全国高等医药院校规划教材

医用物理学学习指导

主编　张延芳

科学出版社

全国高等医药院校规划教材

医用物理学学习指导

主　编　张延芳

编　委　（以姓氏笔画为序）

王　勇　冯永振　李　英

李绍新　陈英华　陈鸿鹏

吴　琴　吴兴达　张延芳

曹会英

科学出版社

北　京

内　容　简　介

本书是根据教育部关于医用物理学教学大纲、教学计划的基本要求,结合高等医药院校人才培养模式和我校的教学特色而制定,是张延芳主编的《医用物理学》配套学习教材和同步复习指南,也是我们多年的教学实践和体会。全书分三部分,第一部分是理论学习指导,第二部分是理论教材课后思考和习题的详细解答,第三部分是考试模拟题型与解答。

本书可供全国高等医药院校的医学临床、预防医学、药学、医学检验、卫生检验、麻醉、口腔、影像、皮肤、护理、信息管理等本科学生使用,也可作为广大教师和工作人员的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

医用物理学学习指导 / 张延芳主编 .—北京:科学出版社,2014. 1
全国高等医药院校规划教材
ISBN 978-7-03-039624-2

Ⅰ. 医…　Ⅱ. 张…　Ⅲ. 医用物理学-医学院校-教学参考资料
Ⅳ. R312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 012002 号

责任编辑:李　植　周万灏 / 责任校对:刘亚琦
责任印制:肖　兴 / 封面设计:范璧合

科学出版社 出版
北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
http://www.sciencep.com

北京市文林印务有限公司 印刷
科学出版社发行　各地新华书店经销
*
2014 年 1 月第　一　版　　开本:787×1092　1/16
2014 年 1 月第一次印刷　　印张:9 1/2
字数:239 000

定价:24. 80 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前　　言

医用物理学是物理学与医学相结合所形成的交叉学科,是高等医药院校的一门重要的必修公共基础课。学生通过学习这门课程,掌握物理学的基本理论、研究方法和思维方式,熟悉和了解物理学在医学领域中的应用,为后续课程的学习和培养高级医药卫生人才奠定坚实的理科基础。

本书将教学内容分为三级:掌握内容(一级要求),理解内容(二级要求)和了解内容(三级要求)。本书根据教学计划和我校的教学特色而制定,是上课所用教材的同步复习指南,也是我们多年的教学实践和体会,针对每章的内容提出基本要求、内容提要、例题和习题,力求为学生掌握和理解教材内容提供一种有效途径,从而提高医用物理学的教学质量。每章的基本要求指出需掌握、理解和了解的内容;例题给出解题方法,易犯的错误及本章要点;习题的多样化强化培养学生的分析问题和解决问题的能力。

本书由广东医学院信息工程学院物理教研室长期工作在教学第一线的张延芳(编写第一章、第三章第一节)、陈英华(编写第二章)、李英(编写第三章的第二节、第五章)、王勇(编写第四章)、李绍新(编写第六章)、吴琴(编写第七章)、陈鸿鹏(编写第八、十一章)、冯永振(编写第九和十章),曹会英(整理课后习题第二部分)和吴兴达(编写模拟试题第三部分)老师编写,最后由张延芳老师主审全书,统一整理,修改,定稿。

由于编者水平有限,经验不足,书中难免有缺点、错误或不妥之处,请广大师生、同行和读者批评指正。

张延芳

2013 年 10 月

目　　录

第一部分　理论学习指导

第一章　流体的运动 …………………………………………………… (1)
第二章　振动、波动和声 ……………………………………………… (12)
第三章　分子动理论 ………………………………………………… (24)
　第一节　气体的分子动理论 ……………………………………… (24)
　第二节　液体的表面现象 ………………………………………… (28)
第四章　静电场 ……………………………………………………… (31)
第五章　直流电 ……………………………………………………… (41)
第六章　波动光学 …………………………………………………… (46)
第七章　几何光学 …………………………………………………… (55)
第八章　量子力学基础 ……………………………………………… (64)
第九章　激光及其医学应用 ………………………………………… (67)
第十章　X 射线 ……………………………………………………… (69)
第十一章　原子核物理学基础 ……………………………………… (74)

第二部分　《医用物理学》(张延芳主编)各章习题详解

第十二章　生物力学基础 …………………………………………… (77)
第十三章　流体的运动 ……………………………………………… (81)
第十四章　振动、波动和声 ………………………………………… (86)
第十五章　分子动理论 ……………………………………………… (92)
第十六章　热力学基础 ……………………………………………… (96)
第十七章　静电场 …………………………………………………… (101)
第十八章　磁场 ……………………………………………………… (106)
第十九章　直流电 …………………………………………………… (114)
第二十章　波动光学 ………………………………………………… (118)
第二十一章　几何光学 ……………………………………………… (123)
第二十二章　量子力学 ……………………………………………… (127)
第二十三章　X 射线及其医学应用 ………………………………… (130)
第二十四章　原子核物理学基础 …………………………………… (131)

第三部分　模拟试题

《医用物理学》模拟试卷一 ………………………………………… (135)
《医用物理学》模拟试卷二 ………………………………………… (139)
《医用物理学》模拟试卷三 ………………………………………… (143)

第一部分　理论学习指导

第一章　流体的运动

一、基本要求

（1）熟练掌握理想流体、稳定流动的概念；熟练掌握连续性方程及伯努利方程的物理意义及其应用。

（2）理解牛顿黏滞定律；理解层流、湍流、雷诺数、理解泊肃叶定律的意义和应用；理解斯托克斯定律。

（3）了解血液在循环系统中的流动。

二、内容提要

1. 概念　流体，流动性、黏滞性（也称黏性）、可压缩性、理想流体，流线，流管，稳定流动（也称定常流动），体积流量，质量流量，连续性方程，伯努利方程，静压强，动压强，计示压强，空吸作用，流量计，流速计（也称皮托管），速度梯度，黏滞力、黏度（也称为黏滞系数）、剪应力也称切应力、切变率、牛顿黏滞定律，牛顿流体，非牛顿流体，层流，湍流；过渡流，雷诺数，黏性流体的伯努利方程，泊肃叶定律，流阻，外周阻力、斯托克斯定律，沉降速度也称收尾速度、血压、收缩压、舒张压、血液黏度，血细胞的轴向集中。

2. 内容　气体和液体统称为流体，流体具有流动性、黏滞性和可压缩性。理想流体是一种理想模型，是绝对不可压缩、完全没有黏性的流体。流体在做定常流动（也称稳定流动）时，在任意时刻流体质点流经空间任一给定点的速度不随时间变化。

流线上每一点的切线方向与该时刻流经该点流体质点的速度方向一致。流线的分布随时间而变化，流线不可相交；流线分布密集处流速大，流线分布稀疏处流速小，稳定流动的流体流线分布不随时间变化。

由连续性方程可知，流体质量流量守恒，但不一定体积流量守恒，只有当流体是不可压缩的流体时才体积流量守恒。因此，对于不可压缩的流体在水平流管中做稳定流动时，截面积越大流速越小；截面积越小流速越大。

伯努利方程解决了流体流速、压强和高度三者之间的关系，理想流体单位面积的压强能、动能和势能之和守恒。理想流体在水平流管做稳定流动，截面积越大流速越小压强越大；截面积越小流速越大压强越小。空吸作用、流量计、流速计是伯努利方程在水平管中的典型应用。而对于截面积相同的流管，由于流速相同流管越高压强越小流管越低压强越大，因此，当人体体位发生变化的时候必然会影响血压的变化。

黏性流体在做稳定流动时是分层流动的，在轴线上流速最大，速度梯度为零；管壁处流速为零，速度梯度最大。牛顿黏滞定律表明做层流的黏性流体，相邻两流层之间的内摩擦力与两流

层的接触面积成正比,与该处的速度梯度成正比。自然界的流体分为牛顿流体和非牛顿流体。牛顿流体的黏度在某一温度下不随切变率变化,是一常量;非牛顿流体的黏度在某一温度下随切变率的变化而变化,是一变量。血液是非牛顿流体,临床很多疾病例如高血压、糖尿病、脑出血、脑血栓、颈椎病等都会伴随有血液黏度异常特点。

雷诺数是一无量纲的纯数,可以判断流体的运动状态,在长直圆管内,雷诺数小于 1000,流体做层流;大于 1000 小于 1500 做过渡流,大于 1500 做湍流。湍流伴随有大量的能量消耗和很大的响声,临床听诊器利用湍流的响声辨别血流和呼吸在人体内是否正常,对疾病的诊断有重要的意义。

黏性流体在水平、横截面积相同的流管中流动,单位体积内消耗的能量就是流管两端压强差的大小。

由泊肃叶定律可知影响流体体积流量的四个因素(流管两端的压强差、流管半径、流管长度、流体黏度)中,半径的影响最大。

当固体颗粒在黏性液体中有相对速度运动时,最终以一个不变的收尾速度保持匀速运动,利用离心机可以快速分离液体中不同的物质。

平均动脉压是指一个心动周期中动脉血压的平均值,常用 1/3 的收缩压和 2/3 的舒张压来估算其大小。血液循环靠心脏做功来维持,只要测出主动脉的平均血压和流速,就能估算出心脏对单位体积血液所做的总功大小。血液从主动脉到毛细血管,血管面积逐渐增加,导致血流速度逐渐减慢,从毛细血管再到静脉,血管面积又逐渐减小,导致血流速度又逐渐加快。

3. 表达式、定律(或公式)

体积流量 $Q=Sv$; 质量流量 $G=Sv\rho$;

连续性方程:

可压缩流体
$$S_1v_1\rho_1=S_2v_2\rho_2$$

不可压缩流体
$$S_1v_1=S_2v_2$$

伯努利方程:
$$\frac{1}{2}\rho v_1^{\ 2}+\rho gh_1+p_1=\frac{1}{2}\rho v_2^{\ 2}+\rho gh_2+p_2$$

计示压强
$$p_{计示}=p_{实际}-p_0$$

动压强
$$\frac{1}{2}\rho v^2$$

静压强
$$\rho gh+p$$

雷诺数
$$R_e=\frac{\rho vr}{\eta}$$

牛顿黏滞定律
$$F=\eta s\frac{dv}{ds}\quad 或\ \tau=\eta\dot{\gamma}$$

黏性流体的伯努利方程
$$\frac{1}{2}\rho_1v_1^{\ 2}+\rho gh_1+p_1=\frac{1}{2}\rho v_2^{\ 2}+\rho gh_2+p_2+w$$

泊肃叶定律
$$Q=\frac{\pi R^4(p_1-p_2)}{8\eta L}$$

$$或\ Q=\frac{\Delta p}{R_f},流阻\ R_f=\frac{8\eta L}{\pi R^4}$$

速度 与流层半径 r 关系($0\leqslant r\leqslant R$)

$$v=\frac{p_1-p_2}{4\eta L}(R^2-r^2)$$

斯托克斯定律　　$f = 6\pi r\eta v$

沉降速度　　$v_T = \dfrac{2}{9\eta} r^2(\rho - \rho')g$

心脏做功　　$w = w_L + w_R = \dfrac{7}{6} p_{1,2} + \rho v^2$

平均动脉压　　$\bar{p} = p_{舒张} + \dfrac{1}{3} p_{脉动}$

三、例　　题

【例 1-1】 不同截面积的流管水平放置,流量为 $3\times10^{-3}\ m^3/s$,粗处流速为 1m/s,细处流速为 3m/s,在粗细处接一 U 形管,求:①粗处、细处的面积;②粗细处压强差;③U 形管中水银柱的高度差?(水的密度:$10^3 kg/m^3$,水银密度:$13.6\times10^3 kg/m^3$,$g\approx10m/s^2$)

解:①由连续性方程 $Q = Sv$ 可知:

$$S_{粗} = \frac{Q}{v_{粗}} = \frac{3\times10^{-3}}{1} = 30\ (cm^2),\ S_{粗} = \frac{Q}{v_{细}} = \frac{3\times10^{-3}}{3} = 10cm^2$$

②伯努利方程

$$p_{细} + \rho g h_{细} + \frac{1}{2}\rho v_{细}^2 = p_{粗} + \rho g h_{粗} + \frac{1}{2}\rho v_{粗}^2$$

$$h_{细} = h_{粗},$$

$$\Delta p = p_{粗} - p_{细} = \frac{1}{2}\rho(v_{细}^2 - v_{粗}^2) = \frac{1}{2}\times10^3\times(3^2 - 1^2) = 4\times10^3 p_a = 4kP_a$$

③$p_{粗} + \rho_{水银} g h_{粗} = p_{细} + \rho_{水银} g h_{细}$,

$$\Delta p = p_{粗} - p_{细} = \rho_{水银} g \Delta h,\ \Delta h = \frac{4\times10^3}{13.6\times10^3\times10} = 2.9cm$$

答:①粗处、细处的面积为 $30cm^2$、$10cm^2$;②粗细处压强差为 4kPa;③U 形管中水银柱的高度差为 2.9cm。

【例 1-2】 有一横截面为 $6.0cm^2$ 的虹吸管把截面极大的容器中的水以 $3m\cdot s^{-1}$ 速度从出水口 D 吸出,虹吸管最高点 B 比容器液面 A 高出 1.2m,见图 1-1,若不计内摩擦,水作稳定流动的条件下,求出水口 D 比容器液面高度低多少?管内最高点 B 的压强是多少?($g\approx10m/s^2$)

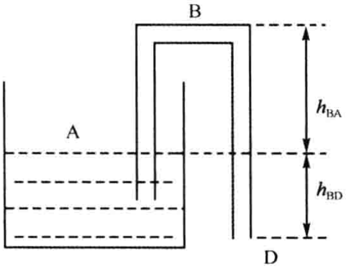

图 1-1　例 1-2

解:①选 A、D 两处列伯努利方程,得

$$p_A + \rho g h_{AD} + \frac{1}{2}\rho {v_A}^2 = p_D + \rho g h_D + \frac{1}{2}\rho {v_D}^2$$

其中,$S_A \gg S_D$,$v_A \approx 0$,$h_D = 0$,$p_A = p_D = p_0$,则有

$$h_{AD} = \frac{{v_D}^2}{2g} = \frac{3^2}{2\times10} = 0.45m$$

②选 B、D 两处列伯努利方程,得

$$p_B + \rho g h_B + \frac{1}{2}\rho {v_B}^2 = p_D + \rho g h_D + \frac{1}{2}\rho {v_D}^2$$

其中,$p_D = p_0$,$h_D = 0$,$S_B = S_D$,则有 $v_B = v_D$

$$p_B = p_0 - \rho g h_B = 1.0\times10^5 - 10^3\times10\times(1.2 + 0.45) = 8.35\times10^4 Pa$$

答:出水口 D 比容器液面低了 0.45 米,管内最高点 B 的压强为 8.35×10^4Pa。

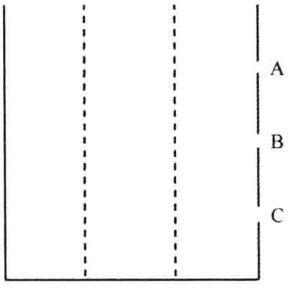

图 1-2 例 1-3

【例 1-3】 在水平地面上放置一容量很大的水箱,箱壁上不同高度处等间隔处开有 A、B、C 三个小孔(见图 1-2),B 刚好是水深 H 的一半,从三孔中射出的水落到地面的速率最大的是哪孔?三孔中水平射程最远的又是哪孔?

解:设 A,B,C 三孔分别与水箱的水面垂直距离为 h_{A1}、h_{B1}、h_{C1},与水箱的底垂直距离为 h_{A2}、h_{B2}、h_{C2},则水深 $H=h_{A1}+h_{A2}=h_{B1}+h_{B2}=h_{C1}+h_{C2}$,以水面和 A 孔列伯努利方程,出水口的速度就是从孔中射出的水平速度,水箱水面下降的速度忽略不计 $v_1\approx0$,则有

$$\rho gh_1+p_1=\frac{1}{2}\rho v_2^2+p_2$$

$$p_1=p_2=p_0$$
$$h_1=h_{A1}$$
$$v_2=v_{A1}=\sqrt{2gh_{A1}}$$

同理,B、C 孔的出水速度为

$$v_{B1}=\sqrt{2gh_{B1}}$$
$$v_{C1}=\sqrt{2gh_{C1}}$$

A、B、C 三孔射出的水在垂直方向做自由落体运动,在垂直方向上落地时的速度的大小为:$v_{A2}=\sqrt{2gh_{A2}}$,$v_{B2}=\sqrt{2gh_{B2}}$,$v_{C2}=\sqrt{2gh_{C2}}$。A 孔落地时的合速度 v_A 等于水平速度 v_{A2}和垂直速度 v_{A1}的矢量和,即

$$v_A=\sqrt{v_{A1}^2+v_{A2}^2}=\sqrt{2gH}$$

同理,有

$$v_B=\sqrt{v_{B1}^2+v_{B2}^2}=\sqrt{2gH}$$
$$v_C=\sqrt{v_{C1}^2+v_{C2}^2}=\sqrt{2gH}$$

即 A、B、C 三孔射出的水落地时的速率一样快。大小为

$$v_A=v_B=v_C=\sqrt{2gH}$$

由于 $h_{A2}=\frac{1}{2}gt_A^2$,所以 $t_A=\sqrt{\frac{2h_{A2}}{g}}$,同理 $t_B=\sqrt{\frac{2h_{B2}}{g}}$,$t_C=\sqrt{\frac{2h_{C2}}{g}}$

则 A 孔水平射程为 $x_A=v_At_A=2\sqrt{h_{A1}h_{A2}}$

同理,B、C 孔的水平射程为

$$x_B=v_Bt_B=2\sqrt{h_{B1}h_{B2}},\ x_C=v_Ct_C=2\sqrt{h_{C1}h_{C2}}$$

B 为 H 的中点,A、B、C 是等间隔的,故 $h_{B1}=h_{B2}=\frac{1}{2}H$,同时 $h_{A1}=h_{AB}=h_{BC}=h_{C2}=\frac{H}{4}$,

则:
$$x_A=2\sqrt{h_{A1}h_{A2}}=2\sqrt{\frac{H}{4}\cdot\frac{3H}{4}}=\frac{\sqrt{3}}{2}H$$

$$x_B=2\sqrt{h_{B1}h_{B2}}=2\sqrt{\frac{H}{2}\cdot\frac{H}{2}}=H$$

$$x_C=2\sqrt{h_{C1}h_{C2}}=2\sqrt{\frac{3H}{4}\cdot\frac{H}{4}}=\frac{\sqrt{3}}{2}H$$

所以,$x_B>x_A=x_C$,即 B 孔水平射程量远

【例 1-4】　若将某个红细胞近似看成半径为 2.0×10^{-6}m 的小球，红细胞的密度为 1.09×10^{3} kg·m^{-3}，血浆的密度为 1.04×10^{3}kg·m^{-3}，血浆的黏度为 1.2×10^{3} mPa·s，求 ①红细胞在 37℃ 的血液中沉降 1cm 所需要的时间是多少？②如果把血液放在 10^{5}g 离心机中离心，同样沉降 1cm 所需要的时间又是多少？

解：①沉降速度为

$$v_{\mathrm{T}}=\frac{2}{9\eta}r^{2}(\rho-\rho')g$$

$$=\frac{2}{9\times1.2\times10^{-3}}\times(2.0\times10^{-6})^{2}\times(1.09\times10^{3}-1.04\times10^{3})\times9.8$$

$$=0.36\times10^{-6}\mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

沉降 1cm 所需要的时间

$$t=\frac{s}{v_{T}}=\frac{1\times10^{-2}}{0.36\times10^{-6}}=2.8\times10^{4}\mathrm{s}$$

②离心机中的沉降速度为

$$v_{\mathrm{T}}=\frac{2}{9\eta}r^{2}(\rho-\rho')\times10^{5}g$$

$$=\frac{2}{9\times1.2\times10^{-3}}\times(2.0\times10^{-6})^{2}\times(1.09\times10^{3}-1.04\times10^{3})\times10^{5}\times9.8$$

$$=0.36\times10^{-1}\mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

沉降 1cm 所需要的时间

$$t=\frac{s}{v_{T}}=\frac{1\times10^{-2}}{0.36\times10^{-1}}=0.28\mathrm{s}$$

答：①红细胞在 37℃ 的血液中沉降 1cm 所需要 2.8×10^{4}s；②如果把血液放在 10^{5}g 离心机中离心，同样沉降 1cm 所需要 0.28s 的时间。

四、习　题

（一）单选题

1. 适用连续性方程的流体是

A. 理想流体　　B. 非牛顿流体　　C. 牛顿流体　　D. 任何流体

2. 流线分布与时间无关的条件一定是

A. 理想流体　　B. 稳定流动　　C. 黏性流体做层流　　D. 黏性流体做湍流

3. 理想流体做稳定流动时

A. 流体流经空间各点的流线一定会平行

B. 流体流经空间各点的流速一定随时间而改变

C. 流体流经空间各点的流速一定不随时间而改变

D. 流体流经空间各点的流线有可能会相交

4. 如图 1-3 所示，忽略水在管中流动过程中消耗的能量，分别插入玻璃毛细管 1 和 2，则管 1 和 2 管内液面高度

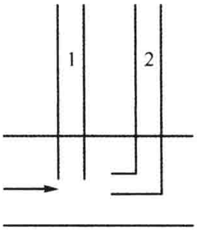

图 1-3　单选题 4

A. 一样高　　B. 无法判断

C. 1 比 2 的低　　D. 1 比 2 的高

5. 假设图 1-3 中流管内的流体为理想流体，管 1 和 2 管中液体的高度

差等于

A. 流体的动压　　B. 流体的静压　　C. 大气压　　D. 以上答案都不对

6. 如图 1-4 所示,1、2、3 和 4 处的流速关系

A. $v_4 = v_3 > v_2 = v_1 = 0$　　B. $v_4 = v_3 > v_2 = v_1 > 0$

C. $v_4 = v_3 = v_2 = v_1 = 0$　　D. $v_4 = v_3 = v_2 > v_1 = 0$

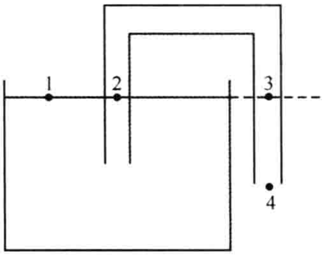

图 1-4　单选题 7

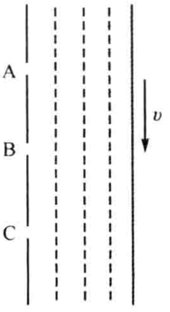

图 1-5　单选题 8

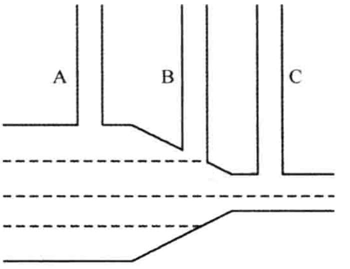

图 1-6　单选题 10

7. 如图 1-4 所示,1、2、3 和 4 处的压强关系

A. $p_3 > p_1$　　B. $p_1 = p_4 > p_2$　　C. $p_2 = p_1 = p_0$　　D. $p_4 > p_1 = p_0$

8. 如图 1-5 所示,有一天然气管道,假设天然气为理想流体做稳定流动,若管壁上不同高度处开了 A、B、C 三个相同的小孔,其中 B 孔和外界无物质交换(忽略天然气与空气因扩散而进行的物质交换),则

A. A、C 两孔均有空气吸入管内。　　B. A、C 两孔均有天然气泄漏。

C. A 孔有天然气泄漏,C 孔有空气吸入。　　D. A 孔有空气吸入、C 孔有天然气泄漏。

9. 理想流体在水平管中做稳定流动时,截面积 S,压强 p, 流速 v 间的关系是:

A. S 越大 p 越小 v 越小　　B. S 越大 p 越小 v 越大

C. S 越大 p 越大 v 越小　　D. S 越大 p 越大 v 越大

10. 如图 1-6 所示,水在玻璃管中做稳定流动,在 A,B,C 三个细管中水上升的高度:

A. 一样高　　B. A 最高　　C. B 最高　　D. C 最高

11. 理想流体在粗细不均匀,位置高低不同的流管中作稳定流动时,

A. 位于高处的压强一定比较大　　B. 位于高处的压强一定比较小

C. 位于高处的流速一定比较小　　D. 位于高处的单位体积的势能一定大

12. 血液从动脉到毛细血管速度逐渐变慢的主要原因是

A. 毛细血管半径太小　　B. 毛细血管内压强太低

C. 血液是非牛顿流体　　D. 毛细血管总面积大于动脉管面积

13. 黏度为 η 的流体在半径为 r 的水平管中流动,流阻为 R,若在半径为 $r/3$ 水平管中流动,其流阻为

A. $R/81$　　B. $81R$　　C. $3R$　　D. $R/3$

14. 实际液体黏度和下列因素有关的是

A. 流管半径　　B. 流速　　C. 压强　　D. 内摩擦力

15. 实际流体在圆管中做稳定流动,其流速

A. 管壁处最大　　B. 管壁处大于零

C. 中心轴线上最大　　D. 中心轴线上流速最小

16. 实际流体在圆管中做稳定流动,其速度梯度

A. 管壁处最大　　B. 管壁处为零

C. 中心轴线上最大　　D. 中心轴线上大于零

17. 非牛顿流体的黏度

A. 随切变率变化而变化　　B. 和温度无关

C. 随温度升高而增加　　D. 和切变率无关

18. 牛顿流体的黏度

A. 随温度升高而增加　　B. 不随温度变化而变化

C. 随切变率变化而变化　　D. 不随切变率变化而变化

19. 黏性流体在半径为 R 的流管中做稳定层流，在半径为 $r(0<r<R)$ 处的黏性力与下列哪些因素有关

A. 半径 R　　B. 管壁的速度梯度

C. 速度　　D. 黏度

20. 下列正确的描述是

A. 层流的响声大于湍流，层流消耗的能量大于湍流消耗的能量

B. 层流的响声小于湍流，层流消耗的能量大于湍流消耗的能量

C. 层流的响声大于湍流，层流消耗的能量小于湍流消耗的能量

D. 层流的响声小于湍流，层流消耗的能量小于湍流消耗的能量

21. 当黏性较小的流体在半径较大的水平圆管中缓慢流动时，流体

A. 分层流动

B. 相邻流层的流体粒子有相互交换

C. 越靠近中央轴线的流层流速越小，越靠近管壁的流层流速越大

D. 同一流层的流体流速不相等

22. 雷诺数

A. 是个纯数　　B. 用来判断理想流体流动的形式

C. 是个有量纲的数　　D. 用来判断黏性流体流动快慢的

23. 医生利用听诊器分辨不同的心音，是根据

A. 湍流能引起杂音　　B. 层流能引起杂音

C. 雷诺数　　D. 心脏跳得快慢

24. 固体微小颗粒在液体中的沉降速度

A. 是变量　　B. 是颗粒的重力与浮力平衡的结果

C. 保持不变　　D. 是颗粒的重力与摩擦阻力平衡的结果

25. 物质的沉降速度

A. 与物质的密度无关　　B. 与所在液体的密度无关

C. 与物质的大小无关　　D. 与所在液体的黏度有关

（二）填空题

1. 实际流体具有三性指的是________、________、________。

2. 伯努利方程描述了处于重力场中（流管内）的理想流体作稳定流动时，流体在流管中各处的________、________和________的关系。

3. 将两张完全一样的纸相对放置，中间留有一定的缝隙，向缝中吹气时，这两张纸会________________。

4. 文丘利流量计和比托管流速计都是利用伯努利方程中的________和________的关系设计的。

5. 水在粗细均匀的虹吸管中流动，图 1-7 中四点压强 p_1、p_2、p_3、p_4 的关系是____________。

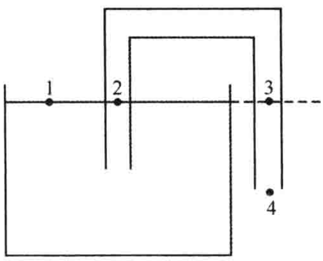

图 1-7 填空题 5

6. 在一个垂直的玻璃管中，下面是无色的甘油，上面是红色的甘油(红色甘油的密度略大无色甘油的密度)，当玻璃管下端的阀门关闭时，二种甘油的分界面从正面看是一个清晰的水平线，当下端的阀门打开后，让甘油缓慢流动，一段时间后，从正面看分界面是________。

7. 在血管半径，血压、血管长度保持不变的情况下，______升高会引起血流量减小。

8. 雷诺数是用来判断________做层流还是做湍流。

9. 斯托克斯定律要求液体相对于固体小球作________运动。

10. 在自然状态下分离较慢的物质，可以利用________进行分离。

11. 设血液离开左心室时单位体积的压强为 p_A，流速为 v_A，血液黏度为 η，密度为 ρ，根据伯努利方程，可计算出整个心脏对单位体积血液所作的功近似可表达为____________。

(三) 计算题

1. 如图 1-8 所示，容器 A 的横截面积远远大于虹吸管的横截面积，试求：①水从虹吸管中流出的速度 v_D？②虹吸管能工作时，其最高处 B 和出水口 D 之间的最大垂直距离大约是多少米($g \approx 10\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)？

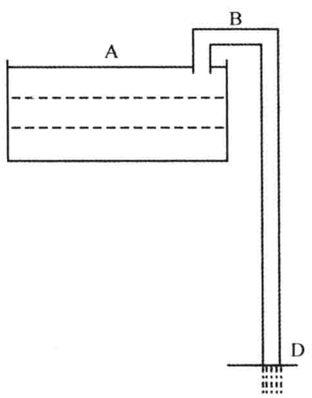

图 1-8 计算题 1

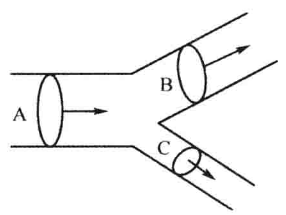

图 1-9 计算题 3

2. 在水管的某处 A，水的流速为 $2\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$，该处的计示压强为 10^4Pa。在水管中选取的另一处 B 高度比该处降低了 1m，如果在 B 处水管的横截面积是 A 处的一半，试计算 B 处的计示压强？

3. 如图 1-9 所示的水管，在流过 A 管后，分两支由 B，C 二管流去。已知三管的横截面积分别为 $S_A = 100\text{cm}^2$，$S_B = 80\text{cm}^2$，$S_C = 40\text{cm}^2$，A，B 二管中的流速分别为 $v_A = 40\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$，$v_B = 30\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$，求 C 管中的流速？

4. 当水在粗细不均匀的水平管中作稳定流动，最细处截面积为出口处截面积的 1/4 倍，如果出口处的流速为 $1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$，问最细处的压强为多少？若在最细处开一小口，会发生什么现象？

5. 如图 1-10 所示的采气管，采集 CO_2 气体。如果压强计的水柱差为 2cm，采气管的横截面积是 10cm^2，求 5 分钟采集的气体的量是多少 m^3？已知气体的密度是 $2\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$。

6. 血液流过长 3mm 半径 2μm 的毛细管，如果平均流速是 $0.33\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$，血液的黏滞系数为 $4 \times 10^{-3}\text{Pa} \cdot \text{s}$，求：①毛细血管中的血压降；②毛细血管中的血流量；③毛细血管中的流阻；④若通过主动脉的血流量是 $41.5\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$，试估算体内毛细血管的总数。

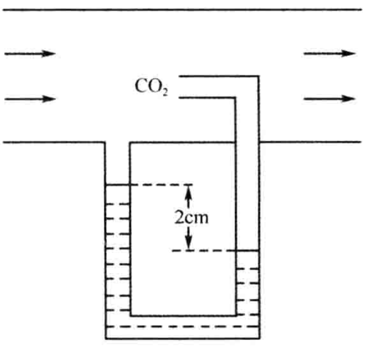

图 1-10 计算题 5

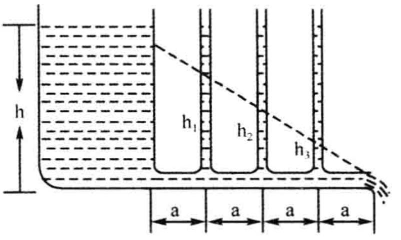

图 1-11 计算题 7

7. 如图 1-11 所示，牛顿流体沿水平管流动时，压强沿管路降低的情况。若图中 h = 23cm，h_1 = 15cm，h_2 = 10cm，h_3 = 5cm，a = 10cm，求牛顿流体流动的速度是多少？

8. 排尿时尿从计示压强为 40mmHg 的膀胱经过尿道后由尿道口排出，尿道长 4cm，流量 $21cm^3 \cdot s^{-1}$。尿的黏滞系数 $6.9\times10^{-4}Pa \cdot s$，求尿道的有效直径是多少？

9. 某人站立时，身高 165cm，心脏部位的血压为 95mmHg，高度为 120cm，血液的密度 $1.059g \cdot cm^{-3}$，其头部与脚部两处的平均血压差是多少？

10. 如图 1-12 所示，在大容器中装入密度为 ρ 高度为 h 的液体，液体从容器的底侧部细管流出，细管的长为 L、半径为 γ，若单位时间内流出的体积为 Q，求液体的黏滞系数 η。

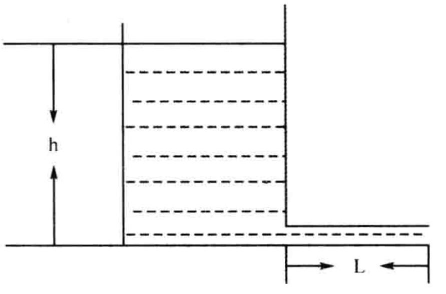

图 1-12 计算题 10

（四）简答题

1. 在一粗细均匀的水平管上等距离地任选三点，竖直接上三个支管，分析下列情况三竖直支管中的液面高度：①理想流体在管中流动；②实际液体在管中流动；③液体在管中不流动。

2. 自来水龙头开关保持不变的情况下流出来的水为什么会越来越细？

3. 黏度反映了流体的什么性质？

五、答 案

（一）单选题

1. D 2. B 3. C 4. C 5. A 6. D 7. B 8. C 9. C 10. B 11. D 12. D 13. B
14. D 15. C 16. A 17. A 18. D 19. D 20. D 21. A 22. A 23. A 24. C 25. D

（二）填空题

1. 流动性，黏滞性，可压缩性 2. 流速，压强，高度 3. 相互靠拢 4. 压强，流速
5. $p_1=p_4=p_0>p_3=p_2$ 6. 一条抛物线 7. 血液黏度 8. 黏性流体 9. 匀速层流
10. 离心机 11. $\frac{7}{6}p_A + \rho v_A^2$

（三）计算题

1. 解：①选 A、D 两处列伯努利方程，得

$$p_A + \rho g h_{AD} + \frac{1}{2}\rho v_A{}^2 = p_D + \rho g h_D + \frac{1}{2}\rho v_D{}^2$$

其中，$S_A \gg S_D, v_A \approx 0, h_D = 0, p_A = p_D = p_0$，则有 $v_D{}^2 = \sqrt{2gh_{AD}}$

②选 B、D 两处列伯努利方程，得

$$p_B + \rho g h_B + \frac{1}{2}\rho v_B{}^2 = p_D + \rho g h_D + \frac{1}{2}\rho v_D{}^2$$

其中，$p_D = p_0, h_D = 0$，

$\because S_B = S_D$，$\therefore v_B = v_D$，则有 $p_B + \rho g h_B = p_0$，$h_B = \frac{1}{\rho g}(p_0 - p_B)$

$\because p_{B\min} = 0$

$\therefore h_{B\max} = \frac{1}{\rho g}p_0 = \frac{1}{10^3 \times 10}1.0 \times 10^5 = 10\text{m}$

2. $\because S_A v_A = S_B v_B \quad \therefore v_B = \frac{S_A v_A}{S_B} = 2v_A = 4\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

$$p_A + \rho g h_A + \frac{1}{2}\rho v_A{}^2 = p_B + \rho g h_B + \frac{1}{2}\rho v_B{}^2$$

其中，$h_A = 1, h_B = 0,\ p = p_0 + p_{技示}$

$$(p_{A0} + p_{A技示}) + 1 \times 10^3 \times 9.8 \times 1 + \frac{1}{2} \times 1 \times 10^3 \times 2^2 = (p_{B0} + p_{B技示}) + \frac{1}{2} \times 1 \times 10^3 \times 4^2$$

$p_{B技示} = 1.38 \times 10^4\text{Pa}$

3. $\because S_A v_A = S_B v_B + S_C v_C$

$$\therefore v_C = \frac{S_A v_A - S_B v_B}{S_C} = \frac{100 \times 40 - 80 \times 30}{40} = 40\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$$

4. $\because S_{细} v_{细} = Sv$

$$\therefore v_{细} = \frac{Sv}{S_{细}} = 4v = 4 \times 1 = 4\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$p_{细} + \frac{1}{2}\rho v_{细}{}^2 = p_0 + \frac{1}{2}\rho v^2$$

$$p_{细} = p_0 + \frac{1}{2}\rho v^2 - \frac{1}{2}\rho v_{细}{}^2 = 1.013 \times 10^5 + \frac{1}{2} \times 10^3 \times 1^2 - \frac{1}{2} \times 10^3 \times 4^2 = 9.38 \times 10^4\text{Pa}$$

$p_{细} = 9.38 \times 10^4(\text{Pa}) < p_0 = 1.013 \times 10^5\text{Pa}$

答：若在最细处开一小口，将会有空吸入现象。

5. $p_{左} + \frac{1}{2}\rho_{气} v^2 = p_{右}$

$p_{右} = p_{左} + \rho_{水} gh$

$$v = \sqrt{\frac{2\rho_{水} gh}{\rho_{气}}} = \sqrt{\frac{2 \times 10^3 \times 9.8 \times 2 \times 10^{-2}}{2}} = 14\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$Q = Svt = 10 \times 10^{-4} \times 14 \times 5 \times 60 = 4.2\ (\text{m}^3)$

6. $$\Delta p = \frac{8\eta l Q}{\pi r^4} = \frac{8\eta l \pi r^2 v}{\pi r^4} = \frac{8\eta l v}{r^2} = \frac{8 \times 4 \times 10^{-3} \times 3 \times 10^{-3} \times 0.33 \times 10^{-3}}{(2 \times 10^{-6})^2} = 7.92 \times 10^3\text{Pa}$$

$Q = Sv = 3.14 \times (2 \times 10^{-6})^2 \times 0.33 \times 10^{-3} = 4.15 \times 10^{-15}\ \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

$$R = \frac{\Delta p}{Q} = \frac{7.92 \times 10^3}{4.15 \times 10^{-15}} = 1.91 \times 10^{18}\text{N} \cdot \text{m}^{-5} \cdot \text{s}$$

$$n=\frac{41.5\times10^{-6}}{4.15\times10^{-15}}=10^{10}\text{ 条}$$

7. $p_0+\rho gh=p_o+\frac{1}{2}\rho v^2+w$（水槽面与进水口列实际流体的伯努利方程）

$w=\Delta p=(p_o+\rho gh_o)-p_o=\rho gh_o$（流体从开始流动到出口处单位体积消耗的能量）

$$\frac{1}{2}\rho v^2=\rho gh-w=\rho gh-\rho gh_o=\rho g(h-h_o)$$

$$h_o-h_1=h_1-h_2=h_2-h_3,h_o=20(\text{cm})$$

$$v=\sqrt{2g(h-h_o)}=\sqrt{2\times9.8\times(23-20)\times10^{-2}}=0.77\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

8. $\Delta p=p_1-p_2=(p_0+p_{\text{记示}})-p_0=p_{\text{记示}}=\frac{40}{760}\times1.013\times10^5=5.3\times10^3$

$$r^4=\frac{8\eta lQ}{\pi\Delta p}=\frac{8\times6.9\times10^{-4}\times4\times10^{-2}\times21\times10^{-6}}{3.14\times5.3\times10^3}=(7.3\times10^{-4})^4$$

$$r=7.3\times10^{-4}(\text{m})=0.73\text{cm}$$

$$D=2r=2\times7.3\times10^{-4}=1.46\text{cm}$$

9. $p_{\text{脚}}=p_{\text{头}}+\rho_{\text{血液}}gh$

$$\Delta p=p_{\text{脚}}-p_{\text{头}}=\rho_{\text{血液}}gh=1.059\times10^3\times9.8\times165\times10^{-2}$$

$$=1.71\times10^4(\text{Pa})=1.71\times10^4\times\frac{760}{1.013\times10^5}\approx128\text{mmHg}$$

10. $p_0+\rho gh=p_0+\frac{1}{2}\rho v^2+w$

$$\rho gh=\frac{1}{2}\rho v^2+w=\frac{1}{2}\rho\left(\frac{Q}{\pi\gamma^2}\right)^2+w$$

$$w=\Delta p=\frac{8\eta LQ}{\pi\gamma^2}$$

$$\rho gh=\frac{1}{2}\rho\left(\frac{Q}{\pi\gamma^2}\right)^2+\frac{8\eta LQ}{\pi\gamma^2}$$

$$\eta=\frac{\pi\rho gh\gamma^4}{8lQ}-\frac{\rho Q}{16\pi L}$$

(四) 简答题

1. ①理想流体在管中流动，由于该管粗细均匀且水平放置，则三者的高度一样，流速一样，由伯努利方程可知压强也一样，故三支竖直支管中的液面高度相同；②实际液体在管中流动，由于液体的黏滞性，使得液体在流动过程中需要克服内摩擦力作功而消耗能量，故这三支竖直支管中的液面高度沿着水流的方向，以相同的高度差下降，三者的液面连接起来将是一条和该管成某一夹角的直线；③ 液体在管中不流动，则三者的高度一样，流速都为零，压强必然也一样，所以三支竖直支管中的液面高度相同，但是这个高度比液体流动时的高度要高。

2. 水龙头只能控制流水的开关和流量的大小，当自来水龙头开关保持不变的情况下，随水位的逐渐降低，流出来的水越往下势能转化成动能后的速度就越大，而水的流量保持不变，所以水的截面积必然会越小，因此，水在向下流动的过程中会变的越来越细。

3. 黏度是一个反映流体黏性大小的物理量，其大小决定于流体的性质，还与温度有关。对液体来说，黏度随温度升高而减小，对气体来说，则随温度升高而增大。

（张延芳）

第二章　振动、波动和声

一、基本要求

（1）掌握简谐运动的特征和规律，熟练掌握三个特征量的意义及确定方法。掌握旋转矢量法，能熟练应用其求初相位。掌握同方向、同频率简谐运动合成的规律，熟练掌握平面简谐波的物理意义和求解方法。掌握波的干涉原理和干涉加强、减弱的条件。掌握声强、声强级的概念。

（2）理解简谐振动的能量特征；理解描述波动的物理量（波长、频率、周期和波速等）的物理意义。理解波的能量、波的强度的概念。理解声压、声强反射系数、声阻抗、响度级等概念。

（3）了解阻尼振动和受迫振动及共振的特点。了解同方向、不同频率简谐运动的合成。

二、内容提要

1. 简谐运动

（1）动力学特征：$F=-ks$

（2）运动学特征：$s = A\cos(\omega t + \varphi)$

2. 简谐振动特征量

（1）振幅 A

（2）角频率 ω

（3）相位$(\omega t+\varphi)$：φ 为初相位，表示 $t=0$ 时的相

特征量的求解方法：解析法。

ω 的大小由振动系统本身的性质决定。例弹簧振子：$\omega=\sqrt{\dfrac{k}{m}}$

A、φ：由起始运动状态决定。

$$\begin{cases} A=\sqrt{s_0^2+\dfrac{v_0^2}{\omega^2}} \\ \cos\varphi=\dfrac{s_0}{A}\text{（由 } v_0 \text{ 决定取舍）} \end{cases}$$

例 $t=0$，$s_0=A\cos\varphi$，$v_0=-A\omega\sin\varphi$

3. 矢量图示法　用旋转矢量描述简谐振动的方法。

旋转矢量法求 φ：先在 s 轴上找到相应 s_0，有两个旋转矢量，由 v_0 的正负来确定其中的一个。

4. 简谐振动的能量

$$E=\frac{1}{2}kA^2=\frac{1}{2}m\omega^2A^2$$

特点：谐振动的动能和势能是时间的周期性函数，振动系统的总能量是不随时间而变的。

5. 同方向、同频率简谐运动的合成　两个同方向、同频率简谐运动合成的结果，仍然是简谐运动，表达式仍为

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

频率与分振动的频率相同，合振动的振幅 A 可表为