Подача напряжения от генератора на кварц осуществляется экранированным проводом.

На рис. 3 изображён изготовленный автором радиометр: *1* — стальная ось, *2* — зеркальце, *3* — алюминиевая проволочка диаметром 0,75 *мм*, *4* — резиновый диск диаметром 35 *мм* и толщиной 1,5—2 *мм*. Для изготовления из плексигласа фокусирующей ультразвуковые волны линзы был использован штамп, изображённый на рис. 4. Корпус *А* штампа состоит из толстой металлической болванки. В нижней

части болванки имеются бортики, на которые опускается дно штампа *В*. В стержень *Б* впрессован металлический шар радиусом 10 *мм*. Штамп помещался в муфельную печь и прогревался. Затем стержень *Б* вынимался и внутренняя часть штампа заполнялась плексигласовой стружкой. После вставления стержня *Б* штамп помещался под пресс давлением 100 *атм*. Указанное давление поддерживалось до тех пор, пока показание манометра не начинало уменьшаться. После охлаждения внутренняя часть штампа вместе с прессованной линзой выдавливается прессом. Изготовленная линза имеет бортики,

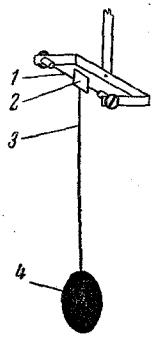

Рис. 3.

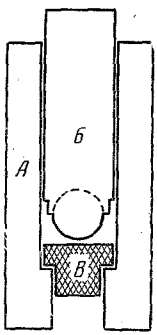

Рис. 4.

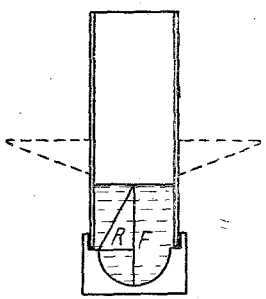

Рис. 5.

с помощью которых она крепится к стеклянной трубке (рис. 5), на конец которой предварительно надевается резиновое кольцо. Диаметр линзы должен быть равен диаметру кварца. Фокусное расстояние линзы определяется по формуле

$$F = \frac{R}{\frac{c}{c_1} - 1},$$

где R — радиус линзы, c — скорость ультразвука в воде, c_1 — скорость ультразвука в плексигласе.

Описанные приборы позволяют провести следующие демонстрации.

1. Отражение ультразвука

Если в ванну со стеклянным дном налить воды и погрузить в неё наклонённый под надлежащим углом кварц, то ультразвуковой пучок, направленный наклонно к горизонту, будет оставаться всё время внутри жидкости (волновода), последовательно отражаясь от границ вода — стекло и вода — воздух (рис. 6). При подсвете ванны снизу электрической дугой или лампочкой на экране (на потолке) наблюдается ряд равноотстоящих светлых участков. Эти места соответствуют прохождению света через выпуклости поверхности жидкости,

образованные отражением ультразвука от границы вода — воздух. Поместив на пути пучка плоское зеркало (стеклянную пластинку), можно убедиться, что пучок меняет своё направление по законам

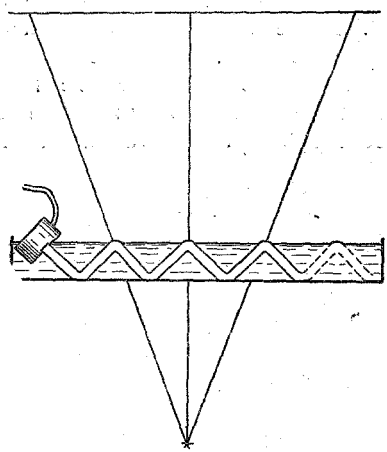

Рис. 6.

геометрической оптики. Если часть кварца останется не погружённой в воду, то можно одновременно наблюдать капиллярные волны.

2. Давление ультразвука на преграду

Если поместить излучатель в ванну с водой и поставить на пути ультразвукового пучка радиометр, изображённый на рис. 3, то диск радиометра под действием этого пучка отклоняется. Наблюдение можно вести при помощи светового луча, отражённого зеркалом радиометра на шкалу.

Зная вес диска в воде и вес тонкой алюминиевой проволочки, на которой висит диск, можно при малых углах отклонения оценить давление ультразвуковой волны, а по нему и интенсивность, излучаемую кварцем. Давление можно оценить по формуле

$$P = \left(m_1 g + \frac{m_2}{2} g\right) \frac{x}{S2H\cos\alpha} \frac{дин}{см^2},$$

где P — давление ультразвуковой волны, x — число делений, отсчитанных по шкале, H — расстояние от шкалы до зеркала радиометра, $m_1 g$ — вес диска в воде, $m_2 g$ — вес алюминиевой проволочки в воздухе, S — активная площадь кварца. $\cos\alpha$ при малых углах отклонения диска радиометра можно считать равным единице. Приведённая формула справедлива при полном поглощении диском энергии ультразвукового пучка.

Если ультразвуковой пучок частично проходит через диск радиометра, то это можно учесть, определив прозрачность диска. Прозрачность определяется следующим образом. Диск радиометра снимается с подвеса и на его место вешается другой (резиновый) диск. Под действием ультразвука он отклоняется и его отклонение k_0 определяется по шкале радиометра. Не меняя интенсивности излучателя, между кварцем и новым диском ставится первый диск радиометра, прозрачность которого определяется. Под действием проходящей через этот диск волны радиометр отклонится на k делений. Тогда, очевидно, прозрачность диска $D = \frac{k}{k_0}$. С учётом прозрачности полное давление определится формулой

$$P = \frac{\left(m_1 g + \frac{m_2}{2} g\right) x}{(1-D) S 2H} \frac{дин}{см^2}.$$

Обозначая постоянные величины через

$$B = \frac{\left(m_1 g + \frac{m_2}{2} g\right)}{(1-D) 2S},$$

получаем:

$$P = B \frac{x}{H} \frac{дин}{см^2}.$$

Давление радиации на стенку, полностью поглощающую ультразвук, равно:

$$P = \frac{I}{c},$$

где I — интенсивность излучения, c — скорость ультразвука в воде. Следовательно,

$$I = Pc \frac{эрг}{см^2 \cdot сек}.$$

3. Поглощение ультразвука

Если в предыдущем опыте между кварцем и отклонённым диском радиометра поставить листок фильтровальной бумаги, то показание радиометра уменьшается. Что ультразвук поглощается, можно показать и в первом опыте, демонстрирующем законы падения и отражения ультразвука: прикосновение резиновой пробки к поверхности воды в том месте, где отражается от воздуха ультразвуковой пучок, ведёт к исчезновению последующих отражений пучка. Та же картина наблюдается при помещении пробки на дно ванны в том месте, где отражается от стекла ультразвуковой пучок.

4. Поглощение ультразвука сопровождается нагреванием поглощающей среды

Если термопару (константан — медь) поместить в тонкий 2—3-*мм* резиновый диск и соединить её с зеркальным гальванометром, то при падении ультразвукового пучка на диск световой указатель гальванометра покажет отклонение.

5. Ультразвуковые волны можно фокусировать

В стеклянную трубку с линзой (рис. 5) наливается спирта столько, чтобы уровень спирта совпал с фокусом линзы. На держатель кварца надевается резиновое кольцо, которое образует бортики над фланцем. За бортики на кварц наливается вода. Линза ставится в воду над кварцем так, чтобы дно её было параллельно кварцу. При работе кварца с поверхности спирта будет бить фонтан. Высота фонтана будет зависеть от напряжения, подаваемого на кварц. С описанным выше генератором получен фонтан высотой 10—12 *см*. Для лучшей видимости фонтана трубку следует взять немного выше фокусного расстояния, а края её должны иметь раструб (как это изображено на рис. 5), чтобы капли фонтана падали обратно в трубку и поддерживали постоянным уровень спирта над линзой.

Приношу глубокую благодарность механику физического кабинета В. А. Шумилову за изготовление ряда описанных приборов.