面向21世纪课程教材学习辅导书

普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套参考书

大学基础物理学

（第三版）

习题解答

Student Solutions Manual for University Fundamental Physics

罗贤清　丁孺牛　刘朝霞　楚合营　王海婴

高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

面向21世纪课程教材学习辅导书

普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套参考书

大学基础物理学

（第三版）

习题解答

Daxue Jichu Wulixue Xiti Jieda

罗贤清　丁孺牛　刘朝霞　楚合营　王海婴

高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS　BEIJING

内容提要

本书是与“面向21世纪课程教材”和普通高等教育“十一五”国家级规划教材《大学基础物理学》(第三版)配套的学习辅导书。全书的内容按照主教材的章节顺序编排，每章包含知识要点和习题解答两部分，习题解答过程规范、详细。本书可为学生学习课程内容，复习和巩固知识提供指导与帮助。

本书不仅适合于选用“面向21世纪课程教材”和普通高等教育“十一五”国家级规划教材《大学基础物理学》(第三版)的学校选作教学辅导书，还可供其他大学物理学习者使用。

图书在版编目(CIP)数据

大学基础物理学(第3版)习题解答/罗贤清等编.
--北京:高等教育出版社,2013.8
ISBN 978-7-04-037607-4

Ⅰ.①大… Ⅱ.①罗… Ⅲ.①物理学-高等学校-题解 Ⅳ.①O4-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第164871号

策划编辑 郭亚嫘　责任编辑 高聚平　封面设计 于 涛　版式设计 童 丹
插图绘制 于 博　责任校对 刘 莉　责任印制 尤 静

出版发行 高等教育出版社
社　　址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印　　刷 化学工业出版社印刷厂
开　　本 787mm×960mm 1/16
印　　张 8
字　　数 140千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网　　址 http://www.hep.edu.cn
　　　　 http://www.hep.com.cn
网上订购 http://www.landraco.com
　　　　 http://www.landraco.com.cn
版　　次 2013年8月第1版
印　　次 2013年8月第1次印刷
定　　价 13.30元

物 料 号 37607-00

前　　言

《大学基础物理学》(第三版)是专为高等农林院校农学、林学类专业编写的大学物理课程教材,本书是与之配套的学习辅导书。

在大学物理课程学习中,做习题是一个不可缺少的教学环节,不仅可以检查学生对课程知识点掌握的程度,还能巩固学生所学的知识,而且有利于提高分析问题和解决问题的能力。为了帮助学生掌握正确的解题方法,我们编写了这本学习辅导书。全书的内容按照主教材的章节顺序编排,每章包含知识要点和习题解答两部分,习题解答过程规范、详细。本书可为农林院校农学、林学类专业学生学习大学物理课程提供有益的帮助。

本书第一章(流体力学)、第二章(气体动理论)由塔里木大学刘朝霞编写;第三章(热力学基础)、第十章(激光的原理与应用)由塔里木大学楚合营编写;第四章(静电场　恒定电场)、第七章(光的量子性)、第八章(量子力学初步)由华中农业大学丁孺牛编写;第五章(恒定磁场)、第六章(光的波动性)由华中农业大学罗贤清编写;第九章(光谱分析原理及应用)、第十一章(放射性核物理及应用)由华中农业大学王海婴编写。罗贤清负责全书的统稿和定稿。

由于编者水平有限,书中难免有错误和疏漏之处,敬请读者批评指正。

编者

2012 年 12 月

目　　录

第一章　流 体 力 学

一、知 识 要 点

1. 流体静力学

压强分布　各向同性，只随高度 h 变化，流体静力学的基本公式为

$$p=p_0+\rho g h$$

p_0 为作用在流体表面上的外界压强.

2. 理想流体

完全不可压缩、无黏性的流体.

定常流动　流体流经空间各点的速度不随时间变化，用流线、流管描绘.

体积流量　$$Q_V=\int_S v\mathrm{d}S$$

质量流量

$$Q_m=\int_S \rho v\mathrm{d}S$$

3. 流体连续性原理（连续性方程）

定常流动时，沿任意流管的横截面上体积流量相等

$$Q_V=Sv=\text{常量}$$

质量流量相等

$$Q_V=\rho S v=\text{常量}$$

4. 伯努利方程

在理想流体的定常流动中沿任一流线，有

$$p+\frac{1}{2}\rho v^2+\rho g h=\text{常量}$$

5. 黏性流体的流动

牛顿黏性定律　$$F=\eta\Delta S\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}y}$$

泊肃叶公式 $Q_V=\dfrac{\pi R^4}{8\eta l}(p_1-p_2)$ （流体在水平圆管中作层流的体积流量）

流速分布公式 $v=\dfrac{p_1-p_2}{4\eta l}(R^2-r^2)$

圆形管道中做层流流动的平均流速 $\bar{v}=\dfrac{Q_V}{S}=\dfrac{Q_V}{\pi R^2}=\dfrac{(p_1-p_2)R^2}{8\eta l}$

雷诺数 $Re=\dfrac{\rho v d}{\eta}$

流体的流动状态有层流和湍流，流动状态由雷诺数确定.

6. 斯托克斯定律

球形物体在黏性流体中运动所受到的黏性阻力为

$$F_f=6\pi\eta r v$$

二、习题解答

1.1 流管内的流体能不能流到流管外，为什么？

答：流管内的流体不能流到流管外. 因为流管是由流线构成的，如果流管内的流体流到流管外，那么必然有流线相交，这违背了恒定流动流线不能相交的原理，所以流管内的流体不能流到流管外.

1.2 从水龙头缓缓流出的水流，下落时逐渐变细，为什么？

答：从水龙头缓缓流出的水流，下落时由于重力做功，水流的速度越来越大. 根据连续性原理 $Sv=$常量，可知水流的速度越大，其横截面积就越小，所以从水龙头缓缓流出的水流，下落时逐渐变细.

1.3 飞机在空中飞行的过程中遇见冷空气就会出现颠簸，为什么？

答：根据伯努利方程 $p_1+\dfrac{1}{2}\rho v_1^2+\rho g h_1=p_2+\dfrac{1}{2}\rho v_2^2+\rho g h_2$，可知在高度相差不大的情况下，流速大的地方压强小，流速小的地方压强大. 当飞机在空中行驶的过程中遇见冷空气时，由于冷空气处于非平衡态，气流分布各不相同，使得空气作用在飞机各点的压强不停地变化，因此就出现了颠簸现象.

1.4 平行行驶的两艘轮船，若靠得太近，极易相碰，为什么？

答：根据伯努利方程 $p_1+\dfrac{1}{2}\rho v_1^2+\rho g h_1=p_2+\dfrac{1}{2}\rho v_2^2+\rho g h_2$，可知在高度相差

不大的情况下，流速大的地方压强小.平行行驶的两艘轮船，若靠得太近，两艘轮船中间的水流的速度就会变大，压强变小，从而产生侧向压力，故极易发生碰船事件.

1.5 流体在管道中流动时，从连续性原理来看，管子越粗，流速越小，而从泊肃叶定律来看，管子越粗，流量越大，这二者是否相互矛盾，为什么？

答:二者之间不矛盾.连续性原理是流体在同一细流管不同截面处满足的关系，而泊肃叶定律研究的是流体在不同圆管中流动的流量，所以二者之间不矛盾.

1.6 水以 $5.0\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$ 的速率通过横截面积为 $4.0\ \mathrm{cm^2}$ 的管道流动，当管道的横截面积增大到 $8.0\ \mathrm{cm^2}$ 时，管道逐渐下降 10 m. 求：(1) 低处管道内的水流速度；(2) 如果高处管道内的压强为 1.5×10^5 Pa，求低处管道内的压强. 已知水的密度 $\rho=1.0\times10^3\ \mathrm{kg\cdot m^{-3}}$.

解:本题是关于连续性方程和伯努利方程的应用.

(1) 设高处管道截面为 S_1，管内水流速度为 v_1，低处管道截面为 S_2，管内水流速度为 v_2. 根据连续性方程 $S_1v_1=S_2v_2$，得低处管道内的水流速度为

$$v_2=\frac{v_1S_1}{S_2}=\frac{5.0\times4.0\times10^{-4}}{8.0\times10^{-4}}\times\frac{\mathrm{m\cdot s^{-1}\times m^2}}{\mathrm{m^2}}=2.5\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

(2) 设低管处为重力势能零点参考点，即 $h_2=0$，高处管道距参考点的高度为 h_1，根据伯努利方程有

$$p_1+\frac{1}{2}\rho v_1^2+\rho gh_1=p_2+\frac{1}{2}\rho v_2^2$$

于是得低处管道内的压强为

$$\begin{aligned}p_2&=p_1+\frac{1}{2}\rho v_1^2+\rho gh_1-\frac{1}{2}\rho v_2^2\\&=\left(1.5\times10^5+\frac{1}{2}\times1.0\times10^3\times5.0^2+1.0\times10^3\times9.8\times10-\frac{1}{2}\times1.0\times10^3\times2.5^2\right)\ \mathrm{Pa}\\&=2.6\times10^5\ \mathrm{Pa}\end{aligned}$$

1.7 由于飞机机翼形状的关系，在飞机机翼上面的气流速度大于下面的气流速度，在机翼上下两面之间就产生压强差，从而使飞机产生上升的力. 假设空气流过机翼是定常流动，并假定空气的密度不变，等于 $1.29\ \mathrm{kg\cdot m^{-3}}$，如果机翼下面的气流速率为 $100\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$，要使机翼得到 1 000 Pa 的压强差，求机翼上面的

气流速率是多少？

解:本题是关于伯努利方程的应用.

设机翼上面的气流速率为 v_2，机翼下面的气流速率为 v_1，由于飞机机翼比较薄，所以可近似取 $h_1=h_2$，机翼压强差为 $p_1-p_2=1\,000$ Pa.

根据伯努利方程有

$$p_1+\frac{1}{2}\rho v_1^2=p_2+\frac{1}{2}\rho v_2^2$$

机翼上面的气流速率为

$$v_2=\sqrt{\frac{2(p_1-p_2)}{\rho}+v_1^2}=\sqrt{\frac{2\times 1\,000}{1.29}+100^2}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}=107\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

1.8 在一横截面积为 10 $\mathrm{cm^2}$ 的水平管内有水流动，管的另一段横截面积缩小为 5 $\mathrm{cm^2}$. 这两截面处的压强差为 6 000 Pa，水的密度为 $\rho=1.0\times 10^3\ \mathrm{kg\cdot m^{-3}}$，问此时管中水的流量应为多少？

解:本题是关于连续性方程和伯努利方程的应用.

要求流量，根据体积流量公式 $Q_V=Sv$，求出流速即可. 设水平管的截面为 S_1，管内水流速度为 v_1，压强为 p_1；管的另一段截面为 S_2，此处管内水流速度为 v_2，压强为 p_2；由于是水平流管，$h_1=h_2$；而 $p_1-p_2=6\,000$ Pa.

根据连续性方程有

$$S_1v_1=S_2v_2$$

根据伯努利方程有

$$p_1+\frac{1}{2}\rho v_1^2=p_2+\frac{1}{2}\rho v_2^2$$

上面两式联立，解得水平管两截面处管内的水流速率分别为

$$v_1=\sqrt{\frac{2(p_1-p_2)}{\rho\left[\left(\frac{S_1}{S_2}\right)^2-1\right]}}=\sqrt{\frac{2\times 6\,000}{1.0\times 10^3\times\left[\left(\frac{0.01}{0.005}\right)^2-1\right]}}\times\sqrt{\frac{\mathrm{Pa}}{\mathrm{kg\cdot m^{-3}}\times\left(\frac{\mathrm{m^2}}{\mathrm{m^2}}\right)^2}}$$

$$=2\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

$$v_2=\frac{S_1v_1}{S_2}=\frac{0.01\times 2}{0.005}\times\frac{\mathrm{m^2\times m\cdot s^{-1}}}{\mathrm{m^2}}=4\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

管中水的体积流量为

$$Q_V=S_1v_1=10\times 10^{-4}\times 2\times\mathrm{m^2\times m\cdot s^{-1}}=2.0\times 10^{-3}\ \mathrm{m^3\cdot s^{-1}}$$

$$Q_V=S_2v_2=5\times 10^{-4}\times 4\times\mathrm{m^2\times m\cdot s^{-1}}=2.0\times 10^{-3}\ \mathrm{m^3\cdot s^{-1}}$$

1.9 自来水主管和细管间的压强差为 3.0×10^3 Pa，主管和细管的横截面积分别为 0.01 m^2 和 0.005 m^2，水的密度为 $\rho=1.0\times10^3\ kg\cdot m^{-3}$，求 1 分钟内从水管中流出的水的体积是多少？

解：本题是关于连续性方程和伯努利方程的应用.

为求从水管中流出的水的体积，只要求出水在水管中的流速就能求得.设主管截面为 S_1，水流速度为 v_1，压强为 p_1；细管截面为 S_2，水流速度为 v_2，压强为 p_2；自来水管保持水平，$h_1=h_2$.

根据连续性方程有

$$S_1v_1=S_2v_2$$

根据伯努利方程有

$$p_1+\frac{1}{2}\rho v_1^2=p_2+\frac{1}{2}\rho v_2^2$$

上面两式联立，解得水在主管和细管内水流速度分别为

$$v_1=\sqrt{\frac{2(p_1-p_2)}{\rho\left[\left(\frac{S_1}{S_2}\right)^2-1\right]}}=\sqrt{\frac{2\times3.0\times10^3}{1.0\times10^3\times\left[\left(\frac{0.01}{0.005}\right)^2-1\right]}}\times\sqrt{\frac{\text{Pa}}{\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\times\left(\frac{\text{m}^2}{\text{m}^2}\right)^2}}$$
$$=1.4\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$v_2=\frac{S_1v_1}{S_2}=\frac{0.01\times1.4}{0.005}\times\frac{\text{m}^2}{\text{m}^2}\times\text{m}\cdot\text{s}^{-1}=2.8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

1 分钟内从水管中流出的水的体积为

$$V=S_1v_1t=0.01\times1.4\times60\times\text{m}^2\times\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\times\text{s}=0.84\ \text{m}^3$$

或

$$V=S_2v_2t=0.005\times2.8\times60\times\text{m}^2\times\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\times\text{s}=0.84\ \text{m}^3$$

1.10 一个顶部开口的圆筒容器，其中盛水，水深为 H，圆筒的横截面积为 S，圆筒的底部有一横截面积为 S' 的小孔，问圆筒中的水全部流尽最短需多长时间？

解：本题是关于伯努利方程的应用.

要求水从圆筒容器中全部流出所需时间，先求出单位时间从底部小孔流出的水的体积(即体积流量)，用此体积流量除以圆筒容器中水的体积，就可求出水从圆筒容器中全部流出所需时间.取小孔处为重力势能零点，有 $h_1=H$，$h_2=0$.又由于小孔的横截面积 S' 相对于圆筒的横截面积 S 小得多，所以可近似取 $v_1=0$.开口圆筒容器和圆筒的底部小孔均与大气相通，其压强相等.

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

$$\rho g h_1=\frac{1}{2}\rho v_2^2$$

从圆筒的底部小孔流出的水的最大流速为

$$v_2=\sqrt{2gh_1}=\sqrt{2gH}$$

从圆筒的底部小孔流出的水的体积流量为

$$Q_V=v_2S'=S'\sqrt{2gH}$$

圆筒中水的总体积为

$$V=HS$$

圆筒中的水全部流尽所需要的最短时间为

$$t=\frac{V}{Q_V}=\frac{HS}{S'\sqrt{2gH}}$$

1.11　贮有水的封闭大水箱，箱的上部引入压强为 6.0×10^5 Pa 的压缩空气. 箱的侧壁上距离水面 5.0 m 处有一小孔，求水从此孔流出的速率.

解：本题是关于伯努利方程的应用.

大水箱上部的压强为 p_1，侧壁上小孔处的压强为 p_2，小孔与大气相通，有 $p_2=p_0=1.0\times10^5$ Pa，选取小孔处为重力势能参考零点，箱的上部的高度为 h_1，小孔处高度为 $h_2=0$. 由于小孔的横截面积相对于大水箱的横截面积小得多，大水箱水面下降得很慢，可近似取 $v_1=0$.

根据伯努利方程 $p_1+\frac{1}{2}\rho v_1^2+\rho g h_1=p_2+\frac{1}{2}\rho v_2^2+\rho g h_2$，有

$$p_1+\rho g h_1=p_2+\frac{1}{2}\rho v_2^2$$

水从侧壁小孔流出的速率为

$$v_2=\sqrt{2gh_1+\frac{2(p_1-p_2)}{\rho}}=\sqrt{2\times9.8\times5.0+\frac{2\times(6.0-1.0)\times10^5}{1.0\times10^3}}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

$$=33\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

1.12　一个顶部开口的圆筒容器，其中盛水，水深为 H，圆筒的横截面积为 S. 在圆筒的一侧水面下 h 深处开一个小孔. 求：(1) 射出的水流到地面时距离容器底边的距离是多少？(2) 在容器壁上多高处再开一个小孔，能使射出的水流有相同的射程？(3) 要想得到最大射程，小孔要开在水面以下多深处？最大射程是多少？

解：本题是关于伯努利方程的应用.

选取小孔处为重力势能参考零点，水面的高度为 h_1，小孔处高度为 $h_2=0$. 小孔处水的流速为 v_2，水面下降速度较慢，有 $v_1=0$. 开口圆筒容器和圆筒侧面小孔均与大气相通，其压强相等，即 $p_1=p_2=p_0$.

(1) 射出的水流到地面时距离容器底边的距离应为水从小孔射出的流速与水从小孔射出后流到地面需要的时间的乘积.

根据伯努利方程 $p_1+\frac{1}{2}\rho v_1^2+\rho g h_1=p_2+\frac{1}{2}\rho v_2^2+\rho g h_2$，有

$$\rho g h_1=\frac{1}{2}\rho v_2^2$$

$$v_2=\sqrt{2gh}$$

从小孔射出的水看作做水平抛体运动，初速为 v_2，竖直方向做自由落体运动，水流到地面需要的时间为 t，而小孔距离地面的高度为 $H-h$.

根据质点运动学公式有

$$H-h=\frac{1}{2}gt^2$$

水流到地面需要的时间为

$$t=\sqrt{\frac{2(H-h)}{g}}$$

设水从小孔射出后流到地面时距离容器底边的距离为 L，得

$$L=v_2t=\sqrt{2gh}\sqrt{\frac{2(H-h)}{g}}=2\sqrt{h(H-h)}$$

(2) 设在容器壁上水面下 x 处再开一小孔，能使射出的水流有相同的射程，有

$$2g\sqrt{x(H-x)}=2g\sqrt{h(H-h)}$$

解此式得出 $x=H-h$ 或 $x=h$（舍去），即，在容器壁上水面下 $H-h$ 处再开一个小孔，能使射出的水流有相同的射程.

(3) 要使 $L=2\sqrt{h(H-h)}$ 取最大值，有 $h=H-h$，即 $h=H/2$，所以最大射程为

$$L_{\max}=H$$

1.13 有一水平放置的文特利管，它的粗细部分的横截面积分别为 8 cm² 和 4 cm²，当水在管中流动时，连接在粗细部分的竖直细管中水面的高度差为 40 cm. 计算水在粗细部分的流速和流量.

解：本题是关于文特利流量计的应用.

根据文特利流量计体积流量公式 $Q_V=S_1S_2\sqrt{\dfrac{2gh}{S_1^2-S_2^2}}$，得流量为

$$Q_V=8\times10^{-4}\times4\times10^{-4}\times\sqrt{\frac{2\times9.8\times40\times10^{-2}}{(8\times10^{-4})^2-(4\times10^{-4})^2}}\times \mathrm{m}^2\times\mathrm{m}^2\times\sqrt{\frac{\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-2}\times\mathrm{m}}{(\mathrm{m}^2)^2}}$$
$$=1.3\times10^{-3}\ \mathrm{m}^3\cdot\mathrm{s}^{-1}$$

根据体积流量式 $Q_V=Sv$，得水在粗、细部分的流速分别为

$$v_1=\frac{Q_V}{S_1}=\frac{1.3\times10^{-3}}{8\times10^{-4}}\times\frac{\mathrm{m}^3\cdot\mathrm{s}^{-1}}{\mathrm{m}^2}=1.6\ \mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$$

$$v_2=\frac{Q_V}{S_2}=\frac{1.3\times10^{-3}}{4\times10^{-4}}\times\frac{\mathrm{m}^3\cdot\mathrm{s}^{-1}}{\mathrm{m}^2}=3.2\ \mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$$

1.14 在 20 ℃的空气中，一个半径为 1.0×10^{-5} m，密度 2.0×10^3 kg·m^{-3} 的球状灰尘微粒的沉积速度是多少？在沉积时所受的阻力是多少？已知空气的黏度为 1.8×10^{-5} Pa·s.

解：本题是关于斯托克斯定律的应用，沉积速度就是匀速下沉时的速度.

球状灰尘微粒下沉时，所受重力大小为 $mg=\dfrac{4}{3}\pi r^3\rho g$，空气对球状灰尘微粒的浮力很小，可忽略不计. 根据斯托克斯定律，球状灰尘微粒所受黏性阻力大小为 $F_f=6\pi\eta rv$. 当二力平衡时，灰尘微粒匀速下沉，于是有

$$\frac{4}{3}\pi r^3\rho g=6\pi\eta rv$$

故球状灰尘微粒的沉积速度为

$$v=\frac{2\rho g}{9\eta}r^2=\frac{2}{9}\times\frac{2.0\times10^3\times9.8}{1.8\times10^{-5}}\times(1.0\times10^{-5})^2\times\frac{\mathrm{kg}\cdot\mathrm{m}^{-3}\times\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-2}}{\mathrm{Pa}\cdot\mathrm{s}}\times\mathrm{m}^2$$
$$=2.42\times10^{-2}\ \mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$$

球状灰尘微粒沉积时所受黏性阻力

$$F_f=6\pi\eta rv$$
$$=6\times3.14\times1.8\times10^{-5}\times1.0\times10^{-5}\times2.42\times10^{-2}\times\mathrm{Pa}\cdot\mathrm{s}\times\mathrm{m}\times\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$$
$$=8.18\times10^{-11}\ \mathrm{N}$$

1.15 在液体中有一个空气泡，空气泡的直径为 1 mm. 假设液体的黏度为 0.16 Pa·s，密度为 0.9×10^3 kg·m^{-3}. 求空气泡在该液体中上升的终极速度；如果空气泡在水中上升时，终极速度又是多少？已知水的黏度为 1.0×10^{-3} Pa·s，密度为 1.0×10^3 kg·m^{-3}.

解：本题是关于斯托克斯定律的应用.

空气泡所受液体的浮力为 $F_{浮}=\frac{4}{3}\pi r^3\rho_{液}g$，所受重力很小，可忽略不计；根据斯托克斯定律，空气泡在液体中上升所受黏性阻力为 $F_f=6\pi\eta_{液}rv$. 当达到终极速度时，空气泡所受黏性阻力与所受液体的浮力在数值上相等，即

$$6\pi\eta_{液}rv=\frac{4}{3}\pi r^3\rho_{液}g$$

空气泡在该液体中上升的终极速度为

$$v=\frac{2}{9}\frac{\rho_{液}gr^2}{\eta_{液}}=\frac{2}{9}\times\frac{0.9\times10^3\times9.8\times(0.5\times10^{-3})^2}{0.16}\times\frac{\mathrm{kg\cdot m^{-3}\times m\cdot s^{-2}\times m^2}}{\mathrm{Pa\cdot s}}$$

$$=3.1\times10^{-3}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

同理，可得空气泡在水中上升的终极速度为

$$v'=\frac{2}{9}\frac{\rho_{水}gr^2}{\eta_{水}}=\frac{2}{9}\times\frac{1.0\times10^3\times9.8\times(0.5\times10^{-3})^2}{1.0\times10^{-3}}\times\frac{\mathrm{kg\cdot m^{-3}\times m\cdot s^{-2}\times m^2}}{\mathrm{Pa\cdot s}}$$

$$=0.54\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

1.16 将一半径为 1.0 mm 的钢球，轻轻放入装有甘油的缸中，当钢球的加速度是其自由落体加速度的一半时，其速度是多少？钢球的最大速度是多少？钢球的密度为 $8.5\times10^3\ \mathrm{kg\cdot m^{-3}}$，甘油的密度为 $1.32\times10^3\ \mathrm{kg\cdot m^{-3}}$，甘油的黏度为 8.0 Pa·s.

解：本题是关于斯托克斯定律的应用.

钢球在甘油中下落，所受重力为 $mg=\frac{4}{3}\pi r^3\rho_{钢球}g$，所受甘油的浮力为 $F_{浮}=\frac{4}{3}\pi r^3\rho_{甘油}g$，根据斯托克斯定律所受黏性阻力为 $F_f=6\pi\eta_{甘油}rv$.

根据牛顿第二定律 $F=ma$，钢球的加速度是其自由落体加速度的一半时，有 $mg-F_f-F_{浮}=ma=mg/2$，即

$$6\pi\eta_{甘油}rv+\frac{4}{3}\pi r^3\rho_{甘油}g=\frac{1}{2}\cdot\frac{4}{3}\pi r^3\rho_{钢球}g$$

钢球的加速度为自由落体加速度的一半时，钢球的速度为

$$v=\frac{2}{9}\cdot\frac{g}{\eta_{甘油}}\left(\frac{1}{2}\rho_{钢球}-\rho_{甘油}\right)r^2$$

$$=\frac{2}{9}\times\frac{9.8}{8.0}\times\left(\frac{8.5}{2}-1.32\right)\times10^3\times(1.0\times10^{-3})^2\times\frac{\mathrm{m\cdot s^{-2}}}{\mathrm{Pa\cdot s}}\times\mathrm{kg\cdot m^{-3}\times m^2}$$

$$=8.11\times10^{-4}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

当钢球的速度达到最大值时，钢球所受甘油的阻力加上钢球所受浮力应等于钢球所受重力，即

$$6\pi\eta_{甘油}rv+\frac{4}{3}\pi r^3\rho_{甘油}g=\frac{4}{3}\pi r^3\rho_{钢球}g$$

钢球的速度为

$$v=\frac{2}{9}\cdot\frac{g}{\eta_{甘油}}(\rho_{钢球}-\rho_{甘油})r^2$$

$$=\frac{2}{9}\times\frac{9.8}{8.0}\times(8.5-1.32)\times10^3\times(1.0\times10^{-3})^2\times\frac{\mathrm{m\cdot s^{-2}}}{\mathrm{Pa\cdot s}}\times\mathrm{kg\cdot m^{-3}}\times\mathrm{m^2}$$

$$=1.96\times10^{-4}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

1.17 一个半径为 0.06 mm 的雨滴在空气中下落，假设其运动符合斯托克斯定律，求该雨滴的终极速度以及此速度下的雷诺数. 已知空气的密度为 $1.29\ \mathrm{kg\cdot m^{-3}}$、黏度为 $1.8\times10^{-3}\ \mathrm{Pa\cdot s}$，雨滴的密度为 $1.0\times10^3\ \mathrm{kg\cdot m^{-3}}$.

解：本题是关于斯托克斯定律及雷诺数的应用.

对下落雨滴进行受力分析，雨滴所受重力为 $mg=\frac{4}{3}\pi r^3\rho g$，所受空气的浮力为 $F_{浮}=\frac{4}{3}\pi r^3\rho_{空气}g$，根据斯托克斯定律，所受黏性阻力为 $F_f=6\pi\eta rv$.

当雨滴受到的空气黏性阻力加上空气对雨滴的浮力等于其受到的重力，雨滴将匀速下落，此时速度为终极速度，于是有

$$6\pi\eta rv+\frac{4}{3}\pi r^3\rho_{空气}g=\frac{4}{3}\pi r^3\rho g$$

雨滴的终极速度为

$$v=\frac{2}{9}\frac{g}{\eta_{空气}}(\rho-\rho_{空气})r^2$$

$$=\frac{2}{9}\times\frac{9.8}{1.8\times10^{-3}}\times(1.0\times10^3-1.29)\times(0.06\times10^{-3})^2\times\frac{\mathrm{m\cdot s^{-2}}}{\mathrm{Pa\cdot s}}\times\mathrm{kg\cdot m^{-3}}\times\mathrm{m^2}$$

$$=4.3\times10^{-3}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

根据雷诺数的定义，得

$$Re=\frac{\rho_{空气}vd}{\eta}=\frac{1.25\times4.4\times10^{-3}\times2\times0.06\times10^{-3}}{1.8\times10^{-3}}=3.7\times10^{4}$$

1.18 水和甘油分别在两个直径均为 0.1 m 的管道中流动，流速均为 $0.5\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$，求它们的雷诺数分别是多少？已知甘油的黏度为 $0.83\ \mathrm{Pa\cdot s}$、密度为 $1.32\times10^3\ \mathrm{kg\cdot m^{-3}}$，水的黏度为 $1.0\times10^{-3}\ \mathrm{Pa\cdot s}$、密度为 $1.0\times10^3\ \mathrm{kg\cdot m^{-3}}$.

解：本题是关于雷诺数定义的应用.

根据雷诺数的定义，得

$$Re=\frac{\rho_{甘油}vd}{\eta_{甘油}}=\frac{1.32\times10^3\times0.5\times0.1}{0.83}=79.5$$

$$Re=\frac{\rho_{水}vd}{\eta_{水}}=\frac{1.0\times10^3\times0.5\times0.1}{1.0\times10^{-3}}=5.0\times10^4$$

计算结果表明，虽然管道直径、流速相同，但液体不同，雷诺数就不同.

1.19 水在温度为 20 ℃，半径为 1.0 cm 的水平管道内流动，假设在管的中心处水的流速为 10 $cm\cdot s^{-1}$，求由于黏性使得沿管长为 2.0 m 的两个横截面间的压强差是多少？已知水的黏度为 1.0×10^{-3} Pa·s.

解：本题是圆管中实际流体的流速随半径的分布规律公式的应用.

根据圆管中实际流体的流速随半径的分布规律公式 $v=\frac{p_1-p_2}{4\eta l}(R^2-r^2)$，管中心处 $r=0$，有 $v=\frac{p_1-p_2}{4\eta l}R^2$，于是两横截面间的压强差为

$$\Delta p=p_1-p_2=\frac{4v\eta l}{R^2}=\frac{4\times10\times10^{-2}\times1.0\times10^{-3}\times2.0}{(1.0\times10^{-2})^2}\times\frac{m\cdot s^{-1}\times Pa\cdot s\times m}{m^2}$$
$$=8.0\ Pa$$

1.20 人的心脏不断向大动脉泵送血液，进入大动脉的最大流量约为 5 $cm^3\cdot s^{-1}$，假设大动脉的直径为 2.5 mm，流动大致可认为是层流，血液是牛顿流体. 求大动脉内单位长度上的压强差和轴心处的血液流动速度分别是多少？已知血液的黏度为 4.0×10^{-3} Pa·s.

解：本题是关于泊肃叶定律的应用.

根据泊肃叶定律 $Q_V=\frac{\pi(p_1-p_2)R^4}{8\eta l}$，得大动脉内单位长度上的压强差为

$$\Delta p=p_1-p_2=\frac{8\eta lQ_V}{\pi R^4}=\frac{8\times4.0\times10^{-3}\times1.0\times5\times10^{-6}}{3.14\times(1.25\times10^{-3})^4}\times\frac{Pa\cdot s\times m\times m^3\cdot s^{-1}}{m^4}$$
$$=2.09\times10^4\ Pa$$

根据圆管中实际流体的流速随半径的分布规律公式 $v=\frac{p_1-p_2}{4\eta l}(R^2-r^2)$，得轴心处（即 $r=0$）血液流动速度为

$$v=\frac{p_1-p_2}{4\eta l}R^2=\frac{2.09\times10^4}{4\times4.0\times10^{-3}\times1.0}\times(1.25\times10^{-3})^2\times\frac{Pa}{Pa\cdot s\times m}\times m^2$$
$$=2.04\ m\cdot s^{-1}$$