

超声的簡單實驗

Б. В. 庫特利亞夫采夫著

商務印書館

超声的簡單实验

В. В. 庫特利亞夫采夫著

郑昌时 章啓馥 馮紹松譯

李 德 校

商 务 印 书 馆

本書根据俄罗斯苏維埃联邦社会主义共和国教育部 国立师范教育出版社 (УЧПЕДГИЗ) 出版的,庫特利亞夫采夫 (Б. Б. Кудрявцев) 著“超声的簡單实验”(Простые опыты с ультразвуками) 1954 年版本譯出。这是一本教師用的参考書,理科学学生亦可参考。

本書內容从实验出發,广泛討論超声的性質及其应用,还介紹了許多实验仪器的設計及所得的結果。

原書第一、第二兩章为章啓馥翻譯,第三、第四兩章为郑昌时所譯,第五、第六兩章及緒論为馮紹松所譯。全部譯稿由李軼千校閱。

目 录

引 言	1
第一章 超声和它的应用	5
第二章 获得超声的方法	19
第三章 怎样表現超声波	40
第四章 超声的速度和吸收的測定	51
第五章 超声的基本性質	67
第六章 超声在物理化学研究中的应用	84

引 言

超声学是物理学中比較年青的一部門。在本世紀初和上一世紀末了的年代，超声就已在實驗室中獲得。不過直至本世紀的二十年代末，我們才能製造出強大的超声振動的振源。

最初的一些強力超声波的實驗，就引起了與物理學範疇有關的研究者們的注意。現在超声在各種



П. Н. 列別杰夫

科學技術部門都被有效的應用，因此不僅引起物理學家的注意，並且引起化學家、生物學家、醫學家以及工程師們的注意。

最先運用超声做實驗研究的是卓越的俄國物理學家彼得·尼古拉維奇·列別杰夫 (Петр·Николаевич·Лебедев)。

卓越的法國物理學家保羅·郎之萬 (Paul Langevin)，則首先開辟超声波實際應用的領域。

蘇聯學者們是超声研究者的先驅。他們找出了許多日新月異的實際應用超声的方法。

最灵敏的用以檢查各種物品內部瑕疵的方法——超声探傷器，是蘇聯發明的，並且已經達到了完善的地步。這些科學

蘇聯科學院



Р. 鄧之万

(М. Леонтович) 和 Л. 馬得史塔姆 (Л. Мандельштам) 簡述了超声散射的松弛理論；С. М. 雷托夫 (С. М. Рытов) 把光的衍射理論应用到超声学上；А. С. 普列特伏奇捷列夫 (А. С. Предводителев) 有效地發揮了他对声音傳播过程上的独创見解。

如果談到声音傳播的實驗研究工作，就必须提及：И. Г. 米哈依洛夫 (И. Г. Михайлов) 和他的合作者們所作的超声的速度和吸收的系統性研究；В. Ф. 諾士特辽夫 (В. Ф. Ноздрёв) 和他的学生們以及合作者們，最先在相当于液态溫度的整个範圍內，所作的声音在液体中傳播的研究；П. 巴茹宁 (П. Баржулин)，В. 塔拉索夫 (В. Тарасов) 的研究以及其他学者們的研究。

上面所提及許多研究者的名字，不过是苏联超声学者名册中的一小部分，我們引述他們是为了要闡明，現在苏联，从

上的成就，应当归功于天才的苏維埃学者，斯大林獎金获得者，С. Я. 薩科洛夫 (С. Я. Соколов) 的劳迹。

С. Н. 謝夫金 (С. Н. Ржевкин)，他的合作者和学生們多种多样地創造研究超声在化学上，力学上和生物学上的作用。

許多学者們对于超声理論的發展作了許多有價值的貢獻：М. 呂昂托維奇

事于超声学研究的范围十分广泛。但是我们认为还有一个可以利用超声学方法的部门，至今却还没有被充分地利用。就是在中学或部分高等学校里的物理学教学。要知道，超声对教师的帮助很大。因为超声射线很容易变为可见的，并能在幕上映出它的形像。因此就可以用来演示任何性质的波都具有的



C. H. 謝夫金

基本特性。实际上，只要把超声射线投射在两种介质的分界上，就可以在幕上显示出射线的折射。若用各种不同液体的配合，那末在介质的边界上将发生折射，因而在那些介质中，波传播的速度和折射率之间的关系，可以由此证实。同样，也可简单地制做一种棱镜，来演示声射线在其中经过的路径。

进一步自然就是表演声学透镜中射线的路径。借着聚焦的超声射线，在液体表面获得喷泉，就可以有效地表现透镜的作用。这一切都能使教师们得以讲述现在苏联学者正在积极发展的超声光学。

假使在超声波的路径上放一个屏，屏上具有大小形状不同的孔，就可以表演声波的衍射。若在波的路径上放置一个小圆柱体，就可清楚地看到衍射的图形。当变更柱的直径时，如果波长比柱的直径小，我们就能看到声学影的呈现，但若柱的直径很小，那末就看到柱的完全衍射。在进行这种表演时，可



С. Я. 薩科洛夫

以給學生們說明：在設計建築物的小模型里研究声学特性時，超声所起的作用；并可以給學生們叙說关于苏联学者 С. Н. 謝夫金和 С. 克列希密尔 (С. Крешмер) 的工作。

超声的巨大功率使人們易于表演声輻射的压力。同时結合这个实验可以叙說一些关于 П. Н. 列別杰夫的工作，以及他为

証明光压力的存在所克服的困难。

利用超声，还可以做出許多有趣的和有啓發性的实验。所以我們对于超声的效用，包括学校里物理課程中的許多演示和超声的簡單实验，無須再表示怀疑。正如我們要在后面指出的，在这部門中許多为产生超声的实验，并不需要很多复杂的仪器，只須利用学校物理室中所有的工具，就能做出。

無疑地，超声学的实验，会使学校里物理小組的研究兴趣更加濃厚。

上述的一些想法，就是促使我写这本小册子的动机。

第一章 超声和它的应用

我們所謂的声波是彈性縱波。这种波可在任何物体中傳播，不过我們通常所談到的是声波在空气中的傳播。在声波中各个質点都振动着，因而在物体中产生了压强增高和减低相間的区域。每一秒鐘內質点在波中的振动次数，决定声波的頻率。

人耳的灵敏度随声波頻率的不同而有所区别。这可由圖

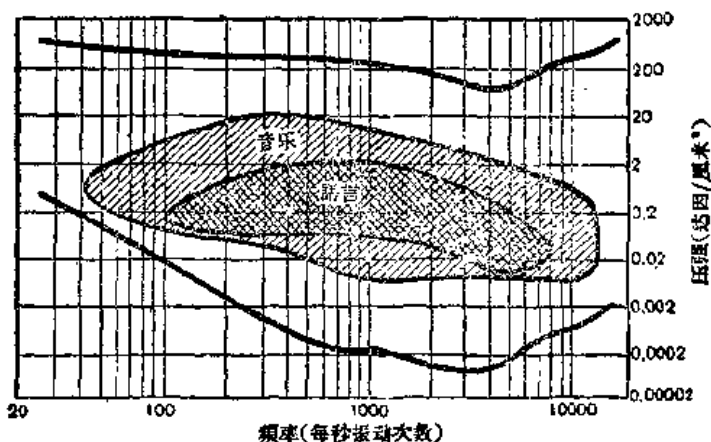


圖 1. 人耳对声音的感觉的圖解。

1 清楚地說明，圖 1 中橫軸表声波頻率，下面的曲綫相当于可聞閾，也就是人耳可以听到的最弱的声音。在声波頻率很低和很高的区域，可聞閾的升高，这是很容易証实的。人耳不仅对很弱的振动不能感觉声音，同时对很强的振动也是如此，后者引起压迫的，或疼痛的感觉，引起疼痛感觉的声音强度，

可由圖 1 上的上面曲綫表示出，在這兩條曲綫之間的地方是人耳所感覺聲音的波動區域。

顯然，人耳對於頻率在每秒 20 次以下，和每秒 20,000 次以上的聲音，不起感應。頻率低於每秒 20 次的人所不能聽見的聲叫次聲（инфразвук）。頻率高於每秒 20,000 次的人所聽不見的聲叫超聲（ультразвук）。應該着重指出：彈性波分為人耳感覺到的可聞聲與不可感覺到的次聲及超聲是有一定條件的。因為可聞聲和超聲的物理性質本是一樣的，只是由於人們聽覺器官的特性才引起它們的區別。許多動物，像狗，貓，蝙蝠，某幾種鳥和昆蟲，都能很好地感受超聲波。即使在人類，超聲區域也不是完全確定不變的，可聞聲的上限隨人們的年齡而改變，例如小孩就可比老年人感受較高頻率的聲音。

許多驟然看來很特殊的超聲波的效應，都是由於它具有巨大強度的緣故。近年來已發現了獲得極強可聞聲的方法，這些方法，使以前認為形成超聲波特殊性的許多效應，得以產生。

但有些效應却是超聲波所獨有的。再者超聲的獲得，比同樣功率的可聞聲的獲得來得簡單。這足以說明各科學技術部門的工作者們，為甚么對超聲波的利用感覺興趣，現在關於研究超聲波性質和應用的科學工作，已多到盈千累萬了。

本書旨在講述關於獲得超聲波的簡單方法和利用學校物理實驗室裝備所能作出關於超聲波基本性質的簡單演示實驗。在開始敘述如何做超聲波發生器之前，先用數頁篇幅，說明超聲波的特性，和它在傳播時可看到的某些特別有趣的現象。

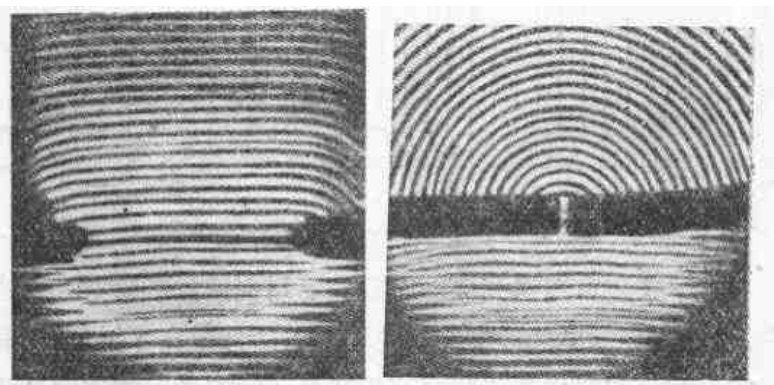
超聲波的第一種實際應用，是和它能用較狹的射綫束傳

313

播的性能有关。这是因为射线的方向性依发射器的大小和波长间的比为转移,波长比发射器的尺寸愈小时,则射线的方向性愈好。并耐

当波通过放在它途径中的屏上小孔时,情形也是如此。

圖 2 表示波在下列情况中传播的情形 (a) 波长比狭缝小时 (б) 波长比狭缝大时。



(a) 比波长大的狭缝

(б) 比波长小的狭缝

圖 2. 平面波通过狭缝。

較狭的超声波束可以任意向指定方向发送,法国物理学家郎之万在制造探索潜水艇的仪器时,就是利用这种波束的可能性。在他创造的超声水中定位器 (ультразвуковой гидролокатор) 里,特殊的发射器发送短的超声波讯号到水底下去,这种讯号以狭窄的射线束形式前进。若是在它的途径中未遇到任何障碍物,它就在大洋中消失。如果在讯号路程上遇到了障碍物,波就以回声的形式反射回来。到达的回声随即被特殊仪器记录下来,并用以指示存在于海中的障碍物。只要知道讯号发送出去到回声到达时其中经过的时间,就可以测定所发现的障碍物的距离。如果将超声波讯号垂直向下,送出用

类似的仪器即可测量出海的深度——这就是超声回声测深器(ультразвуковой эхолот)。回声测深器可以很精确地测定海底的地形。圖 3 上就是从英吉利海峡(Ламанш)到佛露里达(Флорида)海岸的海底轮廓的记录。

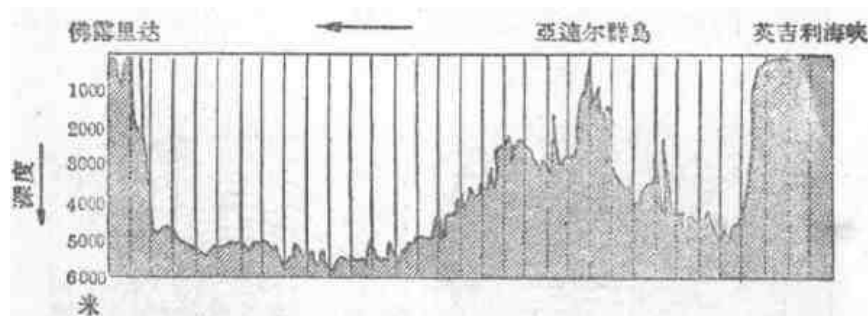


圖 3. 用超声回声测深器测定的大西洋底的轮廓。

近年来超声回声测深器有效地应用在捕鱼事业上。用超声波探索鱼群,显然地缩短了渔程的时间并提高了捕鱼量。圖 4 表示利用超声定位器所得到的鲱鱼群的记录。超声回声测深器通常会自动地记录所观察到的东西。

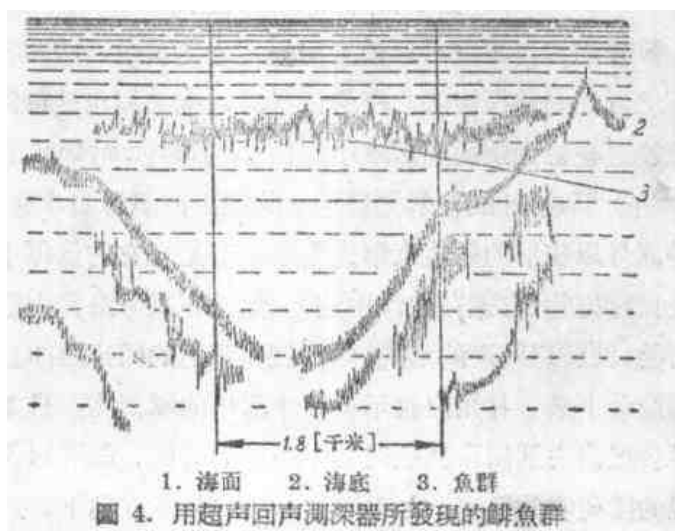


圖 4. 用超声回声测深器所发现的鲱鱼群

超声波可以引起化学转变的这种性能，特别引起人们的巨大注意。即如已经发现了的，超声波有时可使物质氧化，有时则可使物质还原。在超声波引起的氧化过程中，碘化钾的分解曾特别仔细地研究过。溶有淀粉的碘化钾稀酸溶液，受了超声波的作用，由于分解出来的游离碘与淀粉互相作用的结果，变为蓝色。如果在溶液内加入受超声波作用过的四氯化碳的水乳剂，则该溶液对超声振动的灵敏度即可显著地增加。

我们可以举升汞转变为甘汞作为超声波引起还原作用的实例。升汞溶液受超声波作用后很快地变得混浊不清，这就是因为溶液内形成了不易溶解于水的甘汞的缘故。

在超声波作用下为什么会发生化学变化呢？

超声波是由紧密和疏稀相间的两部分所组成的强烈的波在水中传播时，它的疏稀部分可以剧烈，得使水不能忍受所发生的紧张状态而分裂。形成了许多充满水汽和含有气体的小泡，亦就是出现了空隙。空隙只出现很短的一会儿，随即猝然闭合而消失。在气泡中除了水汽和气体以外，尚有极细小的水滴，这些水滴是在破裂的一瞬间离开水面的。有许多事实可以推测出空泡的壁带有电荷，它与空泡内部水滴上的电荷异号。当气泡压缩时，由于体积的缩小，电压大大地增强，因而在空泡壁和泡内小滴之间放电。可能，这种放电就是超声波发生化学作用的主要原因。

同时必须承认，关于超声波的化学作用的本质问题比以前所提出的要复杂得多。根据最近的研究，超声波的化学变化只是在连续的超声振动的作用下才能发生。但在应用超声脉冲作发声作用时，脉冲的平均功率即使远过于能发生化学变

化的連續振動的功率，却仍不能引起化學變化，因此做了這樣的推測：認為在這種情況下，發生在液體駐波中的空氣泡的振動起着重要的作用。在共振時這種振動可以變為很強，同時發生相當大的壓強改變，以致引起化學變化。

超聲的化學作用已被提議利用它來得到超聲波場的圖形，如果在暗室內將照片放在有超聲波傳播着的水盆中，照片上即可得到超聲射線形像，如圖 5 所示，在這幅圖中我們看到

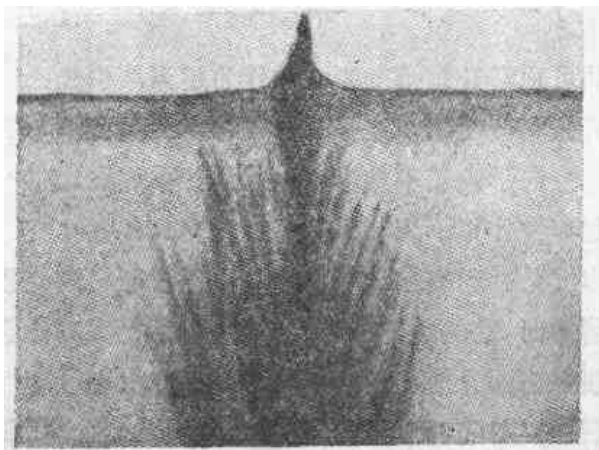


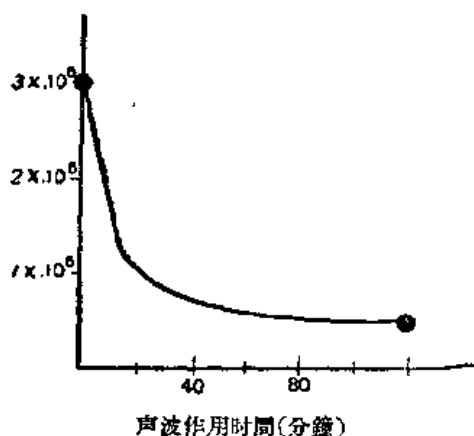
圖 5. 超聲波直接作用於照相片所得到的超聲波場的圖像。

有超聲波在傳播着的盆的垂直截面。波非常地強，以致在水面還引起小小的噴泉。超聲振動使得底片變黑，變黑的程度，與強度成比例。分散成扇形的黑條紋，表示當超聲射線在水中傳播時，其強度的分布情況。這個圖像是用特殊的‘對聲敏感’底片所攝成的。但也可用普通底片拍攝。

最近發現超聲，能加速聚合作用（полимеризация）可能在將來有重大實際用途。當苯乙烯（ $C_6H_5 \cdot CH_2 \cdot CH_2$ ）和丁二烯（ $CH_2 \cdot CH \cdot CH \cdot CH_2$ ）受超聲作用時，其聚合速度顯著增加，聚合的加速或者可以聲波作用時形成化學物根的作用來說明，

或者以大分子的“破裂 (разламывание)”来说明, 在破裂时形成“碎片”, 这些碎片总含有许多不饱和的团, 因此可以聚合。

超声波有时也会引起相反的作用。例如在加速聚合作用时它们还能引起解聚 (деполимеризация)。圖 6 表示声波作用时聚合苯乙烯 (полистирол) 分子量的改变。参看圖 6 上的曲线即



可确信聚合苯乙烯的 圖 6. 在超声波作用下聚合苯乙烯的解聚。大分子受了超声作用, 而分裂为较小质点。

超声波之能于分散物质并不限于分子大小的质点。

我們可以用超声波来分裂任何液体甚至固体。

超声乳化法在制造藥物, 处理牛乳和制备照片乳膠时, 已获得工业上的具体应用。

关于超声波分散作用的性质如何迄今尚未查明。不过, 空泡在这里無疑地起着重大的作用。可以指出的就是气泡猛撞时产生的巨大压强达几千大气压, 猛撞引起一种微观的打击, 以致破坏被分散的物体。此外, 超声波穿过质点时常激起一种力, 击散质点。

当乳化时, 乳化混合液的容器壁上所發生的振動具有重大意义。圖 7 表示超声波使油在水中乳化的情形。在照片上看到的云狀物是已經形成的乳化液。关于乳化的速率可根据各个镜头拍攝的时间間隔来判断。最后一镜头是乳化开始而

秒鐘后所攝得的。

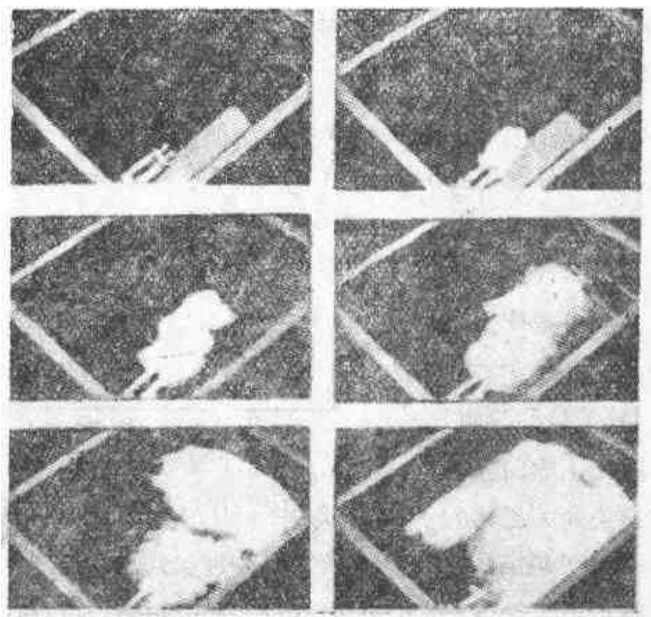


圖 7. 油在水內的超声波乳化。

应用超声波的彌散作用来洗濯羊毛，很有功效。通常为了去油脂，都是把羊毛放在含有大量鹼性的肥皂液內洗濯，这样，纖維在工艺性能受到損害。应用超声振动时，就可以在差不多是中性溶液內进行洗濯。同时，这样并可消灭各种微生物，免去必要的消毒，否則消毒必須进行。

超声的乳化作用可能利用普通焊錫来焊接鋁制品。要是不用超声波，就不能做到。因为鋁的表面总是复盖着一層氧化物的薄膜，这薄膜使錫不能透入金屬表面，因而使被焊物件不能牢固附着。实验証明焊接的时候，如果在焊接处加以强力的超声振动，就可用普通焊錫焊接鋁制品。这可以用特殊的烙鉄来做，这种烙鉄同时又是超声振动的振源。

超声除了上述的作用外，还能引起相反的效应，那就是加速凝聚过程也就是合并分散的小质点。当超声波或声波在烟或雾的质点间传播时，发生一种引力，这种引力和水流中质点间发生的力相类似。除此以外，烟和雾中较大的质点，由于质量大，所以在运动时比小质点要落后些。由于撞聚的次数增多，乃形成大的聚合体。声的凝聚作用，在工业上已有效地应用于收集烟脂，苏打和硫酸雾等。

無疑地，超声在自然界中所起的作用，比最近推测出的要大得多。

超声波对于蝙蝠的生活所起的作用特别大。蝙蝠的视觉很差。实验研究证明：蝙蝠在飞的时候，先发出短的超声讯号，再依据这种讯号反射回来的回声来辨别方向。如果塞住蝙蝠的耳朵，它就完全失去辨别方向的能力。

在超声波的最初一些实验中，就曾发现当声波作用时，各种微生物很快地死亡。甚至有人提议用超声波来对饮水和各种食物消毒。

在显微镜上附加特殊照相仪器能拍摄出微生物在超声作用下死天的情形。实验指出细胞的破裂是在万分之几秒内进行的。死天的原因可能就是由于空隙的形成。在某种情况下可以尽量地增高外压强，以停止空泡的发生，使超声波不能引起细胞的死亡。

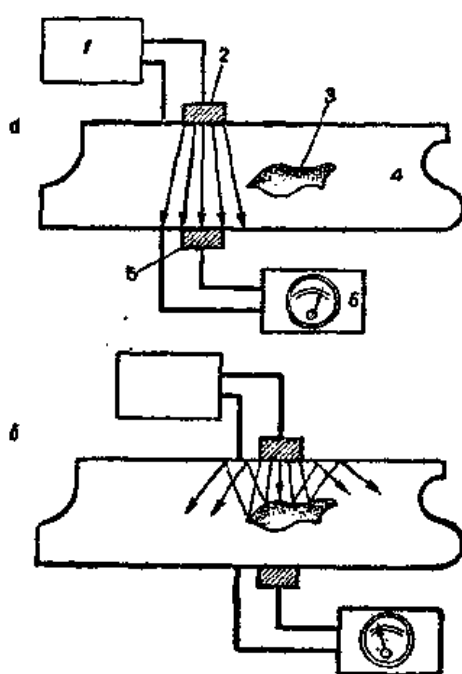
用电子显微镜可以获得悬浮在水中的结核杆菌受声波作用前后的照片。这些照片指出结核杆菌受超声波作用之后而死亡。

超声波的毁灭作用也可推广用于病毒（вирус）方面。麻疹伤寒病毒即使在受了短间的声波作用后，就已显著减弱。流

行性感冒病毒,在声波作用之下,也丧失了引起疾病的能力。

在超声波作用下細胞的迅速死亡,使我們能够获得各种重要生物制品,例如毒素(ТОКСИН)、酵素(ФЕРМЕНТ)、抗生素(АНТИГЕН)等,而不引起它們中的化学变化,此外利用超声波还可以制造出对各种疾病具有免疫力的血清。

在超声波作用下有些情形,可使生命过程加速,例如豌豆种子受了声波作用,能使整个植物蓬勃地生長,但是对于这一类实验必須極其謹慎,強力超声波的作用,对于有机体有巨大的影响,这种影响会使它們内部引起我們至今还未明了的一些变化。至于超声波对人类器官的作用,所知道的極少。



1. 振盪器 2. 發射器 3. 瑕疵
4. 样品 5. 接收器 6. 指示器

圖 8. 用“声透法”的超声探伤器簡圖。

超声探伤器(ультразвуковая дефектоскопия)是超声波最重要的实际应用,超声波通过相当厚的金属差不多还是不减弱,但这时在超声射綫的途徑上,如果有裂痕,即使是很小的裂痕,那末它的力量就大大地消滅。有一种利用超声檢查制成品質量的方式中,工作者把超声波發射器緊貼在被檢查样品的一個面上(圖 8),在这面的对面,剛好