



河北省中等卫生学校统编教材

医学物理学

下册·学生实验与单元目标检测题

朱一达 冯志平 主编



中国科学技术出版社

《医学物理学》编委会

上册:

主 编:朱一达 梁树梅

副主编:郎秀娥 米志华 穆剑玲 孙 莉

主 审:孙启天

顾 问:王信良

编 委:(以姓氏笔画为序)

王立普 张友林 玄友荣 张红卫 冯永文 孙 莉

朱一达 米立萍 米志华 郎秀娥 梁树梅 赵金岩

穆剑玲

下册:

主 编:朱一达 冯志平

副主编:王立普 冯永文 玄友荣 张红卫

主 审:孙启天

顾 问:王信良

编 委:(以姓氏笔画为序)

王立普 冯志平 玄荣荣 张红卫 冯永文 张清涛

孙 莉 朱一达 米志华 许龙飞 孙孝冬 齐翠巧

郎秀娥 梁树梅 穆剑玲

责任编辑 陶 翔

封面设计 李 志

责任印刷 王 沛

目 录

第一部分 学生实验	(1)
实验绪论	(1)
实验一 长度的测量	(4)
实验二 验证力的平行四边形法则	(8)
实验三 验证牛顿第二定律	(10)
实验四 验证理想气体状态方程	(13)
实验五 空气的相对湿度的测定	(16)
实验六 电场中等势线的描绘	(18)
实验七 电池电动势和内阻的测定	(20)
实验八 万用电表的使用	(22)
实验九 研究电磁感应现象	(25)
实验十 电工基本操作	(27)
实验十一 示波器的使用	(29)
实验十二 整流和滤波	(33)
实验十三 测定凸透镜的焦距 研究物像间的关系	(35)
实验十四 照相机的使用	(38)
第二部分 单元目标与单元测试题	(41)
第一单元 人体运动系统物理	(41)
第二单元 人体血液循环物理	(51)
第三单元 人体听觉物理	(57)
第四单元 人体呼吸物理与能量代谢	(63)
第五单元 电磁学	(74)
第六单元 医用电子测量技术	(95)
第七单元 人体视觉物理	(102)
第八单元 核子医学物理	(109)
第三部分 测试题答案	(116)

第一部分 学生实验

实验绪论

一、物理实验的意义

人们对于物质世界的认识总是从感性到理性,从个别到一般。在这个认识的过程中,实验是重要手段。人们通过实验,对于重复发现的物理现象会不断加深认识,从现象到本质,从而建立了物理概念、定律、理论,再通过实验反复验证这些物理知识的正确性,不断充实、完善,为人类更深刻、更广泛地认识世界、改造世界提供可靠的理论依据和先进的技术、方法。

物理成果对现代医学的发展起了重要的推动作用,加速了医学模式的转变,为预防医学、保健医学的建立奠定了基础,为中西医学的融会贯通起到了重要的纽带作用。

实验课能培养我们的实验技能;学会常用仪器的使用;掌握有关的实验方法;学会实验数据的处理以及对实验结果和存在的问题进行分析和判断。通过实验,可以加深对所学物理知识的理解,提高应用能力培养实事求是的态度和严谨细致的工作作风。

为了做好实验,一定要预习实验教材,明确实验要达到的目标;弄懂实验原理及有关仪器的性能、使用方法;明确实验步骤,严守操作规程;准确、如实记录实验数据,实验后对实验数据进行分析,得出合理的结果。

二、实验误差

实验过程中,由于仪器、人、实验原理、实验方法的缺点和不完善等因素,误差是不可避免的。

(一)误差的产生

1. 系统误差:由于仪器有缺点、实验方法不完善等原因,会引起多次测量结果总是比真实值偏大或偏小,这种误差叫做系统误差。

如做电学实验时,电工仪表未调准,或由于电流表本身的分压作用和电压表本身的分流作用对电路的影响,产生的误差都属于系统误差。

2. 偶然误差:由于人的能力和习惯使用仪器测量时读数不准,或由于实验环境的某些因素如温度、湿度、气压、电场、磁场的变化对仪器影响产生的误差叫偶然误差。偶然误差的特点是测量值有时偏大,有时偏小。在多次实验中偏大和偏小的几率均等。

3. 过失误差:由于观测者粗心大意或违反操作规程而引起的误差叫过失误差。

要保证实验成功必须认真分析误差产生的原因,尽量减小误差。如使用精密仪器,改进实验方法,多次测量取平均值,严守操作规程,精益求精,使用仪器前先校正零误差等。

(二)误差的表示

1. 绝对误差:

测量值与真实值的差值的绝对值叫绝对误差。由于误差不可避免,人们常把用精确测量得出的公认值当做真实值,或者把多次测量的结果取平均值当做公认的真实值。

用 A 表示真实值, N 表示测量值,则绝对误差 $\Delta N = |A - N|$ 。如:在北京,重力加速度的公认值 $g = 9.801$ 米/秒²,在实验中测得值为 9.810 米/秒²,则绝对误差 $\Delta N = |9.801 - 9.810| = 0.009$ (米/秒²)。

2. 相对误差:绝对误差不能表示实验结果的精确程度。如:实验中测得水的密度为 1.1×10^3 千克/米³,测得水银的密度为 13.5×10^3 千克/米³,而前者的真实值是 1.0×10^3 千克/米³,后者的真实值为 13.6×10^3 千克/米³,虽然绝对误差都是 0.1 ,但前者占真实值的 10% ,后者只占真实值的 0.74% ,水银的测量结果比水的测量结果精确得多。

为此,引入相对误差“ $\beta = \frac{\Delta N}{A} \times 100\%$ ”,用此公式计算时,上述水的密度的相对误差为 10% ,水银的密度的相对误差为 0.7% 。

三、有效数字

(一)有效数字

有些物理量是用仪器直接测得的,简称直接量;有些物理量是由直接量运算后得到的,简称间接量。用仪器测量物理量时,被测量一般不是所用仪器最小刻度的整倍数,测量结果除最小刻度标示的可靠数字外,还要有一位估计出来的不可靠数字。如:测量线段 AB 的长度见图(1-1):

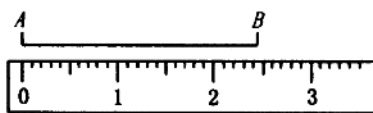


图 1-1

AB 长为 2.45 厘米,其中 2.4 厘米是可靠数字,而后面的 0.05 厘米是不可靠数字。像这种含有一位不可靠数字的近似数叫有效数字。

(二)有效数字的位数

从左边第一个非零数字开始,到最后的不可靠数字的所有数字的个数叫有效数字的位数。如前边测得线段 AB 的长度“ 2.45 厘米”是三位有效数字, 20.7 、 0.342 都是三位有效数字。注意:最后一位非零数字后边的零是有效数字,不能舍去,如: 3.40 是三位有效数字,而 3.4 是两

位有效数字,两者表示的物理量的精确程度不同,前者精确到 0.01,而后者只精确到 0.1。表示直接量的有效数字的位数不能随意增减,它是由仪器的最小刻度决定的。表示间接量的有效数字的位数与有效数字的运算法则有关。

(三)有效数字的运算法则

有效数字进行运算时应遵循两条法则:

1. 任何数字与不可靠数字发生运算关系时,所得结果均为不可靠数字;
2. 运算最后结果只保留一位不可靠数字。

根据以上法则,运算之前可先参照有效数字位数最少的数,对有效数字位数较多的数加以简化,用四舍五入的办法使位数较多的有效数字比位数最少的有效数字多保留一位,待运算完成后,再对最后结果保留与位数最少的有效数字相同的位数。

实验一 长度的测量

【目标】

1. 简述游标卡尺和螺旋测微器的构造及原理,并能正确使用。
2. 测量金属杯的深度、内径及外径,测量金属圆柱体的体积。
3. 根据被测量的大小及选用仪器的精度不同归纳测量方法。
4. 在本学科的实验中要始终保持勤奋、认真、务实的态度。

【器材】

游标卡尺、螺旋测微器、金属杯、圆柱体。

【原理】 刻度尺是测量长度的基本工具,测量结果可精确到 1 毫米。如果测量结果的精密要求较高,就必须使用精密度更高的测量工具,游标卡尺和螺旋测微器(又叫千分尺)就是测量长度的精密仪器。

1. 游标卡尺

游标卡尺主要由两部分组成:主尺和可以沿主尺滑动的游标尺,如图(1-2)。

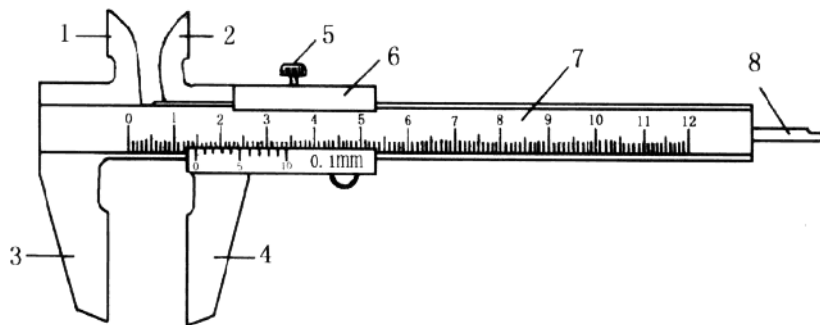


图 1-2 游标卡尺

1~4. 测脚 5. 螺栓 6. 游标 7. 主尺 8. 狭片

游标卡尺有三种应用:

- (1) 利用测脚 1、2 可测量槽的宽度和管的内径;
- (2) 利用测脚 3、4 可测量板或零件的厚度和管的外径;
- (3) 利用游标尺上的狭片 8 可测槽或筒的深度。

游标卡尺有读数精确到 0.1 毫米、0.02 毫米和 0.05 毫米几种,下面以精确到 0.1 毫米的游标卡尺为例介绍使用方法。

此游标卡尺主尺上的最小分度为 1 毫米,游标上的最小分度为 0.9 毫米,即游标上的 10 个刻度相当于主尺上的 9 个刻度。因此游标上的每一分度比主尺上的每一最小分度相差 0.1 毫米,所以当左右测脚合在一起时,游标上的 0 刻度与主尺上的 0 刻度重合,这时除了游标上



图 1-3 游标及主尺的刻度

的第十刻度线与主尺上的第九刻度线重合外,其余刻度线都不重合。若在两测脚间放一厚度为 0.1 毫米的薄片,则游标将向右移动 0.1 毫米,这时游标上的第一刻度线与主尺上的第一刻度线重合。若在两测脚间放一厚度为 0.2 毫米的薄片时,游标上的第二刻线 with 主尺上的第二刻度线重合,其余刻线都不重合。以此类推,只要被测薄片不足 1 毫米时,游标上的第几条刻度线与主尺上的某一刻度线重合就表示所测厚度为零点几毫米。

当被测薄片的厚度超过 1 毫米时,整毫米部分由主尺上读出,不足 1 毫米部分仍按上述方法由游标上读出。如图(1-4)所测厚度为 6.4 毫米。

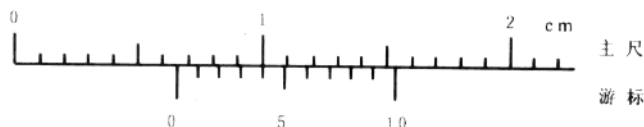


图 1-4 游标卡尺的读法

综上所述,游标卡尺的读数方法可由下述公式表示:

$$L = D + n \times d(\text{毫米})$$

式中 L 表示最后读数, D 表示由主尺上读出的整毫米部分, n 表示游标上与主尺上的某一刻线对齐的第 n 根刻线, d 表示游标上的每一分度与主尺上最小分度的差值,即游标卡尺的精确度。

读数准确到 0.05 毫米、0.02 毫米的游标卡尺使用原理和上面所述完全相同。如:精确到 0.02 毫米的游标上有 50 个分度,总长 49 毫米,每一分度长是 0.98 毫米,即每一个分度比主尺上最小分度差 0.02 毫米。

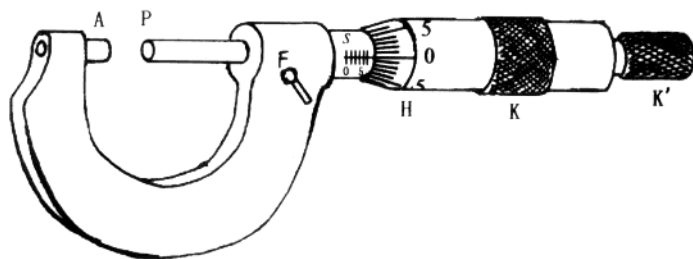


图 1-5 螺旋测微器(千分尺)

2. 螺旋测微器(千分尺)

如图(1-5)所示,螺旋测微器的小砧 A 和固定刻度 S 固定在框架 F 上,旋钮 K、微调旋钮 K' 和可动刻度 H、测微螺杆 P 连在一起,通过精密螺纹套在 S 上。

精密螺纹的螺距是 0.5 毫米,当旋钮 K 旋转一周时测微螺杆前进或后退 0.5 毫米。可动刻度分成 50 等分,所以,可动刻度转过一分度时,表示测微螺杆前进或后退 0.01 毫米,这样可动刻度的每一分度就表示 0.01 毫米。测量结果的精确度为 0.01 毫米。当 P 和 A 并拢时,如果可动刻度 H 的零点恰好与固定刻度 S 的零点重合,旋出可动小砧 P(即测微螺杆的前端),使 P 和 A 的面正好接触待测长度的两端,此时 P 向后退出的距离就是所测的长度。这个距离的整毫米数由固定刻度 S 上读出,不足 1 毫米的小数部分则由可动刻度 H 上读出,还应有一位估计数字。

在读数的时候要注意固定刻度尺上表示半毫米的刻度线是否已经露出,如图(1-6)由于表示半毫米的刻度线已露出,读数应为 7.726 毫米(最后一位是估计值)。

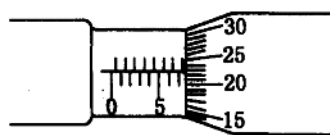


图 1-6

注意在使用这两种精密测量仪器时,应先检查有无零误差,如果存在零误差,应在最后读数中去掉。如:当游标卡尺两测脚重合时,游标上零刻度在主尺零刻度的左侧,误差为负值,应在测量值上加上误差值。反之误差为正,应在测量值上减去误差值。

使用螺旋测微器时还应注意,要先转动旋钮 K,在活动小砧接近被测物体时,应改用微调旋钮 K',这样既可以使测量结果准确,又可避免损伤仪器。

【步骤】

1. 仔细查看游标卡尺及螺旋测微器的构造,熟悉使用方法。
2. 分别将游标卡尺的两个测脚和螺旋测微器的小砧并拢,记下零误差。
3. 用卡尺的下测脚测金属杯的外径,上测脚测金属杯的内径,狭片测杯深度,改变不同的方位各测三次。将测量数据记入表 1。
4. 用卡尺测金属棒的直径和长度各三次,方位差约 120° ,将数据记入表 2,并计算金属棒的体积。

【数据与数据处理】

表 1-1

	内径 $d(\text{mm})$	外径 $D(\text{mm})$	深度 $L(\text{mm})$
1			
2			
3			
平均			

表 1-2

	直径 $D(\text{mm})$	长度 $L(\text{mm})$	体积 $V(\text{mm}^3)$
1			
2			
3			
平均			

5. 用螺旋测微器测量毛发的直径(不记录)。

【思考题】

1. 如何修正测量仪器的零误差?

2. 如何选取测量工具的精度?

实验二 验证力的平行四边形法则

【目标】

1. 描述测定共点力的合力的一种方法。
2. 验证力的平行四边形法则。
3. 熟练地运用矢量作图法。

【器材】

绘图板、橡胶筋、细线绳、白纸、图钉、测力计二个、铅笔等。

【原理】

1. 一个力 F 作用在物体上产生的效果如果与力 F_1 、 F_2 共同作用在同一物体上产生的效果相同, 则 F 为 F_1 、 F_2 的合力, 而 F_1 、 F_2 为 F 的分力。

2. 求两个互成角度的共点力的合力时, 要以表示这两个力的有向线段为邻边做平行四边形, 其对角线就表示合力的大小和方向。

【步骤】

1. 将白纸、橡胶筋、细线绳用图钉固定在绘图板上, 如图(2-1)所示, O 端为自由端。

2. 用两个测力计通过细线绳互成角度地拉橡胶筋, 使其伸长至 O' 点。同时记下两测力计的读数以及细绳 OA 、 OB 的方向及橡胶筋伸长的长度和方向。注意: 记方向时, 使视线通过细线绳(或橡胶筋), 并与纸面垂直, 取间距较远的两定点再连线以确定方向。

3. 改用一个测力计拉橡胶筋, 使其沿同一方向伸长相同的长度, 同时记下测力计的读数。

4. 用图示法从力的作用点 O' 分别做出 F_A 、 F_B 、 F 的图示, 并连接各有向线段的首端, 观察所得四边形是否是平行四边形, 如图(2-2、2-3)。

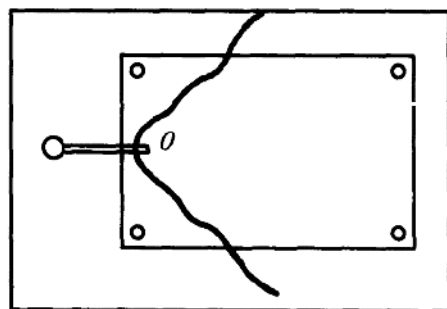


图 2-1

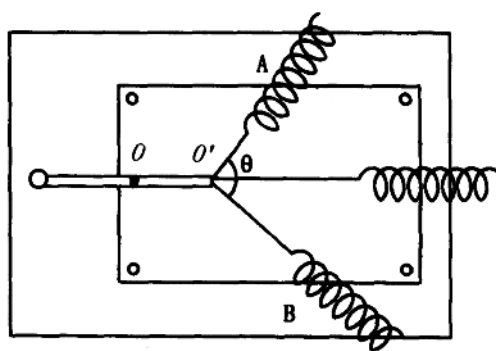


图 2-2

根据合力、分力的概念, 力 F 即为合力, 而力 F_A 、 F_B 为分力。

5. 根据力的平行四边形法则用图示法做出 F_A 、 F_B 的合力 F' 。并与实验值 F 比较, 找出方向及大小的误差, 如图(2-3)。

6. 任意改变 F_A 、 F_B 的大小和方向,按以上步骤重复做几次。

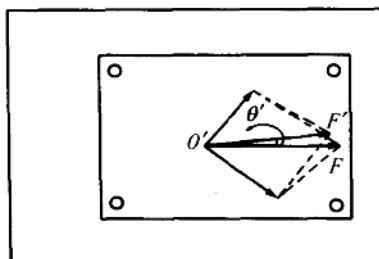


图 2-3

【数据与数据处理】

次	分力(牛顿)		合力 F (牛顿)	合力 F' (图示值)(牛顿)	
	大小	夹角	大小(直测值)	大小	F 与 F' 夹角
1	$F_A =$ $F_B =$		F_1	F_1'	
2	$F_A =$ $F_B =$		F_2	F_2'	
3	$F_A =$ $F_B =$		F_3	F_3'	

【思考题】

1. 用测力计拉橡胶筋使之伸长时,能否用手推橡胶筋修正伸长的方向?

2. 合力与分力的关系遵循什么法则?

3. 误差是怎样产生的? 如何减小误差?

实验三 验证牛顿第二定律

【目标】

1. 规范地使用天平。
2. 学会正确使用低压电源、电磁打点计时器。
3. 验证牛顿第二定律。
4. 注意观察,说出实验要点。

【器材】

物理天平、带滑轮的平板滑道、小车、砝码、细线绳、低压电源、电磁打点计时器、导线、纸带、直尺。

【原理】

1. 忽略摩擦阻力后,可以认为小车只受砝码的拉力作用做匀加速直线运动。
2. 使用电磁打点计时器可记录小车的运动情况(运动时间、位移)。
3. 根据每次实验的条件(所加外力 F 、小车质量 M)及在该条件下测得的加速度 a ,即可用直接比较法验证牛顿第二定律:当质量一定时,加速度与外力成正比;当外力一定时加速度与质量成反比。

4. 电磁打点计时器的工作原理及使用方法:

电磁打点计时器接通 $f=50\text{Hz}$ 、 $U=6\text{V}$ 的交流电源后,计数笔将随振动片一起 1 秒钟振动 50 次,这样就可随小车一起运动的纸带上 1 秒钟打出 50 个点迹(相邻两点间的时间间隔是 0.02 秒,距离与车速有关)。

为了便于测量且减小误差,首先对纸带做如下处理:

(1) 记下实验次数(编号)。

(2) 避开开始一段点迹较密集的部分,把时间间隔相同的点定为一列计数点,如图(3-1)所示。

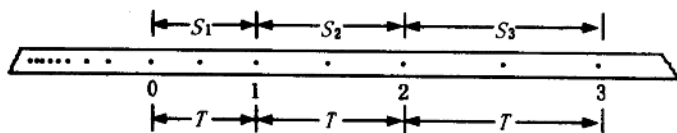


图 3-1

(3) 根据计数点计算加速度:

$$a = \frac{S_3 - S_1}{2T^2} \text{ (有兴趣的同学可以根据匀变速运动公式推导证明)}$$

其中: $T = 0.02 \times (n+1)$ 秒, n 为所求的计数点间的连续点迹数。

【步骤】

1. 调节天平成正常使用状态。

2. 用天平称量小车质量。
3. 将小车、砝码、电磁打点计时器装置在平板滑道上,如图(3-2)所示。

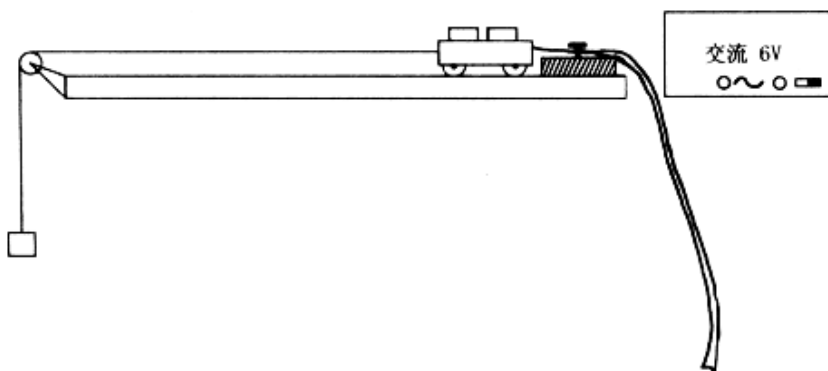


图 3-2

4. 关闭低压电源,输出电压调至 6V,将电磁打点计时器的接线柱与低压电源交流输出端(·)联接好。

5. 将纸带固定在小车尾部并穿过计时器的纸带限位孔,拉纸带使小车靠近计时器。

6. 打开低压电源开关,待计时器正常工作后,释放小车。待小车到达终点,关闭低压电源,取下纸带,按原理 4-(1)(2)(3)处理纸带,计算加速度。

(1)保持小车质量 M 不变,分别测算外力为: $F_1 = m_1 g$ 及 $F_2 = m_2 g$ 时的加速度 a_1 、 a_2 后列出比例式: $a_1 : a_2$ 、 $F_1 : F_2$,验证比值是否相同。

(2)保持外力 F 不变,分别测算小车质量为 M_1 、 M_2 时的加速度 a'_1 、 a'_2 后列出比例式: $a'_1 : a'_2$ 、 $M_2 : M_1$,验证比值是否相同。

【数据与数据处理】

次数	小车质量 $M(\text{kg})$	外力 $F(\text{N})$	加速度 $a = \frac{S_2 - S_1}{2T^2} (\text{m/s}^2)$	比值	比值
1	$M =$	$F_1 =$	$a_1 =$	$a_1 : a_2$	$F_1 : F_2$
2	$M =$	$F_2 =$	$a_2 =$		
3	$F =$	$M_1 =$	$a'_1 =$	$a'_1 : a'_2$	$M_2 : M_1$
4	$F =$	$M_2 =$	$a'_2 =$		

注意:减小实验误差的要素有:

1. 实验前调整平板滑道的倾斜角度,用小车所受重力沿斜面的分力抵消小车的运动阻力。
2. 列比例式时, $M_1 : M_2$ 应外加动力砝码的质量 m 。

【思考题】

1. M 相同时, $a_1:a_2$ 与 $F_1:F_2$ 有何关系? 说明什么问题?

2. F 相同时, $a'_1:a'_2$ 与 $M_1:M_2$ 有何关系? 说明什么问题?

3. 实验之后列比例式进行比较时, M_1 、 M_2 为何要外加充当动力砝码的质量 m ?

实验四 验证理想气体状态方程

【目标】

1. 分析、归纳实验结果来验证理想气体状态方程。
2. 学会正确使用大气压强计、曲管水银压强计、温度计等仪器。
3. 具有严谨、求实的态度。

【器材】

曲管水银压强计、大气压强计、烧杯、热水。

【原理】

在通常的温度和压强下,许多气体分子本身的体积比起气体所占空间来说小得多,并且气体分子间的作用力也是极小的。我们把分子本身的体积和分子间的作用力可以忽略不计的气体叫做理想气体。理想气体的状态是由气体的压强(p)、体积(V)和温度(T)来描述的,一定质量的理想气体在状态变化的过程中压强和体积的乘积与绝对温度的比值是恒定不变的量,即

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \text{恒量} \quad (4-1)$$

式(4-1)叫做理想气体的状态方程。

当然理想气体是不存在的,它是实际气体在一定程度上的近似。实验指出,在温度不太低、压强不太大的情况下,许多实际气体均可近似看成是理想气体。在一端封闭的U形管内,利用底部的水银使闭端封入一段空气柱,我们可以把这部分一定质量的空气做为研究对象,见图(4-1)。

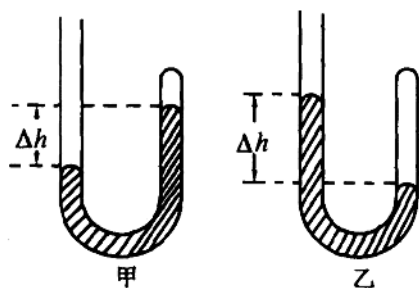


图 4-1 曲管水银压强计

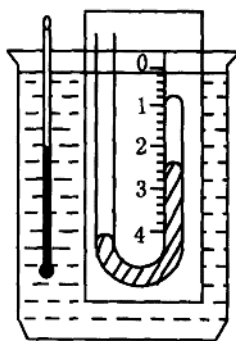


图 4-2 验证气体状态方程

将U形管全部浸没在水中,只留左端露出水面图(4-2)。当温度达到平衡时,气体的温

度等于水温,测量水温间接获得气体的温度。改变水的温度,气体的三个物理量 p 、 V 、 T 发生变化。如果已知气体的温度为 t ,大气压强为 P_0 ,管内闭端空气柱长为 L ,以及管内水银面高度差为 Δh (图 4-1),因为闭端管子的粗细是均匀的,则此空气柱的三个物理量 p 、 V 、 T 分别为:

空气柱的压强 $P = P_0 \pm \Delta h$

空气柱的体积 $V = LS$

空气柱的温度 $T = 273 + t$

S 为玻璃管内气柱的截面积,实验图(4-1) a 中 Δh 取“-”,实验图(4-2) b 中 Δh 取“+”。

代入式(4-1),消去 S 得

$$\frac{(P_0 \pm \Delta h_1)L_1}{273 + t_1} = \frac{(P_0 \pm \Delta h_2)L_2}{273 + t_2} = \text{恒量} \quad (4-2)$$

式(4-2)为验证气体状态方程的计算式。

【步骤】

1. 在烧杯中倒入冷水,把曲管水银压强计竖直插入冷水中,使杯中的水淹没曲管压强计的闭端,只留开端露出水面。

2. 从刻度尺上读出气柱的长度 L_1 和压强计两管中水银面的高度差 Δh_1 ,并同时迅速读出烧杯内水的温度 t_1 。读两管中水银面高度差时,要以水银面凸面顶部为准,并且视线要垂直于尺面。

3. 从大气压强计上读出测定时的大气压强值 P_0 。

4. 将冷水分别换成不同温度的温水,重复步骤 2、3,每次水温差约为 5°C ,重复二次。

注意事项:

1. 在读曲管水银压强计及温度计的示数时,应在示数不再变化时读取。

2. 每次实验尽量在同时读出曲管压强计、温度计及大气压强计的值。

【数据与数据处理】

大气压强 $P_0 =$ mmHg

	气柱长度 $L(\text{mm})$	水银面高度 差 $\Delta h(\text{mmHg})$	气柱压强 $p = P_0 \pm \Delta h$ (mmHg)	气体温度 $t(^{\circ}\text{C})$	$\frac{(P_0 \pm \Delta h)L}{273 + t}$
1					
2					
3					

注:1mmHg=133.322Pa 因毫米汞柱是非法定计量单位,建议学生在学习时要掌握它与法定计量单位 Pa 之间的换算关系。