

共振现象原理及医学应用浅析*

黄炳旭 孔志勇

(山东中医药大学智能与信息工程学院 山东 济南 250000)

(收稿日期:2022-10-17)

摘要:共振现象在生活中的应用非常广泛,普遍应用于医学、生物学、电磁学和声学等各个领域,是一把双刃剑.若能合理巧妙地利用共振,能为生活带来便利,反之也会造成危害.本文基于共振原理,介绍了其应用、危害及防治,并结合医学临床,探析了疾病发生的本质与共振之间的关系,阐明了共振在诊断学方面的发展潜力,并论述了其在量子科技领域治疗某些疾病的应用前景,为共振进一步的应用和发展提供借鉴.

关键词:受迫振动;共振;应用;危害;医疗

1 共振的浅析及理论推导

振动按类型可分有阻尼振动和无阻尼振动.在不考虑阻力的情况下,使系统受到一个持续周期性外力的作用,此时系统的振动称为受迫振动^[1].如果施加外力的频率很接近或等于系统的固有频率,振幅会迅速增大到最大值,此类现象被称为共振^[2],共振发生时的频率称共振频率.共振现象在日常生活中比较常见,例如,收音机和电视就是依据共振原理接受信号的.共振按类型可分为速度共振,位移共振,光学共振,能量共振,电路共振,核磁共振,电子自旋共振等.在某种程度上,共振现象是宇宙间最普遍的现象之一.

1.1 简谐振动

简谐振动是最基本的振动,任何一个复杂运动都可看成是由若干个简谐振动组成.

弹簧振子就是典型的简谐振动,以弹簧振子为例,如图1所示.

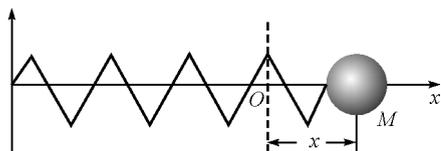


图1 弹簧振子示意图

弹簧的弹力为

$$F = -\kappa x$$

根据牛顿第二定律

$$F = ma = m \frac{d^2 x}{dt^2} = -\kappa x$$

所以

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \omega^2 x = 0 \quad (1)$$

其中

$$\omega^2 = \frac{\kappa}{m} \quad (2)$$

联立式(1)、(2)得

$$x = A \cos(\omega t + \varphi)$$

或

$$x = A \sin(\omega t + \varphi)$$

任何物理量 x 的变化规律如果满足方程

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \omega^2 x = 0$$

且 ω 是决定于系统自身的常量,则该物理量的变化过程就是简谐振动.

简谐振动的速度

$$v = \frac{dx}{dt} = -A\omega \sin(\omega t + \varphi)$$

式中 $v_m = -A\omega$ 称为速度振幅;速度比位移相位超

* 教育部产学合作协同育人项目,项目编号:220606071144427.

作者简介:黄炳旭(2003-),男,在读本科生.

通讯作者:孔志勇(1979-),男,硕士,讲师,主要从事的专业为物理教育、电子信息.

前 $\frac{\pi}{2}$.

简谐振动的加速度

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi)$$

式中 $a_m = -\omega^2 A$ 称为加速度振幅; 加速度比位移相位超前(或落后) π .

简谐振动的能量

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \varphi) \quad (3)$$

$$E_p = \frac{1}{2} \kappa x^2 = \frac{1}{2} \kappa A^2 \cos^2(\omega t + \varphi) \quad (4)$$

由式(3)、(4)可知, 在平衡位置处, 势能为零, 速度最大, 动能最大; 在位移最大处, 速度为零, 动能为零, 势能最大.

简谐振动的总能量

$$E = E_k + E_p = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \varphi) + \frac{1}{2} \kappa A^2 \cos^2(\omega t + \varphi) \quad (5)$$

由式(5)可知, 总能量与振幅平方成正比, 且恒定不变.

由公式

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} \kappa x^2 = \frac{1}{2} \kappa A^2$$

得

$$v = \pm \sqrt{\frac{\kappa}{m} (A^2 - x^2)} = \pm \omega \sqrt{A^2 - x^2} \quad (6)$$

由式(6)可知, 在平衡位置处 $x = 0$, 速度最大; 在最大位移处, $x = \pm A$, 速度为零.

1.2 阻尼振动

实际上, 任何振动总要受到阻力的作用而损失能量, 振幅随之减小, 这时的振动叫做阻尼振动. 实验表明, 当运动物体的速度不太大时, 阻力 f 与物体的速度 v 的大小成正比, 而与物体速度的方向相反. 可表示为

$$f = -\gamma v = -\gamma \frac{dx}{dt}$$

物体振动方程为

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -\kappa x - \gamma \frac{dx}{dt}$$

令

$$\omega_0^2 = \frac{\kappa}{m} \quad 2\beta = \frac{\gamma}{m}$$

得齐次线性微分方程

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0 \quad (7)$$

在阻尼作用较小(即 $\beta < \omega_0$) 时, 式(7)的解为

$$x = A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi)$$

其中

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$$

则阻尼振动的周期可表示为

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}$$

可见, 阻尼振动的周期比系统振动的固有周期长, 这种阻尼较小的情况称为欠阻尼, 如图2曲线a所示.

如阻尼较大, 以致 $\beta > \omega_0$, 这时的运动不再具有周期性. 偏离平衡位置的位移随时间按指数形式衰减, 以致需要较长时间系统才能到达平衡位置, 这种情况称为过阻尼, 如图2曲线b所示.

如阻尼影响介于前两者之间, 且 $\beta = \omega_0$, 系统最快地回到平衡位置并停下来, 这种情况称为临界阻尼^[3], 如图2曲线c所示.

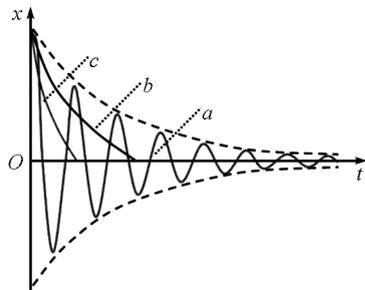


图2 阻尼振动位移与时间关系示意图

1.3 受迫振动 共振

质量为 m 的振动物体, 在弹性力、与速度成正比的阻力以及周期性驱动力 $F \cos \omega$ 作用下开始做受迫振动. 受迫振动的动力学方程为

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -\kappa x - \gamma \frac{dx}{dt} + F \cos \omega t$$

令

$$\frac{\kappa}{m} = \omega_0^2 \quad \frac{\gamma}{m} = 2\beta \quad h = \frac{F}{m}$$

得非齐次线性微分方程

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = h \cos \omega t \quad (8)$$

方程通解为

$$x = e^{-\beta t} [A' \cos(t\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}) + B' \sin(t\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2})] + A \cos(\omega t + \varphi)$$

欠阻尼

$$x = e^{-\beta t} (A' + B't) + A \cos(\omega t + \varphi)$$

临界阻尼

$$x = e^{-\beta t} (A' e^{\sqrt{\beta^2 - \omega_0^2} t} + B' e^{-\sqrt{\beta^2 - \omega_0^2} t}) + A \cos(\omega t + \varphi)$$

过阻尼

无论哪种阻尼情况,当 $t \rightarrow \infty$ 时,方程通解的指数项都会逐渐趋近于零,由此可知当受迫振动达到稳定状态时,阻尼振动将不起作用,此时受迫振动的频率等于驱动力的频率^[4].因此受迫振动的稳态方程为

$$x = A \cos(\omega t + \varphi) \quad (9)$$

其形式就像简谐振动,式(9)中振幅和初相位分别为

$$A = \frac{h}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2}}$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{-2\beta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}$$

可求得当振幅达到最大时,驱动力的频率

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2} = \omega_r < \omega_0$$

如图3所示,可知在不同阻尼情况下,使振幅达到最大的驱动力频率小于系统的固有频率,且最大振幅为

$$A_{\max} = \frac{h}{2\beta \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}$$

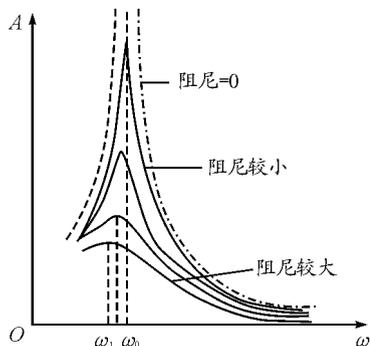


图3 不同阻尼情况下的共振曲线

因此,系统在周期性外力作用下发生受迫振动,在受迫振动时,如果外力的频率跟系统的固有振动

频率接近或相等时,使振幅达到最大值,这就是现实中的共振现象.在共振时,周期性外力(驱动力)对系统做正功,系统能最大限度地从外界得到能量,这就是共振时振幅最大的原因.

2 共振的应用、危害及防治

2.1 共振的应用

共振现象的应用比较广泛.在日常生活方面,二胡、吉他、提琴等弦乐器通过琴弦的振动激发共鸣箱内空气的共振,从而产生动人的音乐;建筑工地上工人借助共振的原理,使混凝土的质量得以提高;我们经常使用的微波炉也是通过微波与水分子发生共振来进行工作.臭氧层作为地球的“保护神”,是利用共振来吸收紫外线,保护地球上的生物.此外,植物进行光合作用也是利用叶绿素与可见光发生共振的原理,从而养育地球上的生命^[5].人们利用共振原理还制造出测速仪、测振仪等.有趣的是,音乐还能与人体细胞产生共振,从而产生感觉,有些音乐因此被用于心理治疗.现在流行的宇宙爆炸形成说认为,促成爆炸的原因就是共振.因此,从某个角度来说,宇宙万物是在共振的作用下产生的,共振是世界形成的基础.

2.2 共振的危害及防治

18世纪中期,法国的一支军队通过某城市一座百米长的大桥,在有序的口号声中,当他们迈着整齐的步伐过桥时,桥梁突然断裂,造成重大的人员伤亡,其结果归根结底是共振引起的.当士兵们迈着整齐的步伐过桥时,其频率恰好与桥的固有频率相一致,促使桥的振动加强,当其振幅达到最大以至于超过桥梁的抗压极限时,桥就会断裂……同样,汽车在过桥时也可能与桥梁发生共振,损害桥梁结构.

共振现象的危害不仅体现在桥梁方面.工厂中的机器在运作时,其产生的共振也会对自身结构造成损坏;行驶的汽车,如果车轮转动的周期恰好和弹簧的固有频率一致,那么汽车就会因产生的共振而失去控制……此外,共振也能对人体产生影响,研究表明人体各部位有不同的固有频率,当外界的振动与人体某个器官振动的固有频率接近或一致时,

该器官会受到损害,严重者可导致死亡.由此类推,工作时与振动源非常靠近的人员,如工厂内大型机械的操作者,电钻、风铲的操控工,为了减少共振带来的危害,在工作时应尽可能采取一定的防护措施.再如,地震是通过地球内部地壳板块断裂引起的波动与地面上的建筑物发生共振,造成严重后果^[6].登山运动员所熟知的一个道理,在雪山上不能大喊大叫,这是为什么呢?原因是当空气振动的频率与积雪某一部分的固有频率接近或相同时,会引发共振^[7],造成大面积积雪的滑落,从而引发灾难.由此可见,共振与我们的生活是息息相关的.

从原理上讲,避免共振的发生就是不要让两种频率一致.一方面,可以改变系统的固有频率.比如电动机需装配在水泥浇注的地基上,和地面紧密相接,或者安放在重量较大的底盘上,改变其基础部分的固有频率,从而增大与驱动力的频率之差来减弱基础的振动.另一方面,可以对驱动力的频率进行调控.如一些手工机械在设计时规定频率必须大于20 Hz,其目的是防止机械与人体器官发生共振时对人体造成较大的伤害.此外,共振的破坏力与其振幅显著相关,因此能够采取减弱振幅的办法避免共振的危害.很常见的一个例子是当士兵队伍通过桥梁时不会使步调保持一致,从原理上讲就是使其运动的频率脱离桥梁的固有频率,如此便能有效减小共振的振幅,减弱共振的危害.

另外,还可以采用减振材料,现在很多材料有消音、吸收振动的作用,比如玻璃棉、橡胶等,能够有效防止共振的产生.如在播音室、电影院等对隔音要求比较高的场所,人们经常采用加装一些塑料泡沫或海绵的方法,当声音接触到这些柔软物体时,不能与其发生共振,而是被有效吸收^[8],从而减弱共振的影响.

3 共振原理的医学应用探析

3.1 共振的临床影像应用

共振在医学诊断方面具有广泛应用,尤其是在影像学方面.以核磁共振(MRI)为例,根据强外磁场内人体中的氢原子核(^1H)在特定射频脉冲作用

下弛豫时间不同,从而获得影像.基本原理为 ^1H 在强外磁场内产生纵向磁矢量和 ^1H 进动,向强外磁场内的人体发射特定频率脉冲, ^1H 吸收能量而发生磁共振现象. ^1H 在停止发射RF脉冲后,迅速恢复至原有平衡状态,将反映人体组织结构的MR信号经一系列复杂处理,重建为MRI灰阶图像.简单来说,核磁共振是利用氢离子共振成像,因此对于人体含水量多的地方,它的成像会更加清晰^[9].CT作为骨科最常用的检查方式之一,其检测结果会受人体软组织影响,分辨率较低,相对于CT检查,核磁共振成像对于软组织有较高的分辨率,能应用多序列成像技术准确显示患者水肿以及出血等情况,直观反映患者骨骼的系统形态结构变化,从而帮助医生更好地了解患者检查部位病变的程度和范围.随着临床诊断学技术的发展,1.5 T磁共振技术的应用也越来越广泛^[10],对于轻微骨挫伤的患者,其具有较高的诊断特异度,同时也能辅助主磁共振检查获得更高对比度的图像.

3.2 共振与“晕动病”

在现代生活中,随着社会节奏的加快,经常要搭乘汽车、轮船、飞机等现代交通工具.有些人乘坐这些交通工具会产生头晕恶心等症状,人们称之为“晕动病”.我们之所以会晕船、晕车、晕机,归根结底是因为产生了低频共振,所谓低频,是指振动频率在500 Hz以下的声音.有关研究表明,低于1 Hz尤其是0.5 Hz以下的低频振动极易引发晕动病,且贡献率较多来源于水平方向的振动^[11].汽车在行驶过程中,一方面,各零件之间的摩擦会产生各种次声波;另一方面,汽车的轻微晃动也能达到引起器官共振的效果,长时间就会造成机体负面反应.有些人甚至会产生耳鸣,关于耳鸣,实际上是一些较低频率的振幅较大的声波,使耳膜内的器官发生共振.比如乘坐飞机时,飞机从起飞到平稳的过程中,有一个阶段,你会感到你的耳朵里面鼓胀,这就是共鸣.近年来,有学者提出心率与晕动病也存在一定关系.为此英国有人调查了360名乘客,发现心率每分钟在50~60次的旅客搭软座汽车时易犯晕动病,心率在每分钟70次以上者,坐硬座汽车最易发生晕动病.他们

解释,在汽车行驶时,若座位的振动频率与旅客的心跳频率同步或接近,会引起物理学上共振现象的产生,从而发生晕动病.由此可见,共振与晕动病有密不可分的关系.目前来说,关于晕车的防治,药物治疗最为普遍,但不可否认,其对人体健康有潜在的负面影响.因此,基于晕动病的低频运动模型,来探究晕车、晕船的治疗方法,或将成为未来防止晕动病产生的主要研究方向^[12].

3.3 量子科技疗法与共振

提到近几年新兴的量子科技产品,还得从共振的原理说起.普朗克说:“我对原子的研究最后的结论是——世界上根本没有物质这个东西,物质是由快速振动的量子组成!”由于振动频率不同,从而产生不同意识或形态的物质.关于能量和物质之间的关系,爱因斯坦的质能方程 $E = mc^2$ 证明,物质皆由振动的能量组成^[13].可以说,万事万物都有独特的振动频率,并以此种方式吸收或释放能量.

以人体为例,小到细胞,大到器官,甚至连骨骼都处于波动状态,如果频率一致,就会发生共振,看似弱小的能量实则能造成很大的影响.从量子物理学的角度看,疾病是人体外在的表现形式,其本质在于人体受到外界恶劣环境的影响后造成的细胞频率的紊乱,致使器官产生病态^[14].因此,解决疾病的根源要从改善细胞频率着手.量子科技产品的原理是透过“共振”把人体组织从低频提升至高频能量状态,纠正紊乱的细胞磁场频率,使人体恢复健康.有科学研究表明,生物体内不同物质如蛋白质、DNA等,存在各自不同的振荡频率.通过控制量子波,使其与大分子物质振荡频率一致,从而发生谐振作用,使细胞从紊乱状态重新排序,并修复和活化受损伤的细胞^[15],以此实现治愈疾病的目的.例如,人体代谢方面,量子能量波可激活细胞活性,调节紊乱的水分子,改善人体微循环^[16],从而增强人体免疫力.再例如,能量波也可活化神经元,调节人体精神状态,缓解神经压力,改善睡眠等^[17].

理论上来说,量子治疗具有一定可行性.然而,量子技术当前尚未普遍用于民用领域,其主要应用领域包括国防和航空航天、土木工程以及无线通信

等.即便如此,面对广阔的发展前景,相信随着科技发展进步,量子科技终有一天会为人类生活造福.

4 结束语

当前,共振普遍用于生活中诸多领域,给生活带来极大便利,同时也会产生危害.共振具有较大发展潜力,若要实现共振的更好利用,我们就必须充分认识和了解共振.医学方面,共振目前主要用于临床诊断和康复治疗,其他方面涉及较少.但是相信不久的将来,在医学及其他领域,共振的应用将会更加广泛.

参考文献

- [1] 蔡红颖. 受迫振动的共振现象[J]. 周口师范高等专科学校学报, 2000(2): 19-21.
- [2] 杨吉民, 罗勇. 奇妙的共振现象[J]. 中国校外教育, 2012(28): 108.
- [3] 姚炯, 沈小娟. 物理课件中阻尼振动图象的绘制[J]. 中国教育技术装备, 2008(18): 70-72.
- [4] 张三慧. 大学物理学[M]. 3版. 北京: 清华大学出版社, 2021: 189-192.
- [5] 蔡圣军. 共振的应用与防止[J]. 发明与创新(学生版), 2007(2): 9-10.
- [6] 李若澜, 李若飞. 共振应用中的危害与防治[J]. 产业与科技论坛, 2015, 14(19): 53-54.
- [7] 周凤仙. 共振与灾难[J]. 生命与灾害, 2010(8): 32-33.
- [8] 肖荣辉, 黄海棠. 应用型本科院校通识课现象教学研究——以大学物理为例[J]. 西昌学院学报(自然科学版), 2017, 31(4): 107-110, 114.
- [9] 杨祯. X线、CT、核磁、超声,到底是如何“看”病的呢?[J]. 重庆医科大学学报, 2022, 47(4): 370, 503.
- [10] 姜辉, 朱浩文, 杨颜硕, 等. 磁共振技术在诊断膝关节损伤中的应用意义评估分析[J]. 影像研究与医学应用, 2022, 6(10): 167-169.
- [11] 王奇明. 防晕车“悬架—座椅—人体”系统研究与主动控制[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2020.
- [12] 毛芳敏. 减轻晕车发病率的汽车主动悬架与制动联合控制研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2019.
- [13] 李广平. 生命能量学的理论与实践[J]. 医学信息, 2016, 29(36): 14-15.
- [14] 河南爱怡家科技有限公司. 一种基于细胞共振的健康指标分析方法: CN201910316509. X[P]. 2019-07-09.

- [15] 深圳市航科量子科技有限公司. 一种基于量子高频共振的农作物种子处理方法及装置:CN202111001053.1[P]. 2021-11-23.
- [16] 汪华义, 纪玉霞. 量子美容健康水的应用价值探讨[C].

- 第十八届东南亚地区医学美容学术大会论文集, 2018: 29-31.
- [17] 长春场导生命信息科技有限公司. 一种生物能量共振舱:CN202121427866.2[P]. 2022-03-08.

Brief Analysis on Principle of Resonance Phenomenon and Its Medical Application

HUANG Bingxu KONG Zhiyong

(School of Intelligence and Information Engineering, Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan, Shandong 250000)

Abstract: Resonance is a double-edged, which is widely used in various fields such as medicine, biology, electromagnetism and acoustics in life. If resonance can be used reasonably and skillfully, it can bring convenience to life, and vice versa, it will cause harm. Based on the principle of resonance, this paper explains its application, harm and prevention and treatment, and analyzes the relationship between the nature of disease occurrence and resonance combined with clinical medicine, and illustrated the development potential of resonance in diagnostics, and discusses the application prospect of resonance in the treatment of some diseases in the field of quantum science and technology, so as to provide reference for the further application and development of resonance phenomenon.

Key words: forced vibration; resonance; application; harm; medical treatment

(上接第 141 页)

若研究过程选取 $t = 1 \text{ h}$, 会有什么区别? 在时间 t 内到达莲叶的雨水质量: $m = \rho Sh$. 在时间 t 内作用在 m 上的重力冲量 I_G 与 m 撞击莲叶的动量变化量大小 $|\Delta p|$ 之比为

$$\frac{I_G}{|\Delta p|} = \frac{mgt}{mv} = \frac{10 \times 3\ 600}{12}$$

即 $I_G \gg |\Delta p|$, 那么 I_G 不可忽略? 即

$$- Ft + mgt = m(0 - v)$$

仔细辨别一下这个研究过程会发现: 虽然在 $t = 1 \text{ h}$ 内, 共有质量为 m 的雨滴掉落在莲叶上, 但 m 并不是同时掉落在莲叶上, $I_G = mgt$ 中的 m 应为每个瞬间 Δt 掉落的 Δm ($\Delta t \rightarrow 0, \Delta m \rightarrow 0$), 故

$$I_G = \Delta mgt \ll |\Delta p|$$

可以忽略. 即

$$- Ft = m(0 - v) \quad (4)$$

由于在每个瞬间 Δt 内只有一小段雨水微元 Δm 与莲叶相接触, 故即使对全过程 $t = 1 \text{ h}$ 列式(4), 其

实是对各个 Δt 中式(2) 叠加的结果, 也用到了微柱元法的思想. 微柱元法相较于全程法, 更加贴近流体问题中相互作用的本质, 更容易避开误区.

3 总结

在处理流体问题时, 先通过“微柱元法”建立起熟悉的质点模型, 再通过对相互作用过程的理解与分析选择正确的定理定律解决问题. 以上 3 个思维困惑的探讨, 虽然解答各不相同, 但其实都围绕着一个主题: 研究对象和研究过程的选择. 准确清晰地选好研究对象与研究过程是物理问题探讨的基础, 也是学生基本物理素养的体现.

参考文献

- [1] 颜辉, 王素云. 求解“连续体冲击力问题”可以用全过程法吗[J]. 物理教学, 2022(4): 45-46.
- [2] 吴立锋. 流体冲击力问题例析[J]. 中学物理教学参考, 2019(6): 47-49.