目　　录

一、高中物理学史(一) …… 1
二、高中物理学史(二) …… 3
三、人物成就 …… 6

复习笔记

第一部分
第一章　直线运动 …… 11
第二章　相互作用 …… 16
第三章　牛顿定律 …… 22
第四章　曲线运动 …… 31
第五章　万有引力 …… 38
第六章　功和能 …… 42
第七章　动　量 …… 49
第八章　静电场 …… 56
第九章　恒定电流 …… 66
第十章　磁　场 …… 75
第十一章　电磁感应 …… 85
第十二章　交流电 …… 89
第十三章　原子物理 …… 93
第二部分
第一章　运动的描述 …… 97
第二章　匀变速直线运动的研究——最简单的变速直线运动 …… 101
第三章　相互作用 …… 105
第四章　牛顿运动定律 …… 111
第五章　曲线运动 …… 117
第六章　万有引力与航天 …… 124
第七章　机械能守恒定律 …… 128
第八章　电　场 …… 138
第九章　电　流 …… 151
第十章　磁　场 …… 161
第十一章　电磁感应 …… 172
第十二章　交流电 …… 179
第十三章　动量守恒 …… 185
第十四章　原子物理 …… 192

一、高中物理学史(一)

一、力学

1.1638年,意大利物理学家伽利略在《两种新科学的对话》中,用新科学推理论证了重物体不会比轻物体下落得快.

注:伽利略对自由落体的研究,开创了研究自然规律的一种科学方法.(理想斜面实验)

2.英国科学家牛顿在1687年出版的《自然哲学的数学原理》中提出了三条运动定律.

3.17世纪,伽利略通过理想实验法指出:在水平面上运动的物体若没有摩擦,将保持这个速度一直运动下去;同时代的法国物理学家笛卡尔进一步指出;如果没有其他原因,运动物体将继续以同一速度沿着一条直线运动,既不会停下来,也不会偏离原来的方向.

4.20世纪建立的量子力学和爱因斯坦提出的狭义相对论,表明经典力学不适用于微观粒子和高速运动物体.

5.17世纪,德国天文学家开普勒提出开普勒三定律.

6.牛顿于1687年正式发表万有引力定律;英国物理学家卡文迪许利用扭秤装置比较准确地测出了引力常量(体现放大和转换的思想);1846年,科学家应用万有引力定律,计算并观测到海王星.

二、电磁学

1.1785年法国物理学家库仑利用扭秤实验发现了电荷之间的相互作用规律——库仑定律.(转化)

2.1752年,富兰克林在费城通过风筝实验验证闪电是电的一种形式,把天电与地电统一起来,并发明了避雷针.

3.1826年德国物理学家欧姆(1787~1854年)通过实验得出欧姆定律.

4.1841~1842年,焦耳和楞次先后各自独立发现电流通过导体时产生热效应的规律,称为焦耳——楞次定律.

5.1820年,丹麦物理学家奥斯特发现电流可以使周围的磁针偏转的效应,称为电流的磁效应.

6.安培发现两根通有同向电流的平行导线相吸,反向电流的平行导线则相斥;同时提出了安培分子电流假说.

7.荷兰物理学家洛伦兹提出运动电荷产生磁场和磁场对运动电荷有作用力(洛伦兹力)的观点.

8.汤姆生的学生阿斯顿设计的质谱仪可用来测量带电粒子的质量和分析同位素.

9.1932年美国物理学家劳伦兹发明了回旋加速器,它能在实验室中产生大量的高能粒子.(最大动能仅取决于磁场和D形盒直径.带电粒子做圆周运动的周期与高频电源的周期相同.)

10.1831年英国物理学家法拉第发现了由磁场产生电流的条件和规律——电磁感应现象.

11.1834年楞次发表确定感应电流方向的定律.

12.1832年亨利发现自感现象,即在研究感应电流的同时,发现因电流变化而在电路本身引起感应电动势的现象.日光灯的工作原理即为其应用之一,双绕线法制精密电阻为消除其影响的应用之一.

13.1864年英国物理学家麦克斯韦发表《电磁场的动力学理论》的论文,提出了电磁场的基本方程组,后称为麦克斯韦方程组,预言了电磁波的存在,指出光是一种电磁波,为光的电磁理论奠定了基础.电磁波是一种横波(注意第二册P243的图).

14.1887年德国物理学家赫兹用实验证实了电磁波的存在,并测定了电磁波的传播速度等于光速.

三、原子物理学

1.1897 年,汤姆生利用阴极射线管发现了电子,说明原子可分,有复杂的内部结构,并于 1898 年提出原子的枣糕模型.

2.1913 年,丹麦物理学家玻尔提出了原子结构假说,成功地解释和预言了氢原子的辐射电磁波谱,为量子力学的发现奠定了基础.(明确其局限性)

3.1924 年,法国物理学家德布罗意预言了实物粒子在一定条件下会表现出波动性;1927 年美英两国物理学家得到了电子束在金属晶体上的衍射图案.电子显微镜与光学显微镜相比,衍射现象影响变小很多,大大地提高了分辨能力,质子显微镜的分辨本领更高.

4.1909 ~ 1911 年,英国物理学家卢瑟福和助手们进行了 α 粒子的散射实验,卢瑟福在 1911 年提出了原子的核式结构模型.由实验结果估计原子核直径数量级为 10^{-15}m.

5.1896 年,法国物理学家贝克勒尔发现天然放射现象,说明原子核也有复杂的内部结构.天然放射现象有两种衰变(α、β),三种射线(α、β、γ),其中 γ 射线是衰变后新核处于激发态,向低能级跃迁时辐射出的射线.衰变的快慢(半衰期)与原子所处的物理和化学状态无关.

6.1919 年,卢瑟福用 α 粒子轰击氮核,第一次实现了原子核的人工转变,并发现了质子.预言原子核内还有另一种粒子.

7.查德威克于 1932 年在 α 粒子轰击铍核时发现中子,由此人们认识到原子核由质子和中子组成.

8.1938 年 12 月德国物理学家哈恩和助手斯特拉斯曼用中子轰击铀核时,铀核发生裂变.1942 年,在费米、西拉德等人领导下,美国建成第一个裂变反应堆(由浓缩铀棒、控制棒、减速剂、水泥防护层等组成).

9.1952 年美国爆炸了世界上第一颗氢弹(聚变反应、热核反应).人工控制核聚变的一个可能途径是利用强激光产生的高压照射小颗粒核燃料.

10.1932 年发现了正电子,1964 年提出夸克模型;粒子分为三大类:媒介子,传递各种相互作用的粒子如光子;轻子,不参与强相互作用的粒子如电子,中微子;强子,参与强相互作用的粒子如质子、中子;强子由更基本的粒子夸克组成,夸克带电荷量可能为元电荷的 1/3 或 2/3.

二、高中物理学史(二)

一、力学

1.1638 年,意大利物理学家伽利略在《两种新科学的对话》中,用科学推理论证重物体和轻物体下落一样快;并在比萨斜塔做了两个不同质量的小球下落的实验,证明了他的观点是正确的,推翻了古希腊学者亚里士多德的观点(即:质量大的小球下落快是错误的).

2.1654 年,德国的马德堡市做了一个轰动一时的实验——马德堡半球实验.

3.1687 年,英国科学家牛顿在《自然哲学的数学原理》著作中,提出了三条运动定律(即牛顿三大运动定律).

4.17 世纪,伽利略通过构思的理想实验指出:在水平面上运动的物体若没有摩擦,将保持这个速度一直运动下去;得出结论:力是改变物体运动的原因,推翻了亚里士多德的观点——力是维持物体运动的原因.同时代的法国物理学家笛卡尔进一步指出:如果没有其他原因,运动物体将继续以同一速度沿着一条直线运动,既不会停下来,也不会偏离原来的方向.

5.英国物理学家胡克对物理学的贡献是胡克定律;经典题目:胡克认为只有在一定条件下,弹簧的弹力才与弹簧的形变量成正比.

6.1638 年,伽利略在《两种新科学的对话》一书中,运用观察—假设—数学推理的方法,详细研究了抛体运动.

7.人们根据日常的观察和经验,提出“地心说”,古希腊科学家托勒密是代表;而波兰天文学家哥白尼提出了“日心说”,大胆反驳“地心说”.

8.17 世纪,德国天文学家开普勒提出开普勒三大定律.

9.牛顿于 1687 年正式发表万有引力定律;1798 年英国物理学家卡文迪许利用扭秤实验装置比较准确地测出了引力常量(放大和转化的思想).

10.1846 年,英国剑桥大学学生亚当斯和法国天文学家勒维烈(勒维耶)应用万有引力定律,计算并观测到海王星,1930 年,美国天文学家汤苞用同样的计算方法发现冥王星.

11.我国宋朝发明的火箭是现代火箭的鼻祖,与现代火箭原理相同;但现代火箭结构复杂,其所能达到的最大速度主要取决于喷气速度和质量比(火箭开始飞行的质量与燃料燃尽时的质量比).

12.俄国科学家齐奥尔科夫斯基被称为近代火箭之父,他首先提出了多级火箭和惯性导航的概念.多级火箭一般都是三级火箭,我国已成为掌握载人航天技术的第三个国家.

13.1957 年 10 月,苏联发射第一颗人造地球卫星;1961 年 4 月,世界第一艘载人宇宙飞船“东方 1 号”带着尤里·加加林第一次踏入太空.

14.20 世纪初建立的量子力学和爱因斯坦提出的狭义相对论,表明经典力学不适用于微观粒子和高速运动的物体.

二、电磁学(选修 3-1、3-2)

1.1785 年,法国物理学家库仑利用扭秤实验发现了电荷之间的相互作用规律——库仑定律,并测出了静电力常量 k 的值.

2.1752 年,富兰克林在费城通过风筝实验验证闪电是放电的一种形式,把天电与地电统一起来,并发明了避雷针.

3. 1837 年,英国物理学家法拉第最早引入了电场概念,并提出用电场线表示电场.

4. 1913 年,美国物理学家密立根通过油滴实验精确测定了元电荷 e 的电荷量,获得诺贝尔奖.

5. 1826 年,德国物理学家欧姆(1787～1854 年)通过实验得出欧姆定律.

6. 1911 年,荷兰科学家昂尼斯(或昂纳斯)发现大多数金属在温度降到某一值时,都会出现电阻突然降为零的现象——超导现象.

7. 19 世纪,焦耳和楞次先后各自独立发现电流通过导体时产生热效应的规律,即焦耳——楞次定律.

8. 1820 年,丹麦物理学家奥斯特发现电流可以使周围的小磁针发生偏转,称为电流磁效应.

9. 法国物理学家安培发现两根通有同向电流的平行导线相吸,反向电流的平行导线则相斥,同时提出了安培分子电流假说;并总结出安培定则(右手螺旋定则,判断电流与磁场的相互关系)和左手定则(判断通电导线在磁场中受到磁场力的方向).

10. 荷兰物理学家洛伦兹提出运动电荷产生了磁场和磁场对运动电荷有作用力(洛伦兹力)的观点.

11. 汤姆生的学生阿斯顿设计的质谱仪可用来测量带电粒子的质量和分析同位素.

12. 1932 年,美国物理学家劳伦兹发明了回旋加速器,它能在实验室中产生大量的高能粒子.(最大动能仅取决于磁场和 D 形盒直径. 带电粒子做圆周运动的周期与高频电源的周期相同;但当粒子动能很大,速率接近光速时,根据狭义相对论,粒子质量随速率显著增大,粒子在磁场中的回旋周期发生变化,进一步提高粒子的速率很困难.

13. 1831 年,英国物理学家法拉第发现了由磁场产生电流的条件和规律——电磁感应定律.

14. 1834 年,俄国物理学家楞次发表确定感应电流方向的定律——楞次定律.

15. 1835 年,美国科学家亨利发现自感现象(因电流变化而在电路本身引起感应电动势的现象),日光灯的工作原理即为其应用之一,双绕线法制精密电阻为消除其影响的应用之一.

16. 1913 年,丹麦物理学家玻尔提出了原子结构假说,成功地解释和预言了氢原子的辐射电磁波谱,为量子力学的发展奠定了基础.

17. 1924 年,法国物理学家德布罗意大胆预言了实物粒子在一定条件下会表现出波动性.

18. 1927 年,美、英两国物理学家得到了电子束在金属晶体上的衍射图案. 电子显微镜与光学显微镜相比,衍射现象影响变小很多,大大地提高了分辨能力,质子显微镜的分辨本领更高.

三、原子物理学(选修 3－5)

1. 1858 年,德国科学家普里克发现了一种的射线——阴极射线(高速运动的电子流).

2. 1906 年,英国物理学家汤姆生发现电子,获得诺贝尔物理学奖.

3. 1913 年,美国物理学家密立根通过油滴实验精确测定了元电荷 e 的电荷量,获得诺贝尔奖.

4. 1897 年,汤姆生利用阴极射线管发现了电子,说明原子可分,有复杂的内部结构,并提出原子的枣糕模型.

5. 1909～1911 年,英国物理学家卢瑟福和助手们进行了 α 粒子散射实验,并提出了原子的核式结构模型. 由实验结果估计原子核直径数量级为 10^{-15}m.

6. 1919 年,卢瑟福用 α 粒子轰击氮核,第一次实现了原子核的人工转变,并发现了质子. 预言原子核内还有另一种粒子,被其学生查德威克于 1932 年在 α 粒子轰击铍核时发现,由此人们认识到原子核由质子和中子组成.

7. 1885 年,瑞士的中学数学教师巴耳末总结了氢原子光谱的波长规律——巴耳末系.

8. 1913 年,丹麦物理学家玻尔最先得出氢原子能级表达式.

9. 1896 年,法国物理学家贝克勒尔发现天然放射现象,说明原子核有复杂的内部结构. 天然放射现象:有两种衰变(α、β),三种射线(α、β、γ),其中 γ 射线是衰变后新核处于激发态,向低能级跃迁时辐射出的射线. 衰变快慢与原子所处的物理和化学状态无关.

10. 1896 年,在贝克勒尔的建议下,玛丽·居里夫妇发现了两种放射性更强的新元素——钋(Po)和镭(Ra).

11. 1919 年,卢瑟福用 α 粒子轰击氮核,第一次实现了原子核的人工转变,发现了质子,并预言原子核内还有另一种粒子——中子.

12. 1932 年,卢瑟福学生查德威克在 α 粒子轰击铍核时发现中子,获得诺贝尔物理奖.

13. 1934 年,约里奥·居里夫妇用α 粒子轰击铝箔时,发现了正电子和人工放射性同位素.

14. 1939 年 12 月,德国物理学家哈恩和助手斯特拉斯曼用中子轰击铀核时,铀核发生裂变. 1942 年,在费米、西拉德等人领导下,美国建成第一个裂变反应堆(由浓缩铀棒、控制棒、减速剂、水泥防护层等组成).

15. 1952 年美国爆炸了世界上第一颗氢弹(聚变反应、热核反应). 人工控制核聚变的一个可能途径是:利用强激光产生的高压照射小颗粒核燃料.

16. 1932 年发现了正电子,1964 年提出夸克模型:

粒子分三大类:媒介子—传递各种相互作用的粒子,如:光子;

轻子—不参与强相互作用的粒子,如:电子、中微子;

强子—参与强相互作用的粒子,如:重子(质子、中子、超子)和介子,强子由更基本的粒子夸克组成,夸克带电荷量可能为元电荷的 1/3 或 2/3.

三、人物成就

★伽利略(意大利物理学家)

贡献:

1. 发现单摆的等时性;

2. 物体下落过程中的运动情况与物体的质量无关;

3. 伽利略的理想斜面实验:将实验与逻辑推理结合在一起探究科学真理的方法为物理学的研究开创了新的一页(发现了物体具有惯性,同时也说明了力是改变物体运动状态的原因,而不是使物体运动的原因).

经典题目:

1. 伽利略用实验证实了力是使物体运动的原因;(错)

2. 伽利略认为力是维持物体运动的原因;(错)

3. 伽俐略首先将物理实验事实和逻辑推理(包括数学推理)和谐地结合起来;(对)

4. 伽利略根据理想实验推论出,如果没有摩擦,在水平面上的物体,一旦具有某一个速度,将保持这个速度继续运动下去.(对)

★胡克(英国物理学家)

贡献:

胡克定律

经典题目:

胡克认为只有在一定的条件下,弹簧的弹力才与弹簧的形变量成正比.(对)

★牛顿(英国物理学家)

贡献:

1. 牛顿在伽利略、笛卡尔、开普勒、惠更斯等人研究的基础上,采用归纳与演绎、综合与分析的方法,总结出一套普遍适用的力学运动规律——牛顿运动定律和万有引力定律,建立了完整的经典力学(也称牛顿力学或古典力学)体系,物理学从此成为一门成熟的自然科学;

2. 经典力学的建立标志着近代自然科学的诞生.

经典题目:

1. 牛顿发现了万有引力,并总结得出了万有引力定律,卡文迪许用实验测出了引力常量;(对)

2. 牛顿认为力的真正效应总是改变物体的速度,而不仅仅是使之运动;(对)

3. 牛顿提出的万有引力定律奠定了天体力学的基础.(对)

★卡文迪许

贡献:

测量了引力常量.

经典题目:

1. 牛顿第一次通过实验测出了引力常量;(错)

2. 卡文迪许巧妙地利用扭秤装置第一次在实验室里测出了引力常量的数值.(对)

★亚里士多德(古希腊)

贡献:

1. 观点一:重的物理下落得比轻的物体块;

2. 观点二:力是维持物体运动的原因.
经典题目:
亚里士多德认为物体的自然状态是静止的,只有当它受到力的作用才会运动.(对)

★开普勒(德国天文学家)

贡献:
开普勒三定律.
经典题目:
开普勒发现了万有引力定律和行星运动规律.(错)

★托勒密(古希腊科学家)

贡献:
发展和完善了地心说.

★哥白尼(波兰天文学家)

贡献:
日心说.

★第谷(丹麦天文学家)

贡献:
测量天体的运动.

★威廉·赫歇耳(英国天文学家)

贡献:
用望远镜发现了太阳系的第七颗行星——天王星.

★汤苞(美国天文学家)

贡献:
用"计算、预测、观察和照相"的方法发现了太阳系第九颗行星——冥王星.

★泰勒斯(古希腊)

贡献:
发现毛皮摩擦过的琥珀能吸引羽毛、头发等轻小物体.

★库仑(法国物理学家)

贡献:
发现了库仑定律——标志着电学的研究从定性走向定量.
经典题目
1. 库仑总结并确认了真空中两个静止点电荷之间的相互作用;(对)
2. 库仑发现了电流的磁效应.(错)

★富兰克林(美国物理学家)

贡献:
1. 对当时的电学知识(如电的产生、转移、感应、存储等)作了比较系统的整理;
2. 统一了天电和地电.

★密立根

贡献:
密立根油滴实验——测定元电荷.

★昂纳斯(荷兰物理学家)

贡献:
发现超导.

★欧姆

贡献:

欧姆定律(部分电路、闭合电路)

★奥斯特(丹麦物理学家)

贡献:

电流的磁效应(电流能够产生磁场).

经典题目:

1. 奥斯特最早发现电流周围存在磁场;(对)
2. 法拉第根据小磁针在通电导线周围的偏转而发现了电流的磁效应.(错)

★法拉第

贡献:

1. 用电场线的方法表示电场;
2. 发现了电磁感应现象;
3. 发现电磁感应产生的条件及规律.

经典题目:

1. 奥斯特发现了电流的磁效应,法拉第发现了电磁感应现象;(对)
2. 法拉第发现了磁场产生电流的条件和规律;(对)
3. 奥斯特对电磁感应现象的研究,将人类带入了电气化时代;(错)
4. 法拉第发现了磁生电的方法和规律.(对)

★安培(法国物理学家)

贡献:

1. 磁场对电流可以产生作用力(安培力),并且总结出了这一作用力遵循的规律;
2. 安培分子电流假说.

经典题目:

1. 安培最早发现了磁场能对电流产生作用;(对)
2. 安培提出了磁场对运动电荷的作用力公式.(错)

★洛伦兹(荷兰物理学家)

贡献:

1895 年发表了磁场对运动电荷的作用力公式(洛伦兹力).

★阿斯顿

贡献:

1. 发现了质谱仪;
2. 发现非放射性元素的同位素.

★劳伦斯(美国)

贡献:

发现了回旋加速器.

★楞次

贡献:

发现了楞次定律(判断感应电流的方向).

★汤姆生(英国物理学家)

贡献:

1. 发现了电子(揭示了原子具有复杂的结构);
2. 建立了原子的模型——枣糕模型.

经典题目：
汤姆生通过对阴极射线的研究发现了电子.（对）

★卢瑟福（英国物理学家）

贡献：
1. 指导助手进行了 α 粒子散射实验；（记住实验现象）
2. 提出了原子的核式结构；（记住内容）
3. 发现了质子.

经典题目：
1. 汤姆生提出原子的核式结构学说，后来卢瑟福用粒子散射实验给予了验证；（错）
2. 卢瑟福的原子核式结构常说成功地解释了氢原子的发光现象；（错）
3. 卢瑟福的 α 粒子散射实验可以估算原子核的大小；（对）
4. 卢瑟福通过对 α 粒子散射实验的研究，提示了原子核的组成.（错）

★波尔（丹麦物理学家）

贡献：
玻尔原子模型（很好地解释了氢原子光谱）.

经典题目：
1. 玻尔把普朗克的量子理论运用于原子系统上，成功解释了氢原子光谱规律；（对）
2. 玻尔理论是依据 α 粒子散射实验分析得出的；（错）
3. 玻尔氢原子能级理论的局限性是保留了过多的经典物理理论.（对）

★贝克勒尔（法国物理学家）

贡献：
发现天然放射现象（提示了原子核具有复杂结构）

经典题目：
1. 天然放射性是由贝克勒尔最先发现的；（对）
2. 贝克勒尔通过对天然放射现象的研究发现了原子的核式结构.（错）

★伦琴

贡献：
发现了伦琴射线（X 射线）.

★查德威克

贡献：
发现了中子.

★约里奥·居里和伊丽芙·居里夫妇

贡献：
1. 发现了放射性同位素；
2. 发现了正电子.

经典题目：
1. 居里夫妇用 α 粒子轰击铝箔时发现电子；（错）
2. 约里奥·居里夫妇用 α 粒子轰击铝箔时发现了正电子.（对）

★普朗克

贡献：
量子论

★爱因斯坦

贡献：

1. 用光子说解释了光电效应;
2. 相对论.

经典题目:
1. 爱因斯坦提出了量子理论,普朗克提出了光子说;(错)
2. 爱因斯坦用光子说很好地解释了光电效应;(对)
3. 爱因斯坦发现了光电效应现象,普朗克为了解释光电效应的规律,提出了光子说;(错)
4. 爱因斯坦创立举世瞩目的相对论,为人类利用核能奠定了理论基础;普朗克提出了光子说,深刻地揭示了微观世界的不连续现象.(错)

★麦克斯韦

贡献:
1. 建立了完整的电磁理论;
2. 预言了电磁波的存在,并且认为是一种电磁波(赫兹通过实验证实电磁波的存在).

经典题目:
1. 普朗克在前人研究电磁感应的基础上建立了完整的电磁理论;(错)
2. 麦克斯韦从理论上预言了电磁波的存在,赫兹用实验方法给予了证实;(对)
3. 麦克斯韦通过实验证实了电磁波的存在.(错)

复习笔记

第一部分

第一章　直线运动

一、基本概念

1. 质点

(1)理想模型

(2)物体被当做质点的条件:大小形状可忽略,研究物体的转动时不可以被当作质点.

2. 速率(标量)

(1)定义:路程与时间的比值$\left(\frac{L}{t}\right)$

(2)平均速率:$\bar{v}=\frac{L}{t}$

瞬时速率:$v=\bar{v}$,在$\Delta t\to 0$时的值.

3. 速度(矢量)

(1)定义:位移与时间的比值$\left(\frac{s}{t}\right)$

(2)平均速度:$\bar{v}=\frac{s}{t}$,方向与s同向

瞬时速度:$v=\bar{v}$,在$\Delta t\to 0$时的值(方向为轨迹切线方向).

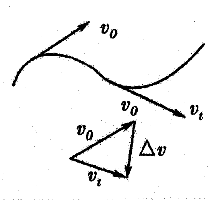
注:平均速率≥平均速度(大小)　　瞬时速率=瞬时速度(大小)

4. 加速度(矢量):在加速度方向上,速度每秒钟增加的值,描述了物体运动速度变化的快慢.

(1)定义式:$a=\frac{\Delta v}{t}$,平均加速度方向与速度变化量同向;

(2)速度变化量:$\Delta v=v_t-v_0$(矢量方程,有方向)

(3)矢量加减:平行四边形法(三角形法则),例:



5. 机械运动:物体的空间位置随时间的变化.

6. 参考系:未指明,一般以相对地面不动的物体为参考系.

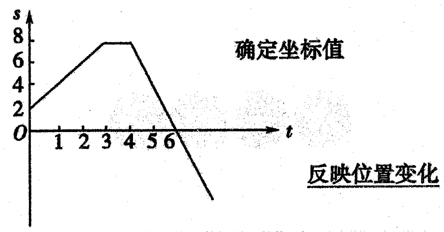
7. 位移与路程:单方向直线运动时,位移=路程.

8. 时间间隔和时刻

二、图象

1. $s-t$图象

(1)设正方向(答题时,若题为语言叙述,用语言描述方向;若题中有图象,无需解释正负号)

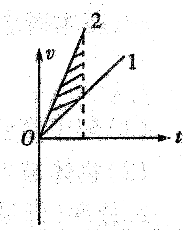


(2)反映位置随时间变化

(3)斜率反映运动物体的速度

(4)可求任意时间内的位移

2. $v-t\xrightarrow{\text{图象}}$(截距、斜率、面积)



(1)设"+"表示方向

(2)反映 v 随 t 的变化

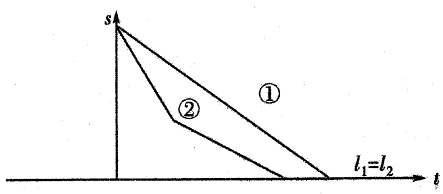
(3)斜率表示运动物体的加速度

(4)与 t 轴围成的面积表示这段 t 的位移

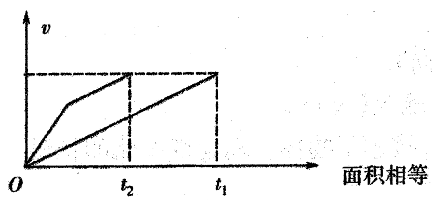
(5)两图象间的面积表示相对位移(位移差),只能求位移,不能求位置.

练　　习

1.



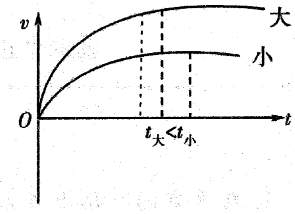
v-t 图象无法表示折线运动



3. 雨滴下落时,v 越大,$f_{阻}$ 越大;大小不同的雨滴,v 相同时,$f_{阻}$ 与 R^{α} 成正比,$(1<\alpha<2)$,则大、

小两雨滴的 v_t 与 t 的大小关系.(同一高度落下)

$\therefore v_{t大} > v_{t小}$



$a = g - \frac{1}{m}f_{阻}$

(1) $mg - f_{阻} = ma$,雨滴 α 的加速运动(最后做匀速运动)

(2) v 相同时, $mg - kR^{\alpha} = ma$

$\therefore a = g - \frac{k}{m}R^{\alpha} = g - \frac{k}{\rho V}R^{\alpha} = g - \frac{3k}{4\pi R^{3-\alpha}\rho}$ $\quad (V = \frac{4}{3}\pi R^3)$

当小雨滴匀速运动时,大雨滴仍有加速度 a,仍会加速,故 v 相同时, $a_{大雨滴} > a_{小雨滴}$.

三、规律

内容	要求
参考系、质点	Ⅰ
位移、速度和加速度	Ⅱ
匀变速直线运动及其公式、图象	Ⅱ

1. 基本规律

$$\begin{cases} v-t: v_t = v_0 + at\text{(矢量方程)} \\ s-t: s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2\text{(运动是可逆的)} \\ s-v: v_t^2 - v_0^2 = 2as \end{cases}$$

(匀速运动) $\begin{cases} x = vt \\ v = x/t \\ a = 0 \end{cases}$

2. 推论

(1) 平均速度: $\bar{v} = \frac{v_0 + v_t}{2} = v_{t/2}$

(2) $\Delta s = aT^2$

(3) $s_m - s_n = (m-n)aT^2$ (T:时间间隔, $s_m - s_n$:第 m 份、第 n 份位移之差)

3. 应用

(1) $v_0 = 0$ 的匀加速直线运动

(1)1T 内、2T 内、3T 内……位移之比 $x_1 : x_2 : x_3 \cdots = 1^2 : 2^2 : 3^2 \cdots$

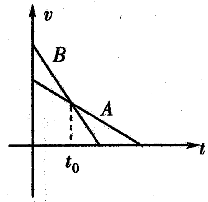
(2)1 T 末、2T 末、3T 末……速度之比 $v_1 : v_2 : v_3 \cdots = 1 : 2 : 3 \cdots$

(3) 第一个 T 内、第二个 T 内、第三个 T 内……的位移之比为 $S_{Ⅰ} : S_{Ⅱ} : S_{Ⅲ} \cdots = 1 : 3 : 5 \cdots$

(4) 从静止开始通过连续相等的位移所用时间之比为 $t_1 : t_2 : t_3 \cdots = 1 : (\sqrt{2}-1) : (\sqrt{3}-\sqrt{2}) \cdots$

(2) 追及相遇

①追及问题:两个同向运动



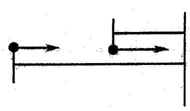
$v_A = v_B$ 时,如果不相遇, A、B 间距有极值

$v_A = v_B$ 时, A、B 间位移差 $\Delta s = s_B - s_A$ 最大

$$\begin{cases} \Delta s = L_{间}\text{,相遇一次} \\ \Delta s < L_{间}\text{,不相遇} \\ \Delta s > L_{间}\text{,相遇两次} \end{cases}$$

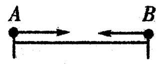
②相遇问题

a. 同向运动



设一个正方向

$\begin{cases} \text{相遇}: s_{后} = s_{前} + s_{间} \\ \text{不相遇}: s_{后} \leq s_{前} + s_{间} \end{cases}$ (大小方程)

b. 相向运动 

$\begin{cases}\text{相遇}:s_A+s_B=s_{\text{间}}\\ \text{不相遇}:s_A+s_B\leqslant s_{\text{间}}\end{cases}$

设两个正方向

练　　习

1. 在平直的公路上 A 以 $v_1=20\ \text{m/s}$ 匀速，B 在之后以 $v_2=40\ \text{m/s}$ 匀速，在相距 40 m 时，为防止碰撞 B 立即匀减速，求 a 的条件.

解析：当 $v_A=v_B$ 时，位移差最大，此时间距最小.

对 A：$s_1=v_1t$

对 B：$v_1=v_2-at\quad s_2=\dfrac{v_1^2-v_2^2}{2a}$

$\therefore s_2<s_1+L_{\text{间}}\qquad \therefore a>5\ \text{m/s}^2$

2. 两辆车相向运动，A 向左以 $v_1=30\ \text{m/s}$，$a_1=5\ \text{m/s}^2$ 刹车制动，B 车向右以 $v_0=0$，以 $a_2=4\ \text{m/s}^2$ 匀加速，最大速度 20 m/s，最初间距 $s_0=200\ \text{m}$，求 A、B 相遇时间.

解析：(1) 当 $A\to$制动，$B\to$匀加速至 20 m/s 时

$t=5\ \text{s}$，$s_A=v_1t-\dfrac{1}{2}a_1t^2$，$s_B=\dfrac{1}{2}a_2t^2$

$\therefore s_A+s_B<200\ \text{m}$，此时间距 $s'=62.5\ \text{m}$

而后 A，$v_1'=5\ \text{m/s}$ 制动，$B\to$匀速

$\therefore$ 有 $A\to$停时　$t'=1\ \text{s}$，

$\therefore s_A+s_B=22.5\ \text{m}$，此时间距 $s''=40\ \text{m}$

而后 B 匀速，$t''=\dfrac{s''}{v_2'}=2\ \text{s}$

$\therefore t_{\text{相遇}}=t+t'+t''=8\ \text{s}$

(2) 设方向

对 A：$s_1=v_1t-\dfrac{1}{2}at^2$

对 B：$s_2=\dfrac{1}{2}a_2t^2$

判断：A：$V_{tA}=v_1-at>0$ 成立　B：$V_{tB}=a_2t<v_{\text{m}}$ 成立

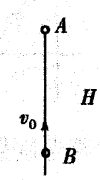
$\therefore A$ 先停下

$\therefore s_A=90\ \text{m}$，$s_B=50\ \text{m}$，$t_1=5\ \text{s}$

经计算 $t_2=\dfrac{s_1-s_B-s_A}{v_{\text{m}}}=3\ \text{s}$

$\therefore t_{\text{总}}=t_1+t_2=8\ \text{s}$

3. A 自由落体，正下方 H 处 B 以 v_0 上抛，求 $t_{\text{相}}$



解析：对 A：$h_A=\dfrac{1}{2}gt^2\downarrow\oplus$　　对 B：$h_B=v_0t-\dfrac{1}{2}gt^2\uparrow\oplus$

$\therefore$ 相对 $v_0t=H$，$t_{\text{相}}=\dfrac{H}{v_0}$

$$\begin{cases} t_{相} < \dfrac{v_0}{g}, B\text{ 上升时相遇} \\ \dfrac{v_0}{g} < t_{相} < \dfrac{2v_0}{g}, B\text{ 下降（在抛点上）相遇} \\ t_{相} > \dfrac{2v_0}{g}, B\text{ 下降时相遇（在抛点下）} \end{cases}$$

四、自由落体与上抛运动

1. 自由落体：$a=g$，向下的匀加速运动

$v_t=gt, h=\frac{1}{2}gt^2, v_t^2=2gh$　　（看好 g 值大小）

2. 上抛运动：

（1）匀减速（设 v_0 为正）

$v_t=v_0-gt$　（g 的值）　$h=v_0t-\frac{1}{2}gt^2$　$v_0^2-v_t^2=2gh$

（2）对称性，分为两个阶段

$$\begin{cases}\text{时间：上升下降经同一路段时间相等} \\ \text{速度：上升下降经同一位置速度大小相等（方向不同）}\end{cases}$$

五、实验

1. 打点计时器

（1）只能使用交流电源

（2）先打点，后放纸带（打点一段 t 后才稳定）

（3）$\Delta T=T_{交}$

2. 计数点的选择

（1）每隔 n 个点选一个计数点，$\Delta t=(n+1)\Delta T$

（2）每 n 个点选一个计数点，$\Delta t=n\cdot\Delta T$

3. 求速度

$v_{点}=\bar{v}$

例： A　B　C　D　E（S_1　S_2　S_3　S_4）如 $v_C=\frac{s_{BD}}{t_{BD}}$（用 t 段的解）

求 v_A 方法，求出 $\Delta\bar{s}$（平均位移差）在 A 左侧构造一段位移，再如上法.

4. 求 a

（1）逐差法：（如上图例）由 $s_3-s_1=2a_1t^2, s_4-s_2=2a_2t^2, \bar{a}=\frac{a_1+a_2}{2}$

（分为 t 相等的两部分）则 $\bar{a}=\frac{(s_4+s_3)-(s_1+s_2)}{(2t)^2}$　（偶数段）

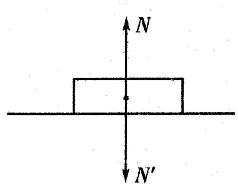
（2）平均 $\Delta\bar{s}$ 方法：求出 $\Delta\bar{s}=\bar{a}T^2$

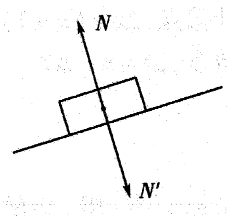
第二章　相互作用

内容	要求
滑动摩擦力、动摩擦因数、静摩擦力	Ⅰ
形变、弹性、胡克定律	Ⅰ
矢量和标量	Ⅰ
力的合成和分解	Ⅱ
共点力的平衡	Ⅱ

一、具体的力

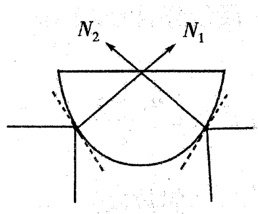
1. 重力
(1)方向:竖直方向(垂直于水平面)
(2)作用点:重心(不一定在物体上)
(3)大小:①$G=mg$,g 从赤道到两极增大;②弹簧秤测静止时.
2. 弹力
(1)产生:由于形变产生的
(2)产生条件:①接触　②拉伸或挤压
(3)作用点:发生形变的弹力作用在对方物体上.
(4)方向:指向形变恢复方向
①接触面的弹力:垂直接触面指向形变恢复的方向

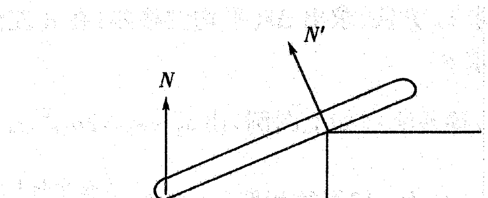




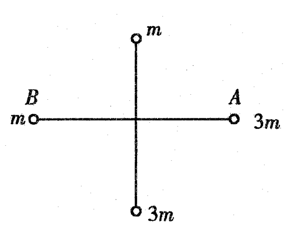
②微小接触面的微小形变:在忽略形变的前提下,放大相互接触的规则部分.

面与面:垂直面
点与面:垂直面
点与线:垂直线





③轻杆的弹力

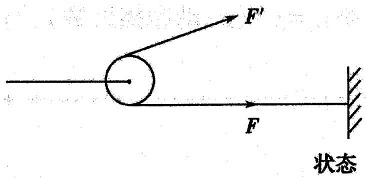


杆对 A、B 做功,E_{PAB}减小,E_{KAB}增加,$E_{机B}$增大(正功),$E_{机A}$减小(负功)

可绕端点自由转动的轻杆的弹力力是沿杆的.

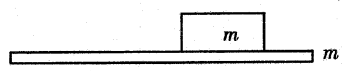
④轻绳:沿绳,指向绳收缩方向的拉力.

特点:绳内部任意一点及两端由于形变的弹力处处相等,等于绳的弹力.



绳给滑轮的力 $=F'$与 F 的矢量和

(5)大小:微小形变由物体的分析而定;明显形变 $F\propto x$.



(6)胡克定律:

①内容:$F=kx\begin{cases}x:压缩\ L_0-L;拉伸\ L-L_0.\\k:劲度系数,与材料、(直径)粗细、匝数有关.\end{cases}$

②受力特点:内部的任意一点及两端由于形变的弹力处处相等,等于弹簧的弹力大小(或示数).弹簧受力时每匝伸长都相同.

③推论:$\Delta F=k\cdot\Delta x$

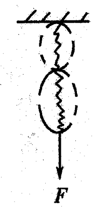
$F=kx=kn\cdot x_0$

$F=k_1x_1=k_1n_1x_0$

$F=k_2x_2=k_2n_2x_0$

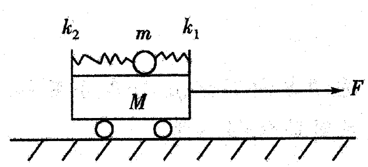
$\therefore k_n=k_1n_1=k_2n_2$

匝数与劲度数乘积不变.



练　　习

1.



要分析弹簧是压缩或拉伸.

求球相对于 M 的位移.

应用胡克定律的推论:

$F=(M+m)a$

两弹簧弹力一定一大一小,且 ΣF 向右,则小球一定相对小车向左运动.

$k_1\Delta x+k_2\Delta x=ma$

$\therefore \Delta x=\dfrac{mF}{(m+M)(k_1+k_2)}$

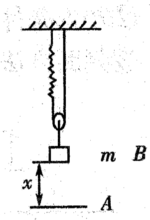
2. 在 B 处静止,下降至 A 时,在 A 处释放物体,求瞬间 m 的 a.

解析:原来平衡,弹簧力 $B\to A$ 变化了 $k\cdot\Delta x=\Delta F$

对物体,向下力增大了 $2k\cdot\Delta x$,$F_{合}=2k\cdot\Delta x=ma$

又 $\Delta x=2x$,

$\therefore a=\dfrac{4kx}{m}$



3. 摩擦力

(1)滑动摩擦力→电磁相互作用

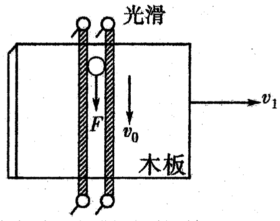
①产生:在接触面上由于相对运动摩擦产生.

②产生条件:①相对运动　②表面粗糙(相互啮合)　③接触挤压

③三要素:①方向:阻碍相对运动,沿切线方向　②大小:$f=\mu N$(μ:动摩擦因数),与相对运动和接触面积无关.

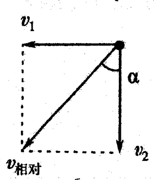
练　　习

1.

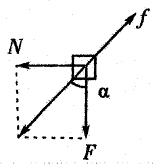


使物体以 v_0 沿槽滑动,求 F.

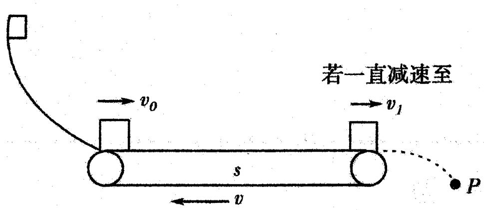
解析:$F=\mu mg\cos\alpha$



$\tan\alpha=\dfrac{v_1}{v_2}$,　$f_{方向}$



2.



当传递带不动时,物体滑至 P 处.

(1)当传递带逆时针转动时,物体落在 P 点.

对物体 $f=\mu mg=ma$,$a=\mu g$,传送带从不转→逆时针→相对运动方向不变,μ 与 N 不变→a 不变

变化的是相对运动状态,而相对运动方向与大小不变,且对地位移不变.

(2)当传送带顺时针转动时.

当 $v<v_1$,在 P 点　　　　s 相同,$a=\mu g$

当 $v\geqslant v_1$,在 P 点右侧　　　$s'<s$,$a=\mu g$

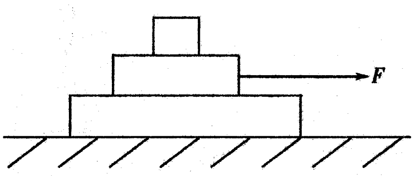
(2)静摩擦力

①产生:有相对运动趋势.

相对运动趋势:如果光滑,有相对运动,则有相对运动趋势,相对运动方向为相对运动趋势方向.

②产生条件:接触挤压;表面粗糙;有相对运动趋势.

③判断方法:状态分析;假设法.

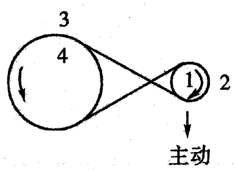


静 f 与状态有关,无状态交代,无法分析!

④方向:沿切线方向,与相对运动趋势相反.

练　　习

1.

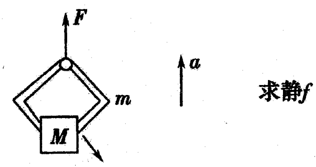


(1)判断图中4点静f与动f及方向

静f_1向上,静f_2向下　　　静f_3向右,静f_4向左

(2)大小:由状态分析确定

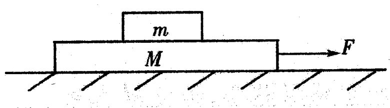
2.



解析:向上加速:$F-(M+m)g=(M+m)a$

$$a=\frac{F}{M+m}-g \qquad \therefore 2f-Mg=Ma=\frac{FM}{M+m}-Mg$$

3.



$\mu_1=0.2$,静$f_m=5$ N,$\mu_2=0$,$m=2$ kg,$M=3$ kg （μ_1 μ_2分别为m与M与地面之间的动摩擦因数）

当$F_1=10$ N,$F_2=15$ N两种情况下m的a.

解析:(1)$F_1=10$ N　若一起动,

$F_1=\Sigma F=(M+m)a,a_1=2\ \mathrm{m/s^2}$

对m有,$\Sigma F=ma_1=f_{需}=4$ N$<$静f_m,m与M相对静止,$a_m=2\ \mathrm{m/s^2}$

(2)$F_2=15$ N　若一起动,

$F_2=\Sigma F=(M+m)a_2,a_2=3\ \mathrm{m/s^2}$

对m有,$\Sigma F=ma_2=f_{需}=6$ $N>$静f_m,m与M相对滑动,$\therefore f=\mu_1 mg=\Sigma F=ma,a_m=\mu_1 g$ $=2\ \mathrm{m/s^2}$

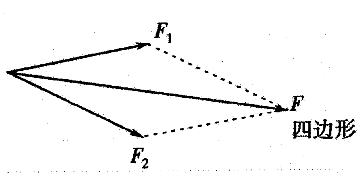
(3)最大静摩擦力

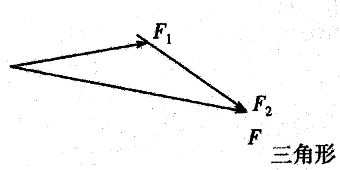
①静$f_m\propto N$

②判断是否相对滑动$\begin{cases} f_{需}>f_m & \text{相对运动} \\ f_{需}\le f_m & \text{相对静止} \end{cases}$　$f_{需}$:如果一起动,接触面的静f

二、力的运算

1. 法则:平行四边形法则(三角形法则)





(1)力的合成:三个力以内

(2)力的分解:→正交分解:建轴(使更多的力在轴上或有特殊角)

2. 受力分析

(1)分析法:①条件分析法　②效果分析法　③相互作用分析

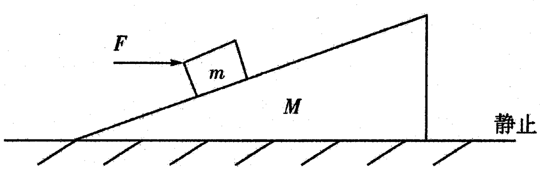
(2)研究对象的确定:整体与隔离

↓　↓

外力　物体间相互作用力

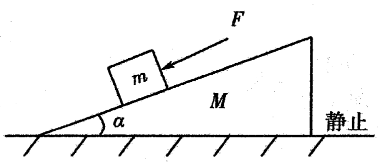
练　　习

1.

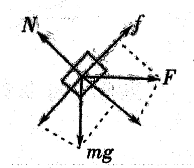


F 由 $0 \to F_m$,则 $T_M \to$,$T_m \uparrow$　　$f_M \uparrow$,f_m 先↓至0后↑

2.

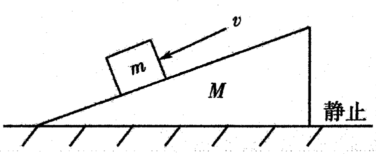


F 作用下,m 匀速下滑,则



$\begin{cases}\text{对 } m, N = mg\cos\alpha, \mu \text{ 不变}, f = N, \mu \text{ 不变} \\ \text{对 } m, N = mg\cos\alpha \text{ 不变}\end{cases}$　F 只改变了 m 的运动状态,而与 M 无关

此时用隔离法



m 匀速下滑,则 $T_M = (M+m)g$,$f_M = 0$. 整体处于平衡态,无 $F_{外}$ 作用.

此时用整体法

3. 力的计算

(1)正、余弦定理:给角(特殊)

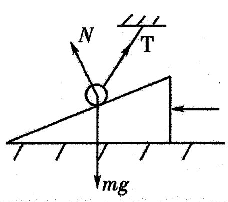
(2)图解法:分析力的变化

当一个是恒力,一个力方向不变,一个引起变化时,用图解法.

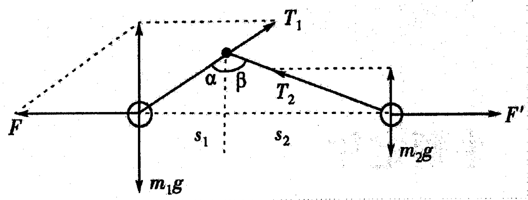
(3)相似形法

如例题

例 1



例 2

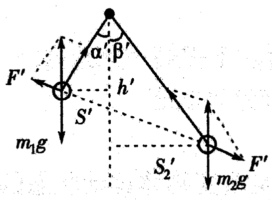


同一水平线上

由于漏电,求平衡后 α' 与 β' 大小

前:$\begin{cases} F/m_1g = s_1/h \\ F/m_2g = s_2/h \end{cases} \Rightarrow \dfrac{m_1}{m_2} = \dfrac{s_2}{s_1} = \dfrac{L_2\sin\beta}{L_1\sin\alpha}$

后:



则 $\dfrac{m_1g}{F'} = \dfrac{h'}{s_1{}'}, \dfrac{m_2g}{F'} = \dfrac{h'}{s_2{}'}$

$\therefore \dfrac{m_1}{m_2} = \dfrac{s_2{}'}{s_1{}'} = \dfrac{L_2\sin\beta'}{L_1 sin\alpha'} = \dfrac{L_2\sin\beta}{L_1\sin\alpha}$

$\because \alpha < \beta$

$\therefore \alpha' < \beta'$

第三章　牛顿定律

一、牛顿运动定律

1. 牛顿第一定律

(1)两种观点 $\begin{cases}\text{亚里士多德:力是维持物体运动的原因.}\\ \text{伽利略:(观察→推理→验证→结论)运动是物体的属性,不需要力来维持.}\end{cases}$

(2)内容:一切物体总保持匀速状态或静止状态,除非有外力作用改变这种状态.

(3)意义:

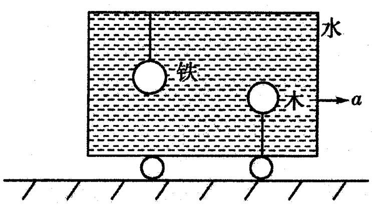
①定性说明了力与运动的关系:力不是维持物体运动状态的原因,而是改变物体运动状态的原因.

②所有物体都有惯性.

(4)惯性

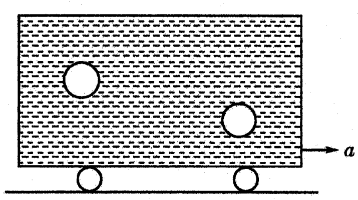
①定义:物体总有保持原来状态(匀速或静止)的性质.

②物理量:质量大,状态改变困难.



小车突然有 a 运动,则两球运动状态

将两球分别与各自等体积的水质量相比



若均为水,则水随车向前运动

铁球:$\Delta F = m_{铁}\, a'' = m_{水}\, a_1$　　　木球:$\Delta F = m_{木}\, a' = m_{水}\, a_1$

铁球向左运动,木球向右运动

2. 牛顿第三定律(大题中步骤用,相互作用力,谁对谁的作用力)

(1)内容:作用力与反作用力总是大小相等,方向相反,作用在同一直线的两个不同物体上.

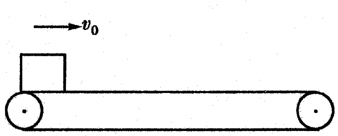
(2)特点:同时产生,同时消失,同时变化,同性质的力.

3. 牛顿第二定律

(1)内容:$a = \dfrac{F}{m}$

(2)理解:①是矢量式,有方向 $\begin{cases}F_x = ma_x\\ f_y = ma_y\end{cases}$

举例:



1）传送带不动，有初速时放

$F=\mu mg=ma, a=\mu g$

$$\begin{cases} s=v_0t-\frac{1}{2}at^2 \\ v=v_0-at \end{cases}$$

2）传送带动，无初速时放

$F=\mu mg=ma, a=\mu g$　　$s=\frac{1}{2}at^2, v=at$

②定义了力的单位：$1\ N=1\ kg\cdot m/s^2$

③相对于同一参考系

4. 牛顿第二运动定律成立条件

（1）惯性参考系

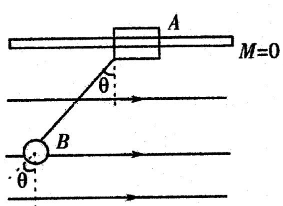
（2）宏观的低速物体

二、牛顿第二定律的应用

1. 研究对象的确定——整体隔离方法的应用

练　　习

1.



A,B 一起运动，绳与竖直方向 θ 角不变　（$m_A>m_B$）

（1）只有 A 带正电，Q_A, a_1　（A的电量为 Q_A，向右运动的加速度为 a_1）

（2）只有 B 带电，Q_B, a_2（B的电量为 Q_B，向左运动的加速度为 a_2）　比较 Q_A 与 Q_B，a_1 与 a_2

解析：整体有 $F=m_{总}a_1=Eq_A$　$F=m_{总}a_2=Eq_B$

（1）对 B 有 $T\sin\theta=a_1m_B, T\cos\theta=m_Bg$，$T$ 不变

对 A 有 $\begin{cases} T\cos\theta+m_Ag=N=m_{总}g \\ F-T\sin\theta=Eq-T\sin\theta=a_1m_A \end{cases}$

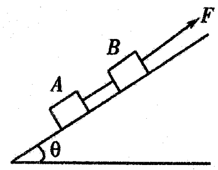
$\therefore a_2<a_1, Q_B<Q_A$

（2）对 B 有 $\begin{cases} T\cos\theta=m_Bg, T\text{ 不变} \\ Eq'-T\sin\theta=m_Ba_2 \end{cases}$

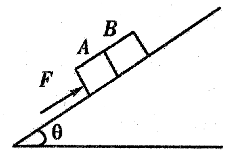
对 A 有 $\begin{cases} T\sin\theta=m_Aa_2 \\ T\cos\theta=m_Ag=m_{总}g \end{cases}$

（2）情况与（1）同　先整体后隔离

2. 整体有



(1)



(2)

$\mu_A=\mu_B=\mu$　求 A,B 间的弹力

解析：(1)$\Sigma F=(m_A+m_B)g\sin\theta+(m_A+m_B)g\cos\theta\mu-F$　(设沿斜面向下为正)↙

$\therefore a=\dfrac{\Sigma F}{m}=g\sin\theta+g\mu\cos\theta-\dfrac{F}{m_A+m_B}$

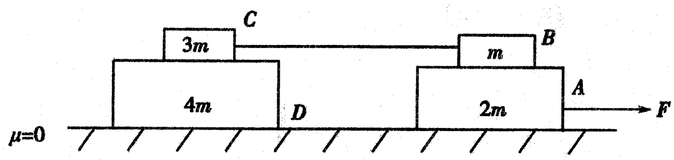
对 B：$m_Bg\sin\theta+m_Bg\mu\cos\theta+T-F=m_Ba=m_Bg\sin\theta+m_Bg\mu\cos\theta-\dfrac{m_B}{m_A+m_B}F$

$\therefore T=\dfrac{m_A}{m_A+m_B}F$

(2)$T=\dfrac{m_B}{m_A+m_B}F$

结论具有普遍性，与 θ 有关.

3.



已知 A、B 间静 $f_{\max}=30\ \mathrm{N}$，C、D 间静 $f_{\max}=25\ \mathrm{N}$

若 A,B,C,D 一起运动则 $F=?$

解析：方法一

$(A+B+C+D)$ 整体：$F=m_{总}a=10ma$，$a=\dfrac{F}{10m}$

$(C+D)$：$T=(m_c+m_D)a=\dfrac{7}{10}F$

对 D 有：$f=m_Da=4ma=\dfrac{2}{5}F\leqslant 25\ \mathrm{N}$　　对 B 有：$f-T=m_Aa$，$f=T+m_Aa=\dfrac{4}{5}F\leqslant 30\ \mathrm{N}$

$\therefore F\leqslant 37.5\ \mathrm{N}$

方法二

对 $B+C+D$ 有：$f_1=8ma\leqslant f_{m1}$

对 D 有：$f_2=4ma\leqslant f_{m2}$

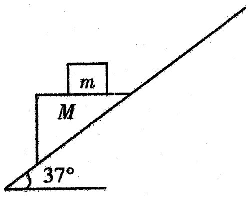
整体，$F=m_{总}a=10ma\leqslant 37.5\ \mathrm{N}$

2. 牛顿第二定律的矢量性

$$F=ma\Rightarrow\begin{cases}F_x=ma_x\\F_y=ma_y\end{cases}$$

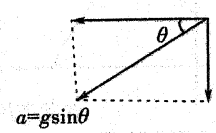
练　　习

1.



光滑斜面，m 与 M 一起滑动，求 m 与 M 之间 $\frac{N}{mg}=?$　$\frac{f}{mg}=?$

解析：对整体有：$\Sigma F=(m+M)g\sin\theta=(m+M)a$

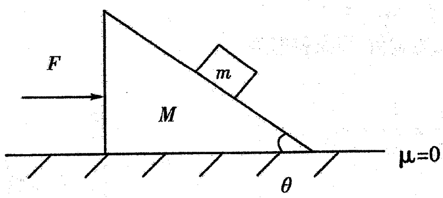


对 m 有：$a=g\sin\theta$

$\therefore f=ma_1=mg\sin\theta\cos\theta$

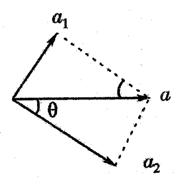
$mg-N=ma_2=mg\sin\theta\sin\theta$　$\begin{cases}\frac{f}{mg}=0.48\\ \frac{N}{mg}=0.64\end{cases}$

2.



地面光滑，在水平力 F 下一起向右加速，当 F 增大时，分析 m 与 M 之间的 N，f 怎样？

解析：整体有：$a=\frac{F}{m+M}$



对 m 有：$ma\sin\theta=N-mg\cos\theta$，$N=\frac{mF}{m+M}\sin\theta+mg\cos\theta$，$N\uparrow$

$\Sigma F=ma\cos\theta=\frac{mF}{m+M}\cos\theta$

①若 $mg\sin\theta<ma_2$　　$mg\sin\theta+f=ma_2$　f 大

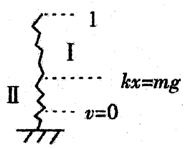
②若 $mg\sin\theta>ma_2$　　$mg\sin\theta-f=ma_2$　f 先小后大

内容	要求
牛顿运动定律、牛顿定律的应用	Ⅱ
超重和失重	Ⅰ

3. 牛顿定律瞬时性的应用

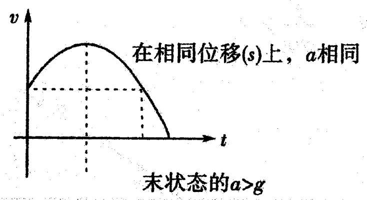
$F=ma$

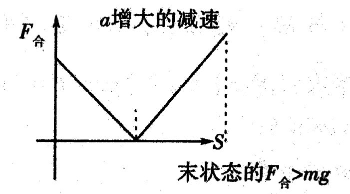
练　　习

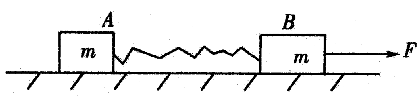
1. 

Ⅰ：$mg-kx=ma$　　a 减小的加速

Ⅱ：$kx-mg=ma$　　a 增大的减速

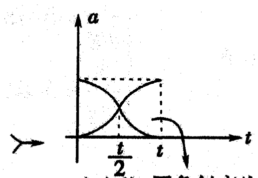




2. 

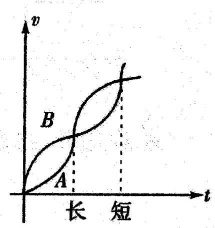
对 A：$kx=ma_A$　a_A 增大的加速

对 B：$F-kx=ma_B$　a_B 减小的加速



a_A+a_B为定值 图象斜率为

解析：a_A+a_B 为定值，图象斜率为 $\frac{\Delta F}{m\Delta t}=\frac{\Delta a}{\Delta t}=\frac{\Delta(kx)}{m\Delta t}=\frac{k}{m}\cdot v_{相}$



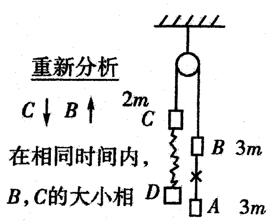
当 $a_A=a_B$ 时，v_B-v_A 最大

当 $a_B\to 0$ 时，$\begin{cases}A:0\to\frac{F}{m}\\B:\frac{F}{m}\to 0\end{cases}$

当 $v_A=v_B$，$a_A>a_B$

3. 求瞬时加速度

(1)



解析：因为 $C\downarrow$，$B\uparrow$ 在相等时间内 B，C 的 s 大小相等

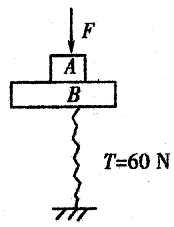
B，C 由 $v=0\to$运动，判断 A，B 间绳的瞬间 B，C，D 的 $a=$？

故 $a_B=a_C$

$a_B=0.6g$　$a_C=0.6g$　$a_D=0$

$\begin{cases}对\ C:6mg-T=2ma_c\\对\ B:T-3mg=3ma_B\end{cases}$　所以 $a_B=a_c=0.6g$

(2)



$F=10\ \mathrm{N}, m_A=2\ \mathrm{kg}, m_B=3\ \mathrm{kg}$,求去掉力 F 后瞬间 $a_A=?$

解析：

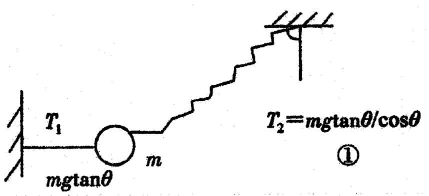
去掉F后瞬间，对A、B整体受力分析：

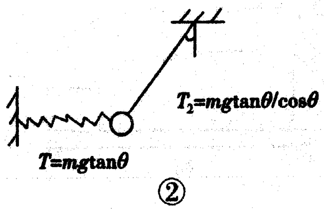
$F_{合}=T-(m_A+m_B)g=10\mathrm{N}$

$$a_A=a_B=\frac{F_{合}}{m_A+m_B}=2\ \mathrm{m/s^2}$$

$\begin{cases}\text{微小形变的弹力:由物体的状态,运动的趋势重新分析}\\ \text{明显形变的弹力:瞬间弹力不变}\end{cases}$

(3)

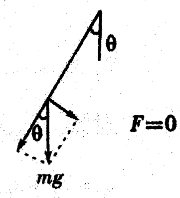




分别只剪断绳,弹簧 ,求 a

①$a_1=g\tan\theta$(断绳)　$a_2=g$(断弹簧)

②$a_1=\dfrac{g}{\cos\theta}$(断绳)　$a_2=g\sin\theta$(断弹簧)



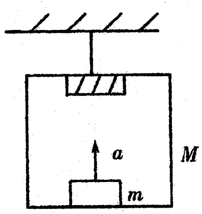
4. 超重,失重

(1)研究对象:视重和实重的关系

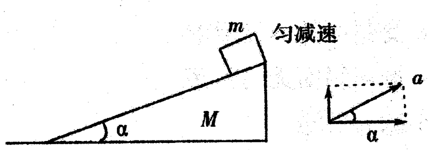
(2)视重:水平的支持面对物体竖直向上的支持力或竖直悬挂物对物体竖直向上的拉力.

(3)超重:视重 > 实重

意义:有竖直向上的 a,超出部分提供向上的合力



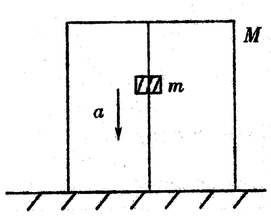
$T=(m+M)g+ma$



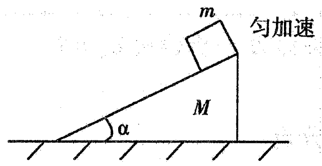
$N=(m+M)g+ma\sin\alpha$

(4)失重:视重 < 实重

意义:有竖直向下的 a,失去部分提供向下的合力



$N=(M+m)g-ma$



$N=(m+M)g-ma\sin\alpha$

完全失重 $a=g$

(5)应用

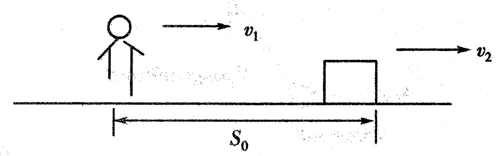
在超重、失重时,由重力引起的现象会发生变化,在完全失重时,由重力引起的现象会消失.

5. 临界条件分析

(1)以运动为临界

①$v=0$　②$v_1=v_2$

例 1

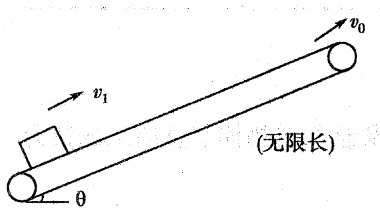


对人:$s_1=v_1t$

对块:$f=\mu mg,a=\mu g$　　$s_2=v_2t-\dfrac{1}{2}\mu gt^2$

$s_1=s_2+s_0$　比较 t 时刻之前 v_2 是否为 0.

例 2



知 $v_1>v_0$ 且 $\sin\theta>\mu\cos\theta$,求物块离开传送带时间.

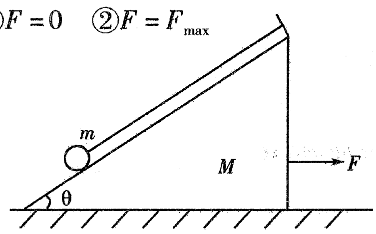
(1)$v>v_0$ 时,$a=g\sin\theta+\mu g\cos\theta$

(2)$v<v_0$ 时,$a=g\sin\theta-\mu g\cos\theta$

(3)以零为临界条件

①$F=0$　②$F=F_{max}$

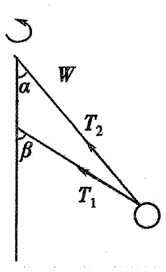
例 3



$$\begin{cases}F<F_0\text{ 时},m\text{ 受斜面的 }N\text{ 力作用}\\F=F_0\text{ 时},m\text{ 恰与斜面无力作用}\\F>F_0\text{ 时},\text{小球 }m\text{ 飘起}\end{cases}$$

N 恰好为 0 时,$\begin{cases}F_0=(M+m)a_0\\ma_0=\dfrac{mg}{\tan\theta}\end{cases}$

例 4



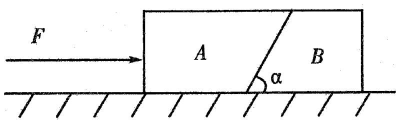
两绳均伸直,求 ω 条件

当 $T_1=0$ 时,$\omega=\omega_1$　有 $T_2\sin\alpha=m\omega^2r,T_2\cos\alpha=mg$

当 $T_2=0$ 时,$\omega=\omega_2$　有 $T_1\sin\beta=m\omega^2r,T_1\cos\beta=mg$

$\omega_1\leqslant\omega\leqslant\omega_2$

例 5

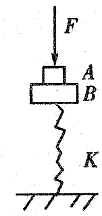


$F_0=(m_A+m_B)a_0$

对 A 有，当 A 不受地面支持力时，有临界值 F_0，$F\geqslant F_0$

例 6　综合力能关系

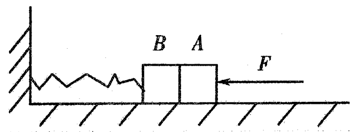
A 放在 B 上，B 与弹簧相连，在 F 作用下静止，现撤去 F，如 A，B 能分开，求 A 上升的位移？（$E_p=\frac{1}{2}kx^2$）



开始时：$\begin{cases}(m_A+m_B)g+F=kx_0\\ E_p=\frac{1}{2}kx_0^2\end{cases}$　　恰好分开的条件：$\begin{cases}v_A=v_B\\ a_A=a_B\\ F_{相互作用}=0\end{cases}$

恰好分开时：$a_A=a_B=g$，此时 $T=0$，在原长时分开，有

$E_p=\frac{1}{2}(m_A+m_B)v^2+(m_A+m_B)gx_0$　　$s_A=x_0+\frac{v^2}{2g}$



$\mu_B>\mu_A$，B 与弹簧相连，撤去 F 后分析，在什么条件下分开？

分析临界状态有：

恰好分开时，$a_A=a_B=\mu_A g$，则$\overleftarrow{\Sigma F_B}=\mu_A m_B g=\mu_B m_B g-kx$

处于压缩的状态时，A，B 分开，此时，$\mu_B m_B g-kx=\mu_A m_B g$，$x=\frac{(\mu_B-\mu_A)m_B g}{k}$

三、实验：验证力的平行四边形法则

用力的合成验证力的平行四边形法则

1. 思想：等效的思想
2. 步骤

（1）先得到两个分力：①记录力的大小　②记录力的方向　③结点的未位置“0”

注意：1°细线长一点.　2°夹角不宜过大，也不宜过小.

（2）再得到合力：①记录力的大小　②记录力的方向　③结点的未位置“0”

（3）画图示：①三角板作图　②尺规作图

（4）区分实验值与理论值

四、实验：验证牛顿第二定律

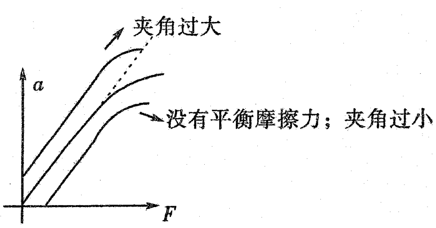
1. 方法：控制变量法
2. 测量的量：用计时器的纸带来测加速度、用天平测质量（车的质量、砂子、砂桶总质量）
3. 步骤

（1）平衡摩擦力：$\tan\alpha=\mu$

注意：①不挂砂桶，但计时器要正常工作　②改变小车质量时，不需要重新平衡

（2）改变 F，M 恒定

（3）改变 M，F 恒定



4. 数据处理

（1）当 M 恒定，F 改变时　$mg=(m+M)a$

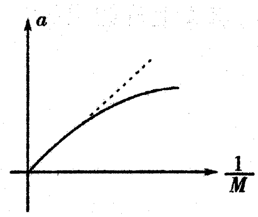
$mg-T=ma$，$T=ma\rightarrow$隔离法

$\therefore F = mg = (m + M)a$

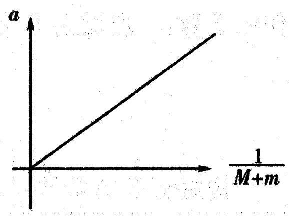
实验时,令 $m_{砂桶} \ll M_{小车}$

(2)当 F 恒定,M 改变时

$a - \frac{1}{M}$图象



$a - \frac{1}{M + m}$图象



第四章　曲线运动

一、概念与规律

内容	要求	说明
运动的合成与分解	Ⅱ	
抛体运动	Ⅱ	
匀速圆周运动、角速度、线速度、向心加速度	Ⅰ	斜抛运动只作定性要求
匀速圆周运动的向心力	Ⅱ	
离心现象	Ⅰ	

1. 条件

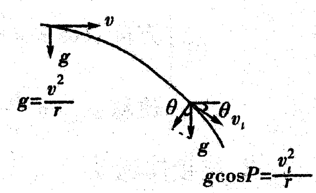
(1)运动学:a 与 v 不共线

①a 与 v 平行分量改变 v 大小

a 与 v 垂直分量改变 v 方向

②向心加速度:把 a 垂直于 v 方向的分量叫做向心加速度

$a=\dfrac{v^2}{r}=\omega^2 r$($r$:曲率半径)

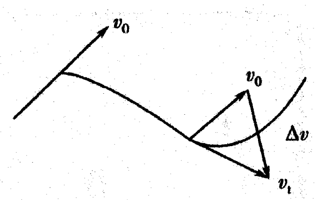


(2)动力学:F 与 v 不共线

①F 与 v 平行分量改变 v 大小

F 与 v 垂直分量改变 v 方向

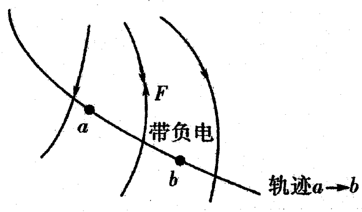
②向心力:把合力垂直于 v 方向的分量定义为向心力

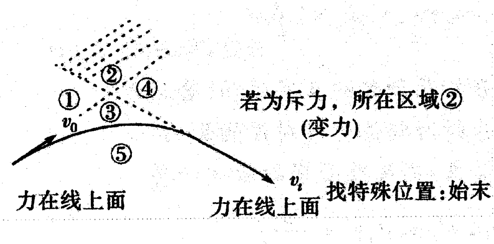


2. 在恒力作用下轨迹的特征

(1)轨迹会向合力的方向发生弯曲.

(2)速度方向无限地趋近于合力的方向.





3. 方法:运动的合成与分解

(1)概念

①合运动:物体的实际运动

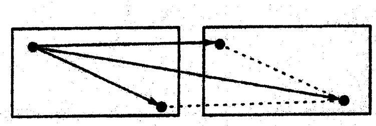
②分运动:物体参与的几个与合运动效果相同的运动.

(2)关系

①等效关系:分运动与合运动

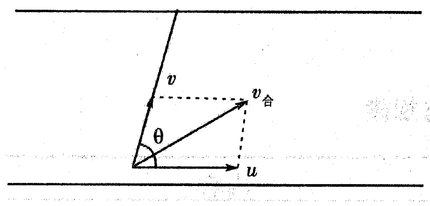
②等时关系(分运动时间):分运动与合运动

③独立关系:分运动与分运动



④运算关系：$\begin{cases} s_1+s_2=s\text{（矢量和）} \\ v_1+v_2=v_{合} \\ a_1+a_2=a_{合} \\ t=t_1=t_2 \end{cases}$

二、运动合成与分解



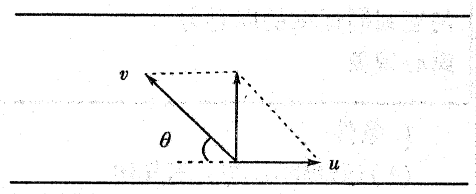
1. 小船过河（分运动已知）

$\begin{cases} \text{小船相对于水（静水）的运动}(v) \\ \text{水给小船与水一样的运动}(u) \end{cases}$

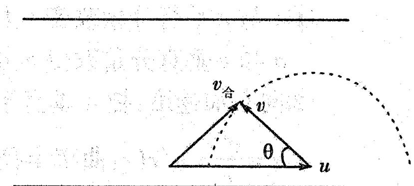
（1）求时间：$t=\dfrac{d}{v\sin\theta}$

当 $\theta=90°$ 时，t 最小，为 $\dfrac{d}{v}$ → 航线是斜着的

（2）求位移：（最小位移）



① $\begin{cases} \text{条件}:v>u \\ \text{方向}:\cos\theta=\dfrac{u}{v}\text{，船头指上游} \\ \text{位移}:s_{\min}=d \end{cases}$



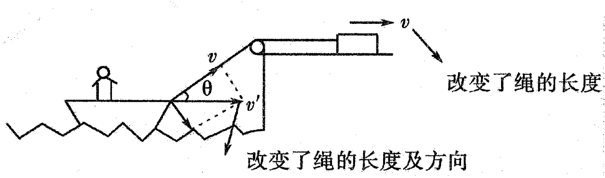
② $\begin{cases} \text{条件}:v<u \\ \text{方向}:\cos\theta=\dfrac{v}{u}\text{，船头指上游} \\ \text{位移}:s_{\min}=\dfrac{u}{v}d \end{cases}$

2. 连接体运动

（1）轻绳相连

练　　习

1.



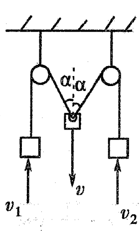
（1）分析两物体的真实运动（合运动）

（2）分析两物体运动对绳的影响

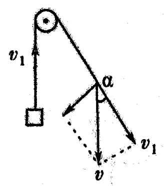
（3）关系：沿绳改变绳的长度一样

$v=v'\cos\theta$，$v'=\dfrac{v}{\cos\theta}$

2.

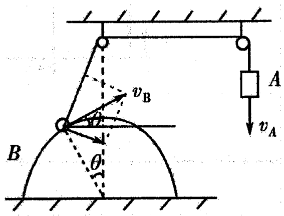


$v\cos\theta=v_1=v_2$



将一个结点分为两部分，两部分运动效果相同

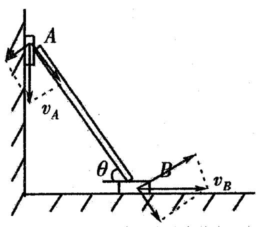
3.



$v_B\cos\theta = v_A$，$\theta = 0°$时，$v_B = v_A$

（2）轻杆相连

关系：沿杆改变杆长度的运动是一定的



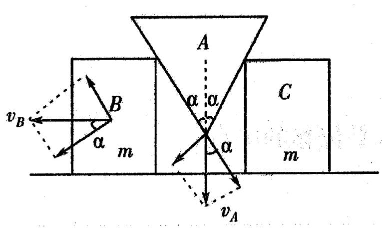
由静止释放，不计一切摩擦，θ从60°到30°

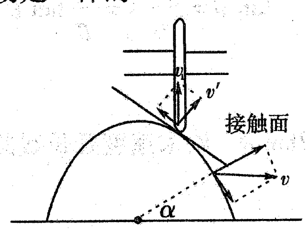
求$\theta = 30°$时两物体速度大小.

$$\begin{cases} v_A\sin\theta = v_B\cos\theta \\ m_Agh = m_AgL(\sin\theta_1 - \sin\theta_2) = \dfrac{1}{2}m_Av_A^2 + \dfrac{1}{2}m_Bv_B^2 \end{cases}$$

（3）直接接触的两物体

关系：接触面不分离，垂直接触面改变间距的运动是一样的.





当A向下的速度为v时，求此时B、C的速度v'.

$\therefore v_B\cdot\cos\alpha = v_A\cdot\sin\alpha$

$\therefore v_B = v_A\cdot\tan\alpha$

当半圆向右以速度v平移时，有

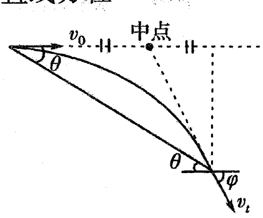
$\cos\alpha = \dfrac{v'}{v} \Rightarrow v' = v\cos\alpha$

$v_1 = \dfrac{v'}{\sin\alpha} = v\cot\alpha$

三、抛体运动

1. 平抛（不计阻力）

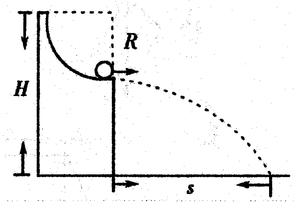
（1）直线方程



$$\begin{cases} 水平：x：v_x = v_0，x = v_0t \\ 竖直：y：v_y = gt，y = \dfrac{1}{2}gt^2 \end{cases}$$

练　　习

$R=?$ 时，s_{max}



解析：$mgR=\frac{1}{2}mv_0^2, v_0=\sqrt{2gR}$

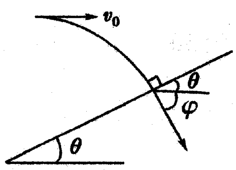
又 $s=v_0t, H-R=\frac{1}{2}gt^2$

$\therefore s=\sqrt{4R(H-R)}$　当 $R=\frac{H}{2}$ 时，$s_{max}=H$

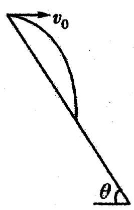
(2)方向方程

①速度偏向角：$\tan\varphi=\frac{gt}{v_0}$　$(v_x=v_0, v_y=gt)$

②位移偏向角：$\tan\theta=\frac{gt}{2v_0}$　$(x=v_0t, y=\frac{1}{2}gt^2)$

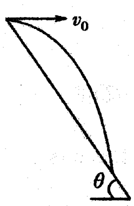


$\therefore \tan\varphi=\frac{gt}{v_0}=\cot\alpha$　　$\therefore t=\frac{v_0}{g\tan\alpha}$



$\tan\theta=\frac{gt}{2v_0}, t=\frac{2v_0}{g}\tan\theta$

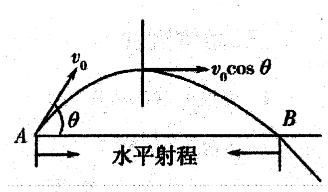
(3)结论：$\tan\varphi=2\tan\theta$　始末速度延长线的交点是水平位移的中点



v_0 时 v_t 与斜面夹角 α，$2v_0$ 时 v_t 与斜面夹角 β

则 $\alpha=\beta$

2. 斜抛(不计阻力)



$$(1)\begin{cases}水平:x,\begin{cases}v_x=v_0\cos\theta\\x=v_0t\cos\theta\end{cases}\\竖直:y,\begin{cases}v_y=v_0\sin\theta-gt\\y=v_0t\sin\theta-\frac{1}{2}gt^2\end{cases}\end{cases}$$

$$\begin{cases}\text{最大高度 } H=\dfrac{v_0^2\sin^2\theta}{2g}\\ \text{回到抛点高度的时间}:t=\dfrac{2v_0\sin\theta}{g}\\ \text{水平射程 } x=\dfrac{v_0^2\sin 2\theta}{g}\end{cases}$$

当 $\theta=45°$时,水平射程最大

(2)与从顶点开始以 $v_0\cos\theta$ 平抛的规律一样

四、圆周运动

1. 物体做匀速圆周运动的条件:

(力)加速度时刻与速度垂直,且加速度(力)大小不变

(1)$a\perp v$ 且 a 大小不变

(2)$F\perp v$ 且 F 大小不变

2. 规律

(1)$v=\dfrac{2\pi r}{T}=\omega r$ ω 大小方向均不变

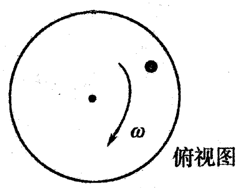
(2)$\omega=\dfrac{2\pi}{T}=\dfrac{v}{r}$

(3)$a=\dfrac{v^2}{r}=\omega^2r=(\dfrac{2\pi}{T})^2\cdot r,a=\omega\cdot v$

(4)$F=\dfrac{mv^2}{r}=m\omega^2r=m(\dfrac{2\pi}{T})^2r$

3. 匀速圆周运动的应用

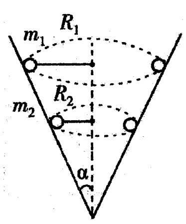
(1)周期性应用



正上方 h 处,物体自由落体

$h=\dfrac{1}{2}gt^2,t=\sqrt{\dfrac{2h}{g}}=n\cdot\dfrac{2\pi}{\omega},n=1,2,3\cdots$

(2)动力学条件分析



$m_1:m_2=2:3$

$R_1:R_2=3:2$

求 $a_1:a_2,\omega_1:\omega_2,F_{心1}:F_{心2},v_1:v_2$

$F_心=\dfrac{mg}{\tan\alpha}=m\dfrac{v^2}{R}=m\omega^2R=ma$

$F_{心1}:F_{心2}=2:3$ $v_1:v_2=\sqrt{3}:\sqrt{2}$

$a_1:a_2=1:1$ $\omega_1:\omega_2=\sqrt{2}:\sqrt{3}$

总结:公式 $I=\dfrac{U}{R},F=G\dfrac{m_1m_2}{r^2}$可以说 I 与 U 成正比,与 R 成反比;F 与 m_1m_2 成正比,与 r^2 成反比;而对于公式 $a=\dfrac{v^2}{r}$的这种说法是错误的.

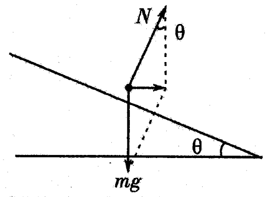
4. 生活中的圆周运动

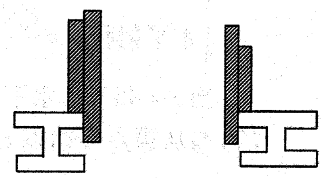
(1)两种现象

①离心条件:$F_{提} < F_{需}$(参考圆上需要)

②向心条件:$F_{提} > F_{需}$(参考圆上需要)

(2)应用:火车转弯





①向心力:$F_{心} = mg\tan\theta$

②安全速度:$v_{安} = \sqrt{gR\tan\theta}$

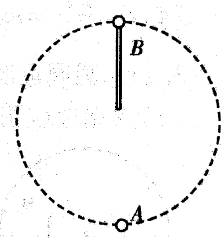
$$\begin{cases} v_{火} < v_{安},\text{内轨受侧向弹力} \Rightarrow F_{需} = m\dfrac{v_{火}^2}{R} < F_{提} = mg\tan\theta,\text{向心} \\ v_{火} > v_{安},\text{外轨受侧向弹力} \Rightarrow F_{需} = m\dfrac{v_{火}^2}{R} > F_{提} = mg\tan\theta,\text{离心} \end{cases}$$
提供力:$mg\tan\theta$

(3)规律:

①$v = \omega r$ ②$\omega = \dfrac{v}{r}$ ③$a = \dfrac{v^2}{r} = \omega^2 r$ ④$F_{心} = m\dfrac{v^2}{r} = m\omega^2 r$

5. 竖直面内圆周运动

①轻杆连小球



在 A 处:$N_A = mg + m\dfrac{v^2}{r}$

此时 v 有最大值,杆有最大弹力.

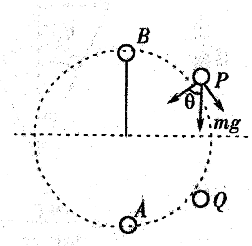
在 B 处:$mg = m\dfrac{v_0^2}{r}$ $v_0 = \sqrt{gr}$

当 $v_B < \sqrt{gr}$,$mg - N_B = m\dfrac{v_B^2}{r}$ $0 < v_B < \sqrt{gr}$,$0 < N_B < mg$

当 $v_B > \sqrt{gr}$,$N_B + mg = m\dfrac{v_B^2}{r}$ $v_B > \sqrt{gr}$,$N_B > 0$

完整的圆周运动:$v_B \geqslant 0$

②轻绳连小球



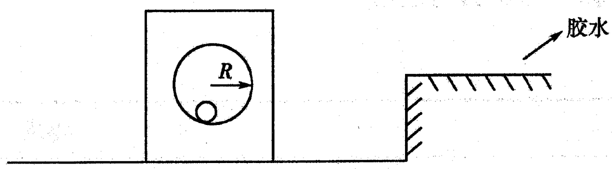
在 A 处:$T_A - mg = m\dfrac{v^2}{r}$ 此时 v 有最大值,绳有最大弹力

在 B 处:$T_B + mg = m\dfrac{v_B^2}{r}$

恰到达 P 点:有 $g\cos\theta = \dfrac{v_P^2}{r}$,$v_P = \sqrt{gr\cos\theta}$ ∴ B 处有最大的临界速度

恰到达 Q 点:有 $v_Q = 0$

练　　习



半径为 R，初速为 v_0，上升的最高高度 H 可能为

A. $\frac{v_0^2}{2g}$　　B. $2R$　　C. $\frac{v_0^2}{2g}$　　D. $\frac{v_0^2}{2g}$

解析：如果 v_0 较小，$mgR > \frac{1}{2}mv_0^2$，$H = \frac{v_0^2}{2g}$

如果 $\frac{1}{2}mv_0^2 \geqslant 2mgR$，$v_0 \geqslant \sqrt{gR}$　　$H = 2R$

如果 $\frac{1}{2}mv_0^2 > 2mgR$，但 $v_0 < \sqrt{gR}$　　$mgH < \frac{1}{2}mv_0^2$

第五章　万有引力

内容	要求
万有引力定律及其应用	Ⅱ
环绕速度	Ⅱ
第二宇宙速度和第三宇宙速度	Ⅰ
经典时空观和相对论时空观	Ⅰ

一、概念与规律

1. $\begin{cases}\text{日心说(哥白尼)}\\ \text{地心说(托勒密)}\end{cases}$

2. 开普勒三个定律

(1)开普勒第一定律:轨道定律

所有的行星都围绕太阳做椭圆轨道运动,太阳在椭圆的一个焦点上,椭圆轨道近似看作圆轨道.

(2)开普勒第二定律:面积定律

行星与太阳的连线在相等的时间扫过的面积相等.

(3)开普勒第三定律:周期定律

行星周期的平方与半长轴的立方的比值都相等(一个常量).即$\frac{R^3}{T^2}=k$,k与行星无关,k与中心天体的质量有关.

3. 万有引力定律

公式推导:牛顿运动定律,开普勒定律

(1)内容:$F=G\frac{m_1m_2}{r^2}$(牛顿推导)

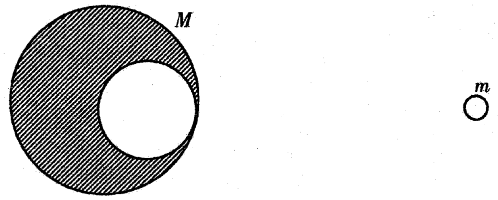
引力与两天体质量的乘积成正比,与天体之间的距离平方成反比.

(2)引力常量,$G=6.67\times10^{-11}\ \mathrm{N\cdot m^2/kg^2}$

卡文迪许测量(把微小的量放大)⇒卡文迪许扭秤(放大、转化的方法)

(3)条件:①质点　②质量均匀的球体

例:



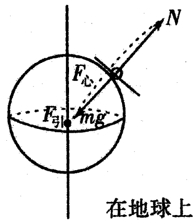
$F_{引}=F_{实心球引力}-F_{空\to实心球引力}$

二、应用

1. 万有引力提供重力

(1)物体随地球自转时

①意义：重力是万有引力的分力.



地面上物体分析受力时，不考虑万有引力，考虑 mg 及其他外力

②大小：$G\frac{Mm}{R^2}=mg \Rightarrow gR^2=GM$（$g$：地球表面的重力加速度）

③方向：竖直向下，在赤道、南北极处指向地心

从赤道向南北极，$g\uparrow$　　离地面越高，$g\downarrow$

（2）物体不随地球自转

①意义：万有引力与重力为一个力

$mg'=G\frac{Mm}{R^2} \Rightarrow g'=G\frac{M}{R^2}$

2. 万有引力提供向心力（匀速圆周运动）

$$G\frac{Mm}{r^2}=ma=m\frac{v^2}{r}=m\omega^2 r=m(\frac{2\pi}{T})^2 r$$

$$v=\sqrt{\frac{GM}{r}},\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}},a_心=G\frac{M}{r^2},T=\sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$$

（1）绕同一天体

$$a_心 \propto \frac{1}{r^2},v \propto \sqrt{\frac{1}{r}},\omega \propto \sqrt{\frac{1}{r^3}},T \propto \sqrt{r^3}$$

（2）绕不同中心天体

$$a_心 \propto \frac{M}{r^2},v \propto \sqrt{\frac{M}{r}},\omega \propto \sqrt{\frac{M}{r^3}},T \propto \sqrt{\frac{r^3}{M}}$$

3. 测中心天体的质量与密度

（1）万有引力提供重力（g），测 M 及 ρ（在其他星球一般不考虑自转）

$$G\frac{Mm}{R^2}=mg \Rightarrow M=\frac{gR^2}{G}\qquad \rho=\frac{M}{V}=\frac{3g}{4\pi GR}$$

已知 g、R、G 才可测得 M 与 ρ

（2）周期：$T=\sqrt{\frac{4\pi^2 R^3}{GM}}=2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}=84\ \text{min}=1.4\ \text{h}$

（3）第二、三宇宙速度

$\begin{cases} v_2=11.2\ \text{km/s} \\ \text{能够脱离地球而绕太阳的最小地面发射速度} \end{cases}$

$\begin{cases} v_3=16.7\ \text{km/s} \\ \text{能够逃离太阳系的最小地面发射速度} \end{cases}$

（4）同步卫星

①定义：相对地面不动

②特征：一定在赤道的正上方

③$r_轨$、h 推导

$$G\frac{Mm}{r_{轨}^{2}}=m\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 r_{轨}$$

$$\therefore r_{轨}=\sqrt{\frac{GT_0^2M}{4\pi^2}}=\sqrt{\frac{gR^2T_0^2}{4\pi^2}}$$

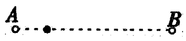
$$\begin{cases} r_{轨}=4.2\times10^7\ \text{m} \\ h=3.6\times10^7\ \text{m}\end{cases}$$

(5)双星

①定义:两颗相互靠近,又相对独立的一组星.

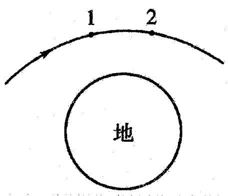
②特征:绕连线上一点做匀速圆周运动

$$\begin{cases}\omega_A=\omega_B \\ F_{心A}=F_{心B}=F_{万}\end{cases}$$



③规律: $\frac{r_1}{r_2}=\frac{m_2}{m_1}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{a_1}{a_2}$

例:



1 追上 2 的方法:在原轨道减速,再加速

2 追上 1 的方法:在原轨道加速,再减速

(6)万有引力提供向心力测 M 与 ρ

①已知 $G,v,r_{轨}$(中心天体半径 R)

$M=\frac{v^2r_{轨}}{G}$　　$\rho=\frac{3v^2r_{轨}}{4\pi GR^3}$

已知 G,r,v 测 M,又知 R 测 ρ

②已知 $\omega,r_{轨},G$(中心天体半径 R)

$M=\frac{\omega^2r_{轨}^3}{G}$　　$\rho=\frac{3\omega^2r_{轨}^3}{4\pi GR^3}$

已知 G,r,ω 测 M,又知 R 测 ρ

③已知 $T,r_{轨},G$(中心天体半径 R)

$M=\frac{4\pi^2r_{轨}^3}{GT^2}$　　$\rho=\frac{3\pi r_{轨}^3}{GT^2R^3}$

已知 T,r,G 测 M,又知 R 测 ρ

特殊情况:绕中心天体做近地(地面)运动时,只需 ω,G 或 T,G 即可测 ρ

练　　习

判断是否可测 M

已知 G,a,v　能　　已知 G,a,r　能　(不能)已知 G,ω,T

已知 G,a,ω　能　　已知 G,v,ω　能　(不能)已知天体表面上抛物体 H,T

已知 G,a,T　能　　已知 G,v,T　能

4. 卫星发射

(1)卫星轨道的特征

轨道的圆心都是地心

(2)第一宇宙速度

①意义:物体发射不回到地面的速度,物体能够成为卫星的最小地面发射速度,是卫星绕地面做圆周运动的最大环绕速度.

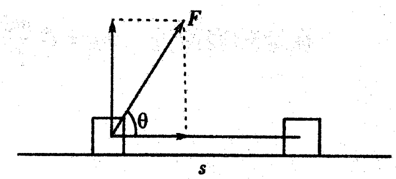
②特征:$\begin{cases} F_{万} = F_{心} \\ r = R \end{cases}$

③大小:$G\dfrac{Mm}{r_1^2} = m\dfrac{v_1^2}{r}$ $\quad \therefore v_1 = \sqrt{\dfrac{GM}{r}} = \sqrt{\dfrac{GM}{R}}(r = R)$

在地球表面处 $mg = G\dfrac{mM}{R^2}$ $\quad \therefore v_1 = \sqrt{gR} = 7.9\ \text{km/s}$

第六章　功和能

一、概念



1. 功

(1)把力在空间上的积累过程定义为做功过程.

(2)表达式：$W = Fs\cos\theta$

(3)标量,有正负 $\begin{cases}\text{正功}:0°\leqslant\theta<90°,\text{促进运动,提供能量}\\ \text{负功}:90°<\theta\leqslant180°,\text{阻碍运动,消耗能量}\end{cases}$

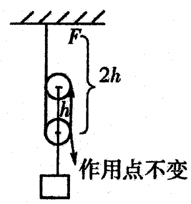
(4)物理意义:功是能量转化的原因与量度.

2. 恒力功的计算

位移:力的作用点的位移.

练　　习

1. 对绳施加竖直向上的力 F,物体向上移动了 h,求 W_F



解析:$W_F = 2Fh$

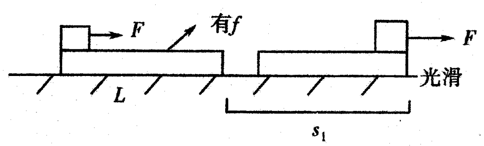
方法:

(1)用定义处理　　$W_F = 2Fh$

(2)用功的物理意义处理

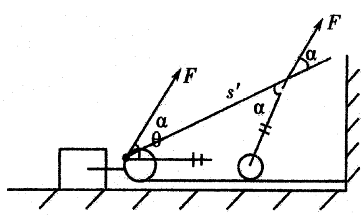
$E_{外}\xrightarrow{W_F}绳\xrightarrow{W_{绳}}物体$　　$W_F = W_{绳} = F\cdot h + F\cdot h = 2Fh$

2. f对两物体做的功为多少?



解析:$W_{物体_f} = -f(L+s_1)$　　$W_{木板_f} = fs_1$

3. 在力 F 作用下,物体位移是 s,求 W_F

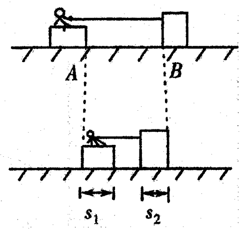


(1)$W_F = F\cdot s'\cdot\cos\alpha = F\cdot\cos\alpha\cdot 2s\cos\alpha = F\cdot s\cdot(1+\cos\theta)$

(2) $E_{外} \xrightarrow{W_F} 绳 \xrightarrow{W_{绳}} 物体$　$W_F = W_{绳} = F \cdot s(1+\cos\theta)$

轻质绳无能量

4.



人用恒力 F 拉绳. $A \to s_1$, $B \to s_2$

求(1)人对绳 W_1　(2)绳对人 W_2　(3)人做功 W_3

解析:(1) $W_1 = Fs_2$

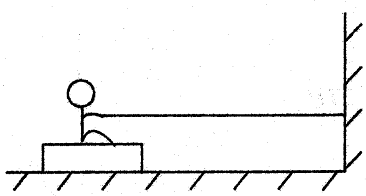
绳作用点发生改变,绳有力时作用点运动方向与物体运动方向相同

(2) $W_2 = -Fs_2$

手作用点不发生改变,但作用点运动方向与人运动方向不同,与 B 运动方向相同

$E_{人} \xrightarrow{W'_0} 绳 \xrightarrow{W_0} 物体$

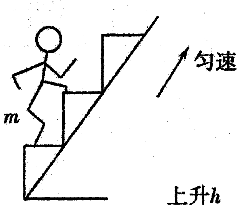
(3) $W_3 = F(s_1 + s_2) \Rightarrow$ 等效法



力 F,人与物体运动了 s 距离

$W_{人对绳} = 0$　$W_{绳对人} = 0$　$W_{人做功} = Fs \Rightarrow$ 等效法

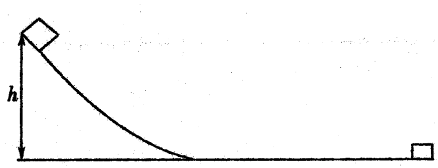
5.



$W_{梯对人} = 0$

3. 变力做功的计算

(1)动能定理



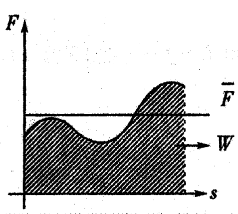
$mgh + W_f = 0$

$\therefore W_f = -mgh$

(2)功能关系

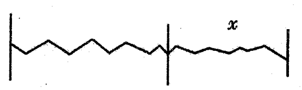
(3)图象法

$F-s$ 图象中围成的面积 $S = W$ 的大小

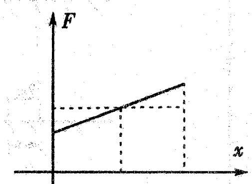


(4)平均力：$W=\overline{F}x$ （F 随 x 线性变化）

$\overline{F}$：对位移的平均值

例： 

由 $F=k\cdot x$ $\overline{F}=\dfrac{Fx_0+Fx_t}{2}$ 得 $W=-\dfrac{1}{2}x^2\cdot k,\overline{F}=kx$



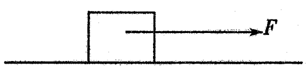
4. 功率

(1)意义：描述做功快慢的物理量

(2)定义式：$P=\dfrac{W}{t}$ 单位 W、kW

(3)计算式/表达式：$P=F\cdot v\cdot\cos\theta$(有正负，标量)，能带正负号比较大小的物理量：温度、电势、势能

练　　习

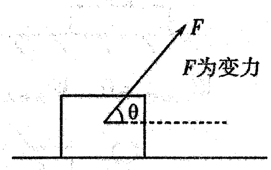
1. 

当以 v 匀速运动时，拉力功率为 P，求以 $3v$ 匀速运动时，拉力的功率 P'

解析：$f\propto v^2$（匀速时）（⇒拉力为变力）

匀速时：$\begin{cases}P=F\cdot v\\F=f=kv^2\end{cases}$ $\therefore P=k\cdot v^3$ $\therefore P'=k\cdot(3v)^3=27P$

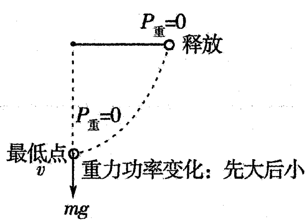
2. 物体一直匀速，θ 由 $0°\sim90°$ 过程中 F 的功率 P 减小



$F\cos\theta=\mu N=\mu(mg-F\sin\theta)$

$$F=\frac{\mu mg}{\cos\theta+\mu\sin\theta}$$

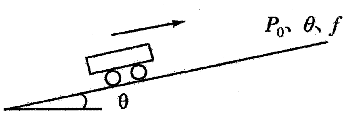
$$P=\frac{\mu mgv\cos\theta}{\cos\theta+\mu\sin\theta}=\frac{\mu mgv}{1+\mu\tan\theta}$$

3. 

(4)牵引力的功率

①表达式：$P=F_{牵}v$

②机动车最大速度 $v_m=\dfrac{P_0}{F_{min}}$

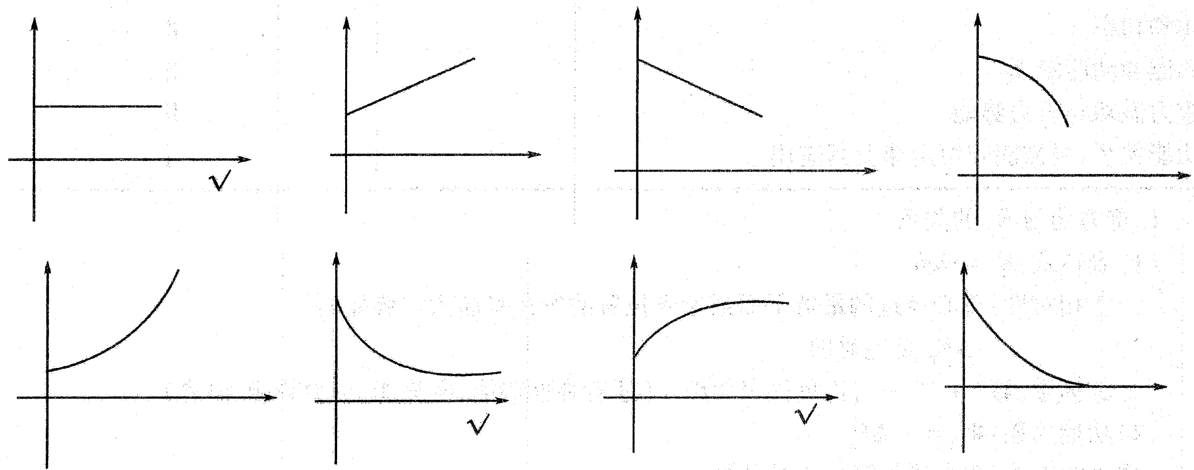
例： 

此时向下的分力 $mg\sin\theta$ 和摩擦力f的值相加是匀速时的牵引力大小

则 $v_{max}=\dfrac{P_0}{mg\sin\theta+f}$ $F_{min}=mg\sin\theta+f$ （注意重力的分力）

练 习

一辆汽车以 v_0,恒定的功率冲上一个斜坡,速度－时间图象,下列正确的是 ( )



解析:$F_0=\dfrac{P}{v_0}$ $f_{阻}=mg\sin\theta+f$ 注：P为额定功率，F_0为恒定牵引力

(1)若 $F_0=mg\sin\theta+f$,一直匀速

(2)若 $F_0>mg\sin\theta+f$, $F_0-mg\sin\theta-f=ma$ 加速运动

$P=Fv$,F 变小 a 变小的加速运动

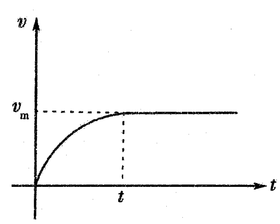
(3)若 $F_0<mg\sin\theta+f$ $-F_0+mg\sin\theta+f=ma$ 减速运动

$P=Fv$,F 变大,a 变小的减速运动,当 $a=0$ 时,有 F_0 有 $v\xrightarrow{后}$匀速

(5)两种启动方式:

①以恒定功率启动:$P=F\cdot v$ $v\uparrow$ 而 $F\downarrow$,$F-f=ma$,$a\downarrow$,$a\downarrow$的加速运动

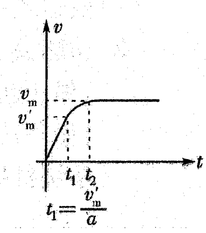
当 $F=f$ 时,$v_m=\dfrac{P}{f}$



$$Pt-fs_{总}=\frac{1}{2}mv_m^2-0$$

②先以恒定的力达到 $P_{额}$ 后,再 $P_{额}$ 启动:

1)$F-f=ma$ 匀加速 $P=Fv$,P 均有$\uparrow$ $v'_m=\dfrac{P_0}{F}$ 匀加速最大值



2)$P=Fv$,$v\uparrow$,$F\downarrow$ $F-f=ma$,$a\downarrow$,$a\downarrow$的加速运动

$$\begin{cases}s_1=\dfrac{v'^2_m}{2a} & (s_1\text{ 指的是匀加速运动时的位移总量})\\ Fs_1+P(t_2-t_1)-fs_{总}=\dfrac{1}{2}mv_m^2,\ v_m=\dfrac{P}{f}\end{cases}$$

二、功能关系

内容	要求
功和功率	Ⅱ
动能和动能定理	Ⅱ
重力做功与重力势能	Ⅱ
功能关系、机械能守恒定律及其应用	Ⅱ

1. 重力功与 E_p 的关系

(1)表达式:$E_p=mgh$

①相对性:重心经过的最低平面或始末位置的所在平面为零势能面.

ΔE_p 是绝对的.

②标量,有"+""-",正负代表大小 (还有弹性势能、电势能、引力势能、温度)

(2)功能关系:$W_{重}=-\Delta E_p$

$\begin{cases}\text{重力做正功,重力势能转化为其他能量}\\\text{重力做负功,其他能量转化为重力势能}\end{cases}$

2. 弹性功与 E_p 关系

(1)表达式:$E_p=\frac{1}{2}kx^2$

①变力的功可用图象或平均力来解

②x:相对于原长的形变量

(2)功能关系

$W_{弹}=-\Delta E_p$

$\begin{cases}\text{弹力做正功,弹性势能转化为其他能量}\\\text{弹力做负功,其他能量转化为弹性势能}\end{cases}$

3. 合力功与动能关系

(1)表达式:$E_k=\frac{1}{2}mv^2$

(2)功能关系:$W_{合}=\Delta E_k$

$\begin{cases}W_{合}\text{ 是正的,其他能量转化为动能}\\W_{合}\text{ 是负的,动能转化为其他能量}\end{cases}$

4. 重力、弹力以外的功与机械能的关系

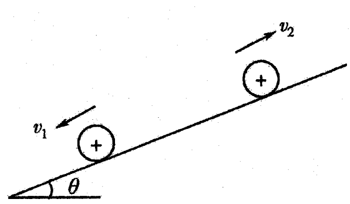
(1)表达式:$E_{机}=E_{动}+E_p$(重力势能、弹性势能)

(2)功能关系:$W_{重弹以外}=\Delta E_{机}$

$\begin{cases}\text{做正功,其他能量转化为机械能}\\\text{做负功,机械能转化为其他能量}\end{cases}$

系统机械能守恒,系统除重力、弹力以外力做功为0.包括外力,系统外力.

例:



两球组成的系统机械能不守恒

5. 摩擦力做功与摩擦生热的关系

(1)静f的功

①静f的功的情况

$$\begin{cases} W_1 = W_2 = 0 \\ W_1 \text{ 为正}, W_2 \text{ 为负}, W_1 + W_2 = 0 \end{cases}$$

②意义:静f是系统内能量的转移过程,没有内能生成.

(2)动f的功

①动f的功能情况

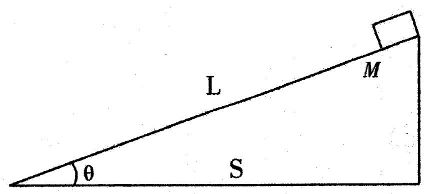
$$\begin{cases} W_1 = 0, W_2 \text{ 是负的} \\ W_1、W_2 \text{ 均是负的} \\ W_1 \text{ 是正的}, W_2 \text{ 是负的} \end{cases}$$

$W_1 + W_2 = -fL_{相} = -Q$

②意义:一定有内能的转化,也可能有能量的转移　(如传送带问题)

③功能关系:$W_{一对功和} = -Q$　(若分清楚摩擦力做功和摩擦生热)

④内能的计算式:$Q = F \cdot L_{相}$　(则动f功和为负,一部分能量为阻碍运动的f提供能量,以热能形式散失)



$\mu mg\cos\theta = f$

则$W_f = -\mu mg\cos\theta L = -\mu mgS$

物体在粗糙斜面上f做的功等于在水平面上该物体f运动水平位移做的功.

三、规律

1. 动能定理

(1)内容:合力的功等于物体动能的变化量.

(2)表达式:$W_1 + W_2 + \cdots + W_n = \Delta E_k$

(3)对象:单个物体

(4)应用:只涉及力做功及始末状态的动能

2. 能的转化与守恒定律

(1)内容:能量只能由一种形式转化为另一种形式,由一个物体转移到另一个物体,其总量保持不变.

(2)守恒条件:系统外力的功为0

(3)表达式:$\begin{cases} W_{外} = 0, \Sigma\Delta E_{少} = \Sigma\Delta E_{加} \\ W_{外} \text{ 正功}, W_{外} = \Sigma E_{加} - \Sigma E_{少} \quad \text{(系统能量增加)} \\ W_{外} \text{ 负功}, |W_{外}| = \Sigma E_{少} - \Sigma E_{加} \quad \text{(系统能量减少)} \end{cases}$

(4)对象:多个物体

(5)应用:只涉及能量及守恒条件的判断

四、实　验

1. 合力功与E_k的关系

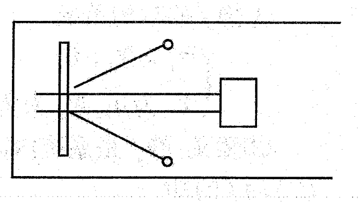
(1)“合力功与E_k关系”实验测量的量

①$W_{合}$与E_k　②测量F与s

(2)变力做功

①器材:小车、木板、打点计时器、纸带、橡皮筋(天平)

②过程:



1)平衡摩擦力$\begin{cases}\text{不挂橡皮筋}\\ \text{纸带、计时器正常工作}\end{cases}$

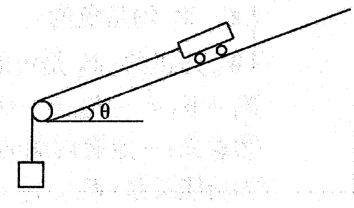
2)使橡皮筋连入时形变一样;释放小车时形变一样.

3)每次小车释放位置相同.

4)测速:只能测整个过程的最大速度或匀速时的速度.

③数据处理:画 $W-v^2$ 图

(3)恒力做功



△平衡摩擦力

△钩码的质量与小车的质量

$$\begin{cases}\text{满足 } m\ll M, mgh \text{ 与} \dfrac{1}{2}M(v_t^2-v_0^2)\\ \text{不满足 } m\ll M, mgh \text{ 与} \dfrac{1}{2}(M+m)(v_t^2-v_0^2)\end{cases}$$

△数据处理

①在纸带上选取清晰的一段

$$\begin{cases}\text{测出 } v_0, v_t, h\\ W=mgh, E_k=\dfrac{1}{2}M(v_t^2-v_0^2) \text{ 或 } E_k=\dfrac{1}{2}(M+m)(v_t^2-v_0^2)\end{cases}$$

②画出 $W-v^2$ 图

2. 验证机械能守恒

(1)测量的量:测 v,h(可不测质量)

(2)过程:

①选小而重的物体(阻力小,可以忽略阻力)

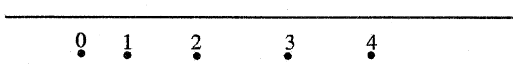
②调整计时器表面:板面竖直、限位孔连线竖直

③手持纸带上部分再放重锤

④选取纸带清晰一段完成

(3)验证方程

$$mgs=\frac{1}{2}m(v_t^2-v_0^2)$$



$v_1=\dfrac{s_{02}}{t_{02}}$ $\quad v_4=v_1+3\Delta t\cdot g$ (×) $\quad v_4^2=v_1^2+2gh_{14}$ (×)

第七章　动　量

一、概念与规律

1. 动量

(1)定义:$p=mv$,单位 kg · m/s

(2)意义:描述运动状态

(3)矢量:方向与速度方向相同,有相对性　(动量　势能)

2. 冲量

(1)定义:$I=F\cdot t$,单位 N · s

(2)意义:是动量变化的量度及产生动量变化的原因

(3)矢量:有方向,恒力时与力同向

3. 动量定理

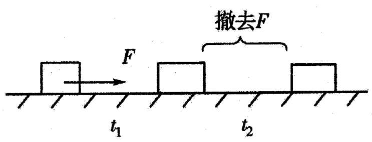
(1)内容:合(外)力的冲量等于系统动量的变化量.

(2)表达式:$\Sigma I=\Sigma\Delta p$

$$\begin{cases}\Sigma I x=\Sigma\Delta p_x\\ \Sigma I y=\Sigma\Delta p_y\end{cases}\quad(\text{有矢量性})$$

(3)应用:

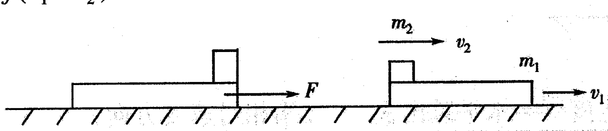
例 1



初、末状态为静止状态

$$Ft_1-f(t_1+t_2)=0$$

例 2



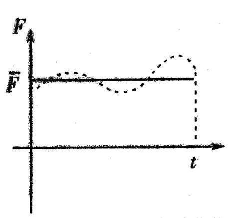
$Ft=m_1v_1+m_2v_2$　　$L=\dfrac{v_1}{2}t-\dfrac{v_2}{2}t\Rightarrow$匀变速

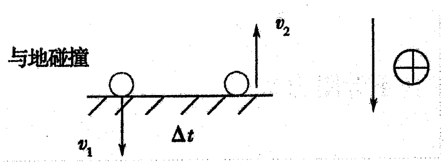
(系统动量的变化量等于合外力的冲量,此系统的f为内力,对单个物体也成立,

$$\begin{cases}\text{对 } m_1 \text{ 有}\quad m_1v_1=Ft-ft\\ \text{对 } m_2 \text{ 有}\quad m_2v_2=ft\end{cases})$$

例 3　求平均力

$I=\overline{F}t$





取向下为正方向

(动量题设正方向)

$mg\Delta t-\overline{F}\cdot\Delta t=-mv_2-mv_1$　　　　$\overline{F}=\dfrac{m(v_2+v_1)}{\Delta t}+mg$

4. 动量守恒

(1)条件:

①合外力为零

②内力远大于外力时

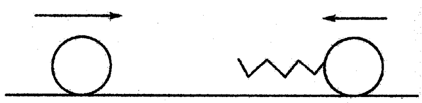
③在某方向上满足①或②,则该方向上动量守恒　　(矢量性)

(2)表达式

$m_1v_1+m_2v_2=m_1v'_1+m_2v'_2$

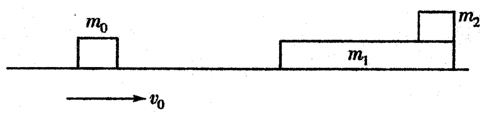
(3)应用

应用一:二合一



系统有最大的动能损失

例1:



m_0 与 m_1 瞬间粘在一起,m_1 与 m_2 之间为 μ,m_2 不掉下去,则 m_1 长 L 的条件:

$m_0v_0=(m_0+m_1)v_1$

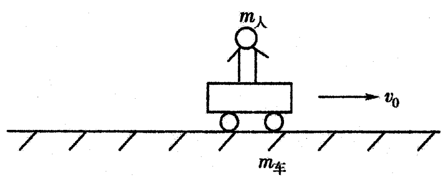
$(m_1+m_0)v_1=(m_1+m_2+m_0)v_2$

①$a_2=\mu g$　$a_{1,0}=\dfrac{\mu mg}{m_0+m_1}$　$s_1=\dfrac{v_1^2-v_2^2}{2a_{1,0}}$　$s_2=\dfrac{v_2^2}{2a_2}$　$s_1-s_2\leqslant L$

②$\dfrac{1}{2}(m_0+m_1)v_1^2-\dfrac{1}{2}(m_0+m_1+m_2)v_2^2=\mu mgs_{相}\leqslant\mu mgL$

应用二:一分为二(反冲)

例2



(1)人相对于跳后的车速大小为 μ 的速度$\xlongequal{向右}$水平跳出去　　(指相对速度方向)

(2)人相对于跳后的车速大小为 μ 的速度$\xlongequal{向左}$水平跳出去　　(指相对速度方向)

$(m_人+m_车)v_0=m_人v_人+m_车v_车$

(1)$v_人-v_车=\mu$

(2)$v_人-v_车=-\mu$

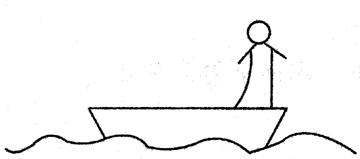
$\underset{矢量}{v_{A相对于B}}=v_A-\underset{矢量差}{v_B}$

未清楚方向的矢量先默认为正方向,

如此题的 $v_人$,(1)问的 $v_车$

不等式方程中各量须为绝对值

例3　人船模型



(不计阻力)

$\begin{cases}\text{人动则船动,人停则船停}\\ p_{人}=p_{船}, t_{人}=t_{船}\end{cases}$

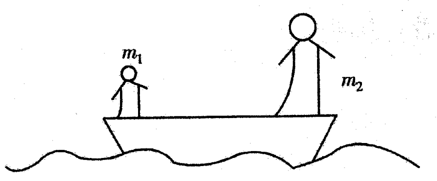
$\therefore \bar{p}_{人}=\bar{p}_{船}, m_{人}\dfrac{s_{人}}{t}=m_{船}\dfrac{s_{船}}{t}$

$\therefore m_{人}s_{人}=m_{船}s_{船}$

规律:

$x_{被移动}=\dfrac{m_{移动}}{M_{总}}\cdot L_{相}$

例4



$m_2>m_1$

m_1, m_2 交换位置,则船的位移为$\dfrac{-m_1+m_2}{m_1+m_2+M}L$,向右

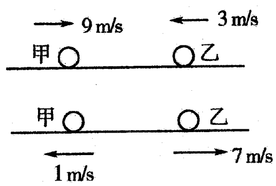
二、碰撞

1. 完全弹性碰撞

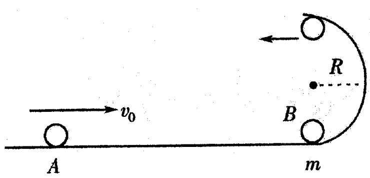
$$\begin{cases}\dfrac{1}{2}m_1v_1^2+\dfrac{1}{2}m_2v_2^2=\dfrac{1}{2}m_1v'^2_1+\dfrac{1}{2}m_2v'^2_2\\ m_1v_1+m_2v_2=m_1v'_1+m_2v'_2\end{cases}$$

(1)$v_1-v_2=-(v'_1-v'_2)$

碰撞前后相对速度大小不变,方向相反



例:



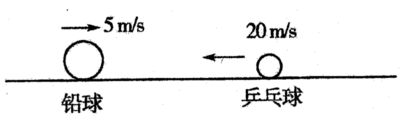
A 以不同的质量与 B 相碰,B 能经过最高点平抛,求平抛的水平位移范围.

当 $m_B \ll m_A$ 时,$v_{B\max}\to 2v_0$

(2)$\begin{cases}v'_1=\dfrac{(m_1-m_2)v_1+2m_2v_2}{m_1+m_2}\\ v'_2=\dfrac{(m_2-m_1)v_2+2m_1v_1}{m_1+m_2}\end{cases}$　※

若弹性碰撞,无论 v_A,v_B 如何碰后 A 速度等于 $\dfrac{(m_A-m_B)v_A+2m_Bv_B}{m_A+m_B}$

例:



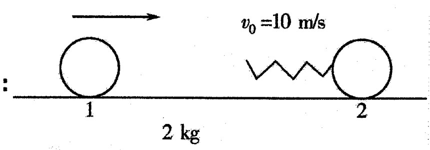
$m_{铅球}\gg m_{乒乓球}$　(则乒乓球对铅球影响不计)

则碰撞后　$v_{铅球}\to 5\ \text{m/s}, v_{乒乓球}\to 30\ \text{m/s}$

(3)质量相等时,二者交换速度

内容	内容	要求	说明
碰撞与动量守恒	动量、动量守恒定律及其应用 弹性碰撞和非弹性碰撞	Ⅱ Ⅰ	只有动量是选修部分唯一的Ⅱ类要求,关注动量计算只限于一维

(4)当 $v_2=0$ 时，$\begin{cases} v'_1=\dfrac{m_1-m_2}{m_1+m_2}v_1 \\ v'_2=\dfrac{2m_1}{m_1+m_2}v_1 \end{cases}$ ⇒方向

例：

（应用结论，看 v 方向）

(1)$m_2=1$ kg，则 v_1 最小时，$E_p=$？

(2)$m_2=4$ kg，则 v_1 最小时，$E_p=$？

解析：(1)当 1，2 分开时，v_1 最小，此时 $E_p=0$ J

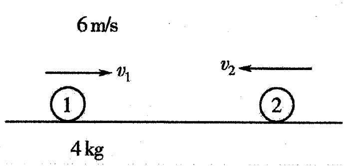
(2)在碰撞之后，v_1 速度向左，则 $v_{1\min}=0$ m/s

此时　$m_1v_0=m_1v_1+m_2v_2$，$v_2=5$ m/s　　$\therefore E_p=\dfrac{1}{2}m_1v_0^2-\dfrac{1}{2}m_2v_2^2=50$ J

2. 完全非弹性碰撞

形变只能发生，不能恢复　　（最大动能损失）

$$\begin{cases} m_1v_1+m_2v_2=(m_1+m_2)v_{同} \\ \Delta E_{km}=\dfrac{1}{2}m_1v_1^2+\dfrac{1}{2}m_2v_2^2-\dfrac{1}{2}(m_1+m_2)v_{同}^2 \end{cases}$$

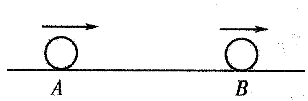
例：

$E_{总}=100$ J　　求 $m_2=$？时，有可能有最大 E_k 损失

解析：$\Delta E_k\leqslant E_{总}$⇒(则碰后静止)$E_k=\dfrac{p^2}{2m}$，$m_1v_1=m_2v_2$　　$\therefore \dfrac{m_2}{m_1}=\dfrac{72\text{ J}}{28\text{ J}}=\dfrac{18}{7}$，$m_2=\dfrac{72}{7}$ kg

3. 非完全弹性碰撞

$$\begin{cases} m_1v_1+m_2v_2=m_1v'_1+m_2v'_2 \\ \dfrac{1}{2}m_1v_1^2+\dfrac{1}{2}m_2v_2^2>\dfrac{1}{2}m_1v'^2_1+\dfrac{1}{2}m_2v'^2_2 \end{cases}$$

例：

$p_{B0}=6$ kg · m/s

$p_{A0}=4$ kg · m/s

(1)$p'_A=p'_B=5$ kg · m/s　　(×)

(2)$p'_1=6$ kg · m/s，$p'_B=4$ kg · m/s　　(×)

(3)$p'_A=3$ kg · m/s，$p'_B=7$ kg · m/s　　(√)

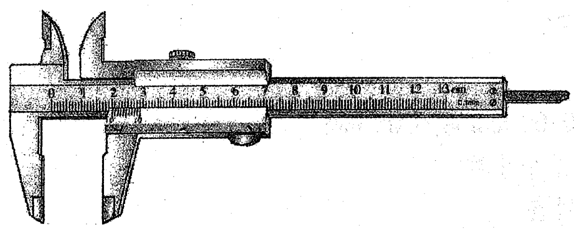
(4)$p'_A=-2$ kg · m/s，$p'_B=12$ kg · m/s　　(√)

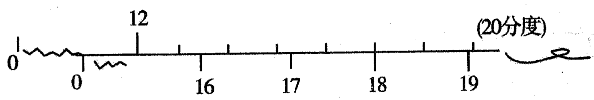
(5)$p'_A=-5$ kg · m/s，$p'_B=15$ kg · m/s　　(×)

三、实　验

△游标卡尺

游标卡尺是利用刻度差值累积放大的方法从游标尺上读数. 常数的游标卡尺有 10 分度、20 分度及 50 分度的三种.



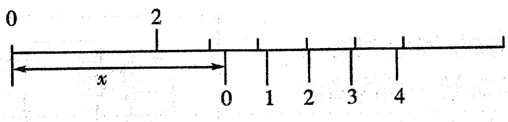
例：


(89. 90 mm)

1. 十分度：游标尺十个小格

(1)十个小格与主尺 9 mm 对齐

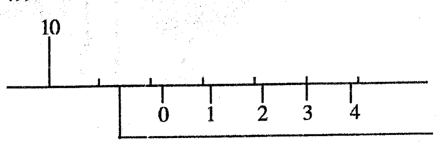
①原理



②余数 $=n-\frac{9}{10}n=0.1n$

③精度：0. 1 mm

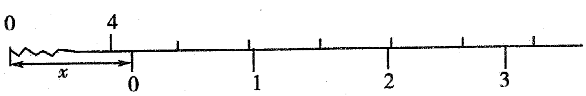
④读数：最后一位 0. 0 ~0. 9 mm

例：


(102. 3 mm)

(2)十个小格与主尺 19 mm 对齐

①原理



余数 $=2n-\frac{19}{10}n=0.1n$

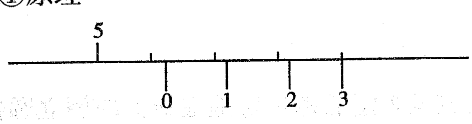
②精度：0. 1 mm

③读数：最后一位 0. 0 ~0. 9 (mm)

2. 二十分度：游标尺二十个小格

(1)二十个小格与主尺 19 mm 对齐

①原理

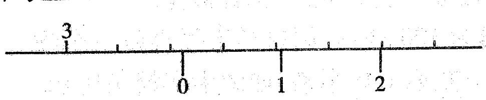


余数：$n-\frac{19}{20}n=0.05n$

②精度：0. 05 mm

③读数：最后一位为 0. 00 mm 或 0. 05 mm

(2)二十个小格与主尺 39 mm 对齐

①原理：


余数 $=2n-\frac{39}{20}n=0.05n$

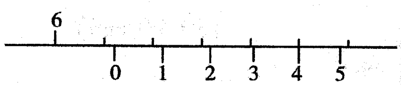
②精度:0.05 mm

③读数:最后一位为0.00 mm或0.05 mm

3. 五十分度:游标尺上五十个小格

五十个小格与49 mm对齐

(1)原理:

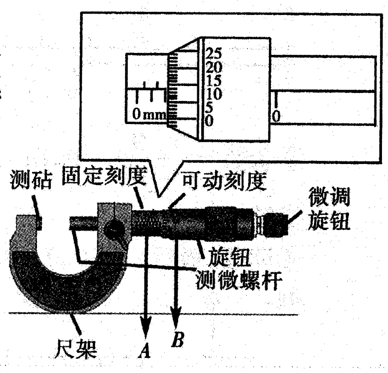


余数:$n-\frac{49}{50}n=0.02n$

(2)精度:0.02 mm

(3)读数:最后一位只为:0.00 mm、0.02 mm、0.04 mm、0.06 mm、0.08 mm

△螺旋测微器2.135mm



螺旋测微器由固定刻度 A 和可动刻度 B 两部分构成. 固定刻度又分整刻度和半刻度,每个刻度为1 mm. 可动刻度部分每旋转一周测微螺杆前进或后退0.5 mm,而每一周又分了50个刻度,所以每旋转一个刻度测微螺杆前进或后退0.5/50 = 0.01 mm,所以螺旋测微器测量长度时可以精确到0.01 mm.

△螺旋测微器(千分尺)

精度:$\frac{0.5\ \text{mm}}{50}=0.01\ \text{mm}$

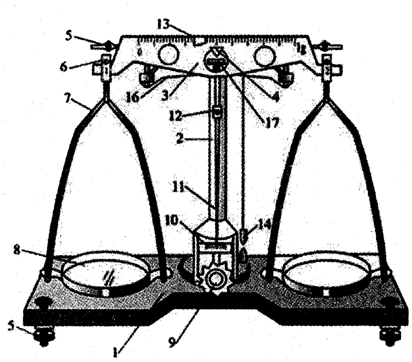
读数:估读0.001 mm

△弹簧秤

$\begin{cases}\text{十分度:估读到下一位,0.1}\to(0.00\sim0.09)\\ \text{非十分度:本位估读,0.2}\to(0.0\sim0.2)\end{cases}$

△天平

了解物理天平的结构及调节

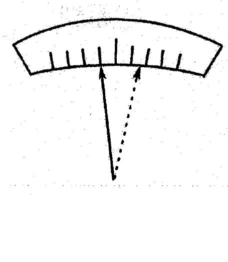


1. 底座　2. 立柱　3. 横梁　4. 中刀　5. 平衡砣　6. 吊耳　7. 吊架　8. 秤盘　9. 旋钮　10. 分度牌(分度盘)　11. 指针　12. 重心砣　13. 游码　14. 重锤　15. 螺钉　16. 支架　17. 中刀承

(1)调整水平:用手转动天平底板上的两个底脚螺钉,直至重锤的锤尖对准底板上的倒立圆锥为止. 有的天平指示水平不用重锤而用水准泡. 调整底脚螺钉直到水准泡的气泡处于中央,天平就调好了.

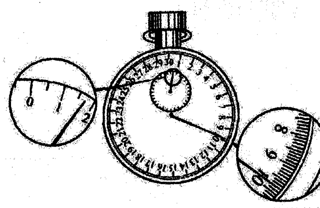
(2)调整横梁平衡:取去秤盘上的物体,把游码放在零位. 顺时针转动旋钮升起横梁,试看它是否平衡. 因为天平很灵敏,假如升起一点儿已能看出哪一边重,就不必把横梁升到最高点了. 降下横梁,调整横梁两端的螺母(平衡砣),直到横梁平衡为止. 天平是否平衡由指针指示出来,如果横梁升起后指针在零刻度左右各摆过相同的刻度数,就可认为横梁已经平衡,不必等指针静止.

(2)有一架托盘天平,没有游码,最小砝码为100毫克,用这架天平称量一个物体,当右盘中加上36.20克砝码时,天平指针向左偏1.0小格,如图中实箭头所示.

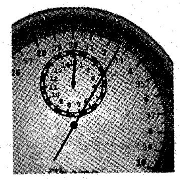


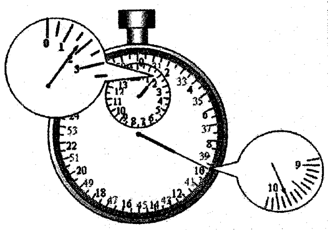
如果在右盘中再加上 100 毫克的砝码，天平指针向右偏 1.5 小格，如图中虚箭头所示. 这个物体的质量可读为36.24 克.

△秒表



99.8s





小表盘时间单位：min
大表盘时间单位：s

第八章　静电场

考试大纲：

内容	要求
物质的电结构、电荷守恒	Ⅰ
静电现象的解释	Ⅰ
点电荷	Ⅰ
库仑定律	Ⅱ
静电场	Ⅰ
电场强度、点电荷的场强	Ⅱ
电场线	Ⅰ
电势能、电势	Ⅰ
电势差	Ⅰ
匀强电场中电势差与电场强度的关系	Ⅱ
带电粒子在匀强电场中的运动	Ⅱ
示波管	Ⅰ
常用的电容器	Ⅰ
电容器的电压、电荷量和电容的关系	Ⅰ

一、电现象

1. 现象：摩擦后吸引轻小物体.
2. 电荷：带电物体所带的电荷多少称为电荷量 q(C)
3. 本质：电子的转移过程

(1)带电方式：摩擦带电，接触带电(带同种)，感应带电(带异种)(电子由物体的一部分转移到另一部分的过程)

↓

(电子由一个物体转移到另一个物体)

(2)元电荷：$e=1.6\times10^{-19}$C 是一个电子带电量的值.

4. 电荷守恒

(1)电荷既不会被创造，也不会被消灭，只能从一个物体转移到另一个物体，或从一个物体的一部分转移到另一部分.

(2)孤立系统电荷的代数和(带正、负)总量保持不变

5. 电荷间的相互作用力

(1)内容：F 与 q_1q_2 成正比，与 r^2 成正比　(类似万有引力而 $a=\frac{v^2}{r}$ 不能这么说)

(2)表达式：$F=k\frac{q_1q_2}{r^2}$　(计算式)

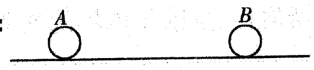
$k=9\times10^9\text{m}^2/\text{C}^2$　(引力常量 $6.67\times10^{-11}\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$)

(3)成立条件:真空中、静止点电荷 (同时满足)

(4)应用:

库仑定律+电荷守恒定律

例1:



$q_A=4q_B$ (同种电荷)

注:做题时,若题目出现"电量大小为××"则应讨论异、同种电荷.

一个完全不带电的 C

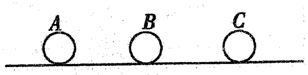
①先与 A 接触,再与 B 接触,力变为$\frac{3}{4}$.

②先与 A 接触,再与 B 接触,重复无数次后力变为$\frac{25}{36}$.

A,B,C 带电量相同

库仑定律+受力分析

例2:

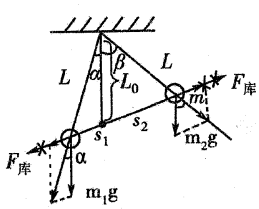


静止

对 A:$\begin{cases}B、C\text{ 是异种}\\ q_B<q_C\end{cases}$ 对 B:$\begin{cases}A、C\text{ 是同种}\\ q_A、q_C\text{ 不定}\end{cases}$ 对 C:$\begin{cases}A、B\text{ 是异种}\\ q_B<q_A\end{cases}$

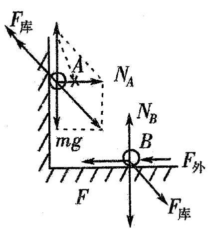
"两同夹异,两大夹小"

例3:



$$\frac{m_1}{m_2}=\frac{s_2}{s_1}=\frac{\sin\beta}{\sin\alpha}$$

例4:



不计一切摩擦(同种电荷)

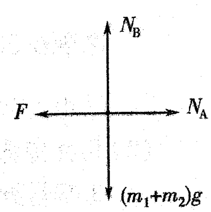
使 B 缓慢移动一些,再次平衡后

N_A、N_B、$F_{外}$、$F_{库}$如何变化:

$\downarrow$ $\rightarrow$ $\downarrow$ $\downarrow$

$F_{库}\downarrow=\frac{kq_1q_2}{r^2}$ 则 $r\uparrow\Rightarrow$库仑力做正功

先整体分析$\begin{cases}N_B=(m_1+m_2)g\rightarrow\\ N_A=F_{外}\end{cases}$



二、电场

1. 定义:(法拉第提出场的定义)带电体周围客观存在,看不见摸不到的特殊物质.
2. 性质:(1)力的性质 (2)能的性质
3. 电场强度

(1)定义:把 F 与 q 的比值定义为场强

(2)定义式:$E=\dfrac{F}{q}$　单位:$\begin{cases}\text{N/C}\\ \text{V/m}\end{cases}$　普遍适用

(3)矢量:正电荷受力的方向或负电荷受力的反方向为场强方向.

4. 意义:表示单位电荷在电场中受到的电场力,描述了电场的自身属性,反映了电场的强弱.

5. 点电荷场强

(1)公式:$E=k\dfrac{Q}{r^2}$(只与场源电荷有关)⇒计算式

(2)成立条件:真空中,点电荷

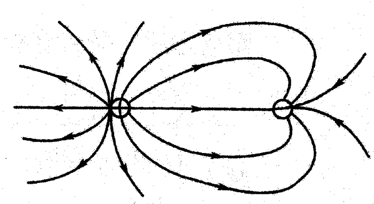
6. 电场线

(1)绘制:由轻小物体在场中分布情况而绘制

(2)绘制规律:

①能够反映出电场的对称规律

②在一个场中,由场强与电场线的条数比例确定,如



(3)特征

①有头有尾的假想的线. →法拉第

头$\begin{cases}\text{正电荷}\\ \text{无穷远}\end{cases}$　尾$\begin{cases}\text{无穷远}\\ \text{负电荷}\end{cases}$

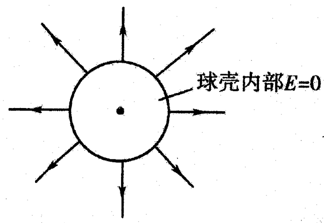
②疏密反映电场的强弱,某点的切线方向表示该点场强方向.

③任意两条电场线不相交,不相切

7. 应用(场的叠加)

(1)场强公式成立条件的应用

例:①均匀带电球壳,总电量 Q,半径为 R,距球心 $3R$ 处的场强



$$E_0=\frac{k\cdot Q}{qR^2}$$

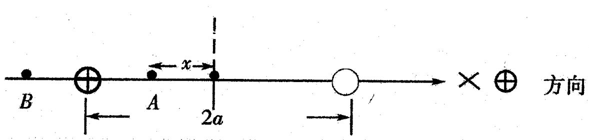
$\begin{cases}\text{在球壳外部,电场等效于一个相同电量的点电荷电场}\\ \text{在球壳内部,}E=0\end{cases}$

②现在 $3R$ 处放 $+q$ 电荷,受力 F,则 $E_1=\dfrac{F}{q}$,若在 $3R$ 处放 $+nq$ 处的电荷,受力 F',则 $E_2=\dfrac{F'}{nq}$.(√)

③由上问,$E_1<E_0$,$E_2<E_{a1}$(×)

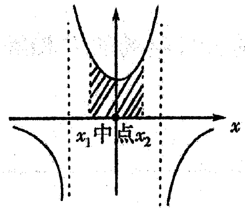
(2)几种特殊电场的叠加

①等量异种电荷

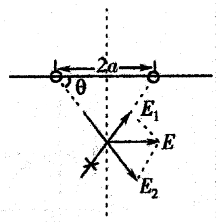


△连线上$\begin{cases}\text{中间段:}E=k\dfrac{q}{(a-x)^2}+k\dfrac{q}{(a+x)^2}\text{　近的减小的快}\\ \text{从中点向两侧对称增大}\\ \text{外侧:远离电荷时减小}\end{cases}$

$E_B=E_+-E_-$



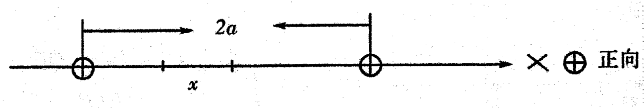
△中垂线上



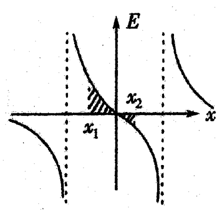
$$E=2E_1\cos\theta=2k\frac{Q}{a^2}\cdot\cos^3\theta$$

从中点向两侧对称减小,方向指向负电荷,中点处 E 最大

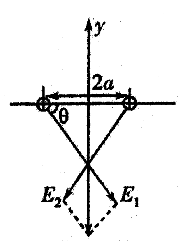
②等量同种电荷(正电荷)



△连线上
- 外侧:远离电荷时减小
- 中间:$E=\dfrac{kq}{(a-x)^2}-\dfrac{kq}{(a+x)^2}$
- 从中点向两侧对称增大



△中垂线上



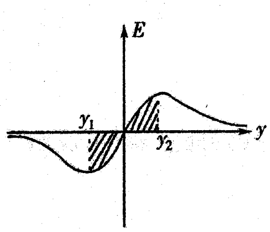
$\oplus\xrightarrow[\text{方向}]{}y$ 轴正半轴方向

$$E_1=E_2=k\frac{q}{a^2}\cos^2\theta$$

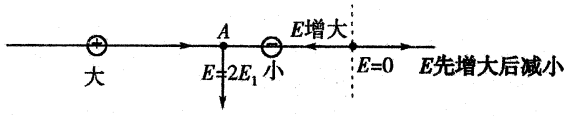
$$E=2k\frac{q}{a^2}\cos^2\theta\cdot\sin\theta$$

E 有极大值,对应角为常量$\left(\sin\theta=\dfrac{\sqrt{3}}{3}\right)$

从中点向两侧先大后小,方向沿中垂线远离中点.



③不等量的异种电荷,只分析连续处



连线上,两电荷各自电场的 E 相等的有两个点

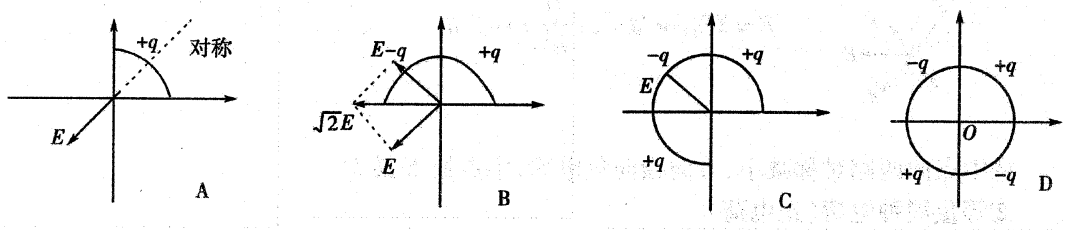
(A 点:连线中间段的场强最小值　从 A 点向两侧增大)

练　习

1. 均匀带电的细圆环,带电量为 Q,半径为 R,求 $E_{心}=?$　$E_{轴线}=?$

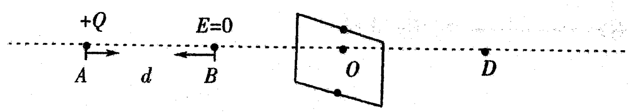
$E_{心}=0$;E 轴线先增大后减小.

2.



上图中圆心处场强最大的为 B.

3.



$$\begin{cases} \text{其中} \overrightarrow{AB}=BO=\overrightarrow{OD}=d \\ E_0=?\quad \dfrac{10kQ}{9d^2}\quad Q_{板}>Q \end{cases}$$

均匀带电薄板不能看作点电荷

均匀带电薄板的场强比电量都集中在中心时的场强小

三、电场能量的性质

1. 电场力的功

(1)特点:与路径无关,q 在场中的能量只与相对位置有关→势能

(2)关系:$W=-\Delta E_p$　$\begin{cases} \text{正功时},E_p\to E_{其} \\ \text{负功时},E_{其}\to E_p \end{cases}$

2. 电势能

(1)定义:电荷在电场中具有的与相对位置有关的能量.

(2)特点:具有相对性(一般地,选择大地或无穷远为零势能面)

(3)q 在场中某点 E_p 的计算式

$W=-\Delta E_p=-(0-E_p)$

$\therefore W_{p\to“0”}=\Delta E_p$　(计算时可将 W 与 ΔE_p 的正负号代到式子中)

3. 电势

(1)定义:把 E_p 与 q 的比值定义为电势

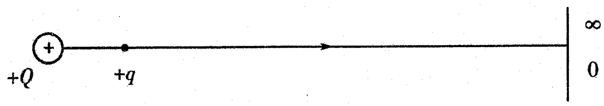
(2)定义式:$\varphi=\dfrac{E_p}{q}$,单位:伏特(V)

(3)标量:有正负,正负代表大小,具有相对性.

(4)意义:表示单位正电荷在电场中具有的能量,描述了电场的自身的能量属性,反映了电场能量的本领.

(5)(定性分析)点电荷电场的电势分布

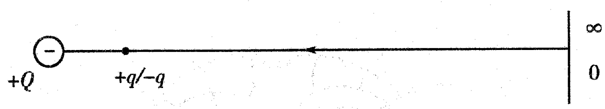
①正场源(∞ 处 $\varphi=0$)



W 是正的 $\to E_p$ 为正 $\to \varphi = \dfrac{E_p}{q} \to \varphi$ 为正

正场源 φ 为正的（∞ 处 $\varphi = 0$），顺着电场线 φ 减小

②负场源（∞ 处 $\varphi = 0$）



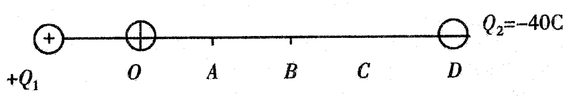
$-q$ 检验电荷：W 为正 $\to E_p$ 为正 $\to \varphi = \dfrac{E_p}{q}$ 为负

$+q$ 检验电荷：W 是负的 $\to E_p$ 为负 $\to \varphi = \dfrac{E_p}{q} \to \varphi$ 为负

负场源 φ 为负的（∞ 处 $\varphi = 0$），顺着电场线 φ 减小

练　　习

$Q_1 = 20C$ 的一个正的点电荷



$OA = AB = BC = CD = L$

知 ∞ 处 $\varphi = 0$，$\varphi_A = 60$ V，$\Phi_B = 30$ V，$\Phi_C = 20$ V

现在 D 处为一个 $Q_2 = -40C$ 的点电荷，求 A、B、C 的 φ

解析：在单独点电荷电场中，检验电荷的电量先增时，点电荷电量之比先增于电势大小之比

$\varphi_A = 20$ V，$\varphi_B = -30$ V，$\varphi_C = -100$ V

4. 电势差

(1)定义：电场中两点电势的差值

(2)定义式：$U_{AB} = \varphi_A - \Phi_B = \dfrac{W_{AB}}{q}$ （直接代入正负号运算）

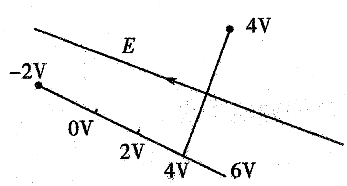
(3)物理意义：表示电场中两点移动单位 正电荷电场力做的功，描述了电场的自身属性，反映了电场做功的本领，是绝对的.

(4)匀强场中 U 与 E 的关系

①$U = E \cdot d$ （d：平行于场强方向的距离）

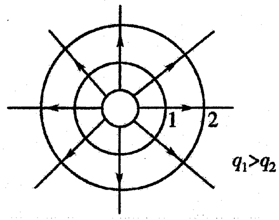
②匀强场中，等间距的两点电势差相等

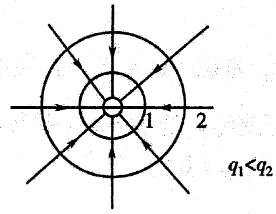
练　　习

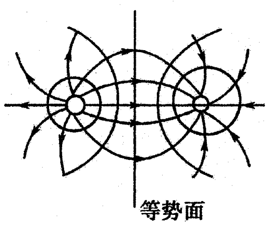


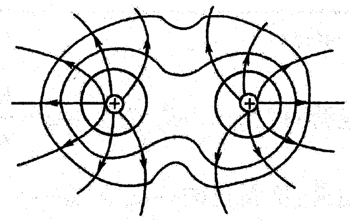
5. 等势面

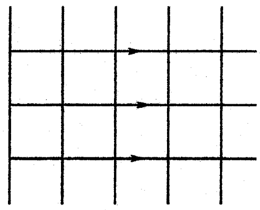
(1)几种特殊场的等势面









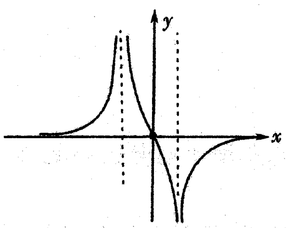


$U=Ed$

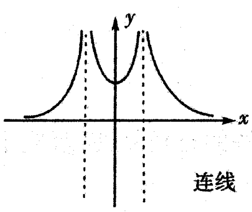
斜率 $E=\dfrac{\Delta\varphi}{\Delta x}$ $\Rightarrow$计算式

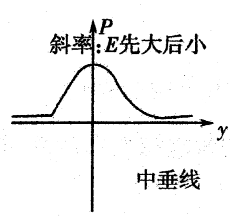
Δx 方向上的 E 大小变化

则等量异种电荷有(连线处)



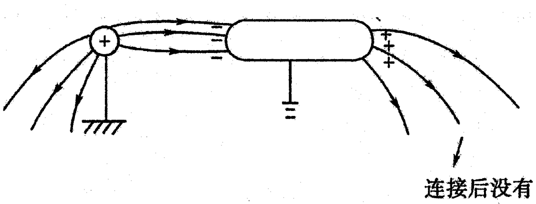
则等量同种电荷有





四、电场中的导体

例:



若迅速将导体与地面连接后断开,则带负电导体与地面迅速达到静电平衡.

原来 $\varphi_{导}>0\Rightarrow\varphi_{导}=\varphi_{地}$,与大地有电势差,有电子流向导体

1. 静电感应

(1)感应:电子发生定向的运动,由一部分移到另一部分.

(2)静电平衡:不再定向移动,达到相对平衡.

(3)条件:内部场强处处为零. $E_{感}=E_{源}$(大小相等,方向相反)

(4)特点:①内部场强处处为零.

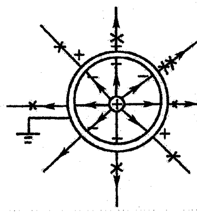
②净电荷分布在导体的外表面,且尖端带电多.

③导体是等势体,导体的表面是等势面.

(5)应用

①静电屏蔽

1)导体空腔或金属网罩,无论是否接地,都可以屏蔽外电场,使内部不受影响.

2) 

接地的导体空腔或金属网罩,既可以屏蔽内电场,也可以屏蔽外电场.

②尖端放电

2. 电容器

(1)结构:两个相互绝缘彼此靠近的导体.

(2)特征:

①带等量异种电荷⇒一个极板带电量即电容器的带电量

②Q 越多,U 越大,且$\frac{Q}{U}$成正比,$U\propto Q$.

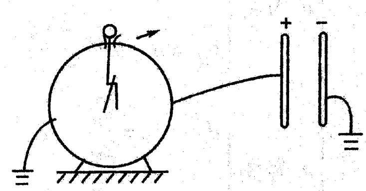
(3)电容:

①定义:Q 与 U 的比值为电容.

②定义式:$C=\frac{Q}{U}$(F) $1\text{F}=10^6\mu\text{F}=10^{12}\text{pF}$

③物理意义:表示电容器升高 1 V 电压所带的电量,描述了电容器自身的属性,反映了电容器带电的本领.

(4)实验:平行板电容器



①静电计:电势差计

1)是一个 C 极小的电容器,$Q=CU$(所带电量几乎可忽略)

2)测电压:$U\propto\theta$(张角为 θ)

②现象:

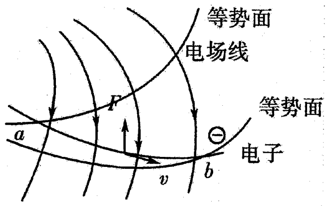
$$\left.\begin{array}{l}1)\ d\text{ 小}\to\text{看到 }\theta\text{ 小}\to U\text{ 小}\xrightarrow{Q\text{ 几乎不变}}C\text{ 大},C\propto\frac{1}{d}\\ 2)\ S\text{ 小}\to\text{看到 }\theta\text{ 大}\to U\text{ 大}\xrightarrow{Q\text{ 几乎不变}}C\text{ 小},C\propto S\\ 3)\ \varepsilon\text{ 大}\to\text{看到 }\theta\text{ 小}\to U\text{ 小}\xrightarrow{Q\text{ 几乎不变}}C\text{ 大},C\propto\varepsilon\end{array}\right\}c\propto\frac{\varepsilon S}{d}$$

③决定式:$C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$

(5)应用:内部场为匀强电场 $E=\frac{U}{d}=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon S}$

五、带电粒子的运动

1. 定性分析



$a_A > a_B$　　$E_{pA} < E_{pB}$

$\varphi_A > \varphi_B$　　$E_{kA} > E_{kB}$

$v_A > v_B$

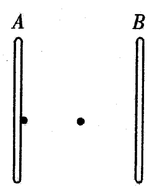
2. 直线运动

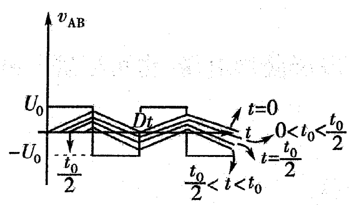
(1)任意场中　$W_{AB} = U_{AB}q = \frac{1}{2}mv_t^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$

(2)匀强场中　$a = \frac{Eq}{m} = \frac{Uq}{md}$　(U:d 对应的 U)　$v_t = v_0 \pm at$

$2aS = v_t^2 - v_0^2$

例:





粒子运动情况

①$t=0$ 时放粒子　　$a = \frac{U_0q}{md}$　　$v_m = a \cdot t_0$

∴ 单方向周期运动　$s_0 = \frac{1}{2}at_0^2$

则到达 B 板时,求 v_B 与 t

令 $n = \left[\frac{d}{s_0}\right]$(取整)　　$s_{余} = d - ns.$

$$\begin{cases} n\text{ 为奇}\begin{cases} d - ns_0 = \dfrac{v_m^2 - v_B^2}{2a} \\ t_{总} = nt_0 + \dfrac{v_m - v_B}{a} \end{cases} \\ n\text{ 为偶}\begin{cases} d - ns_0 = \dfrac{v_B^2}{2a} \\ t_{总} = nt_0 + \dfrac{v_B}{2a} \end{cases} \end{cases}$$

②$t = \frac{t_0}{2}$时放粒子　　$a = \frac{U_0q}{md}$

∴ 反复周期性运动　∴ $v_m = \frac{at_0}{2}, s_m = 2 \times \frac{1}{2}a \times \left(\frac{t_0}{2}\right)^2$

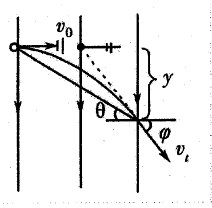
③$t > 0$ 时放粒子

∴ 具有周期性的运动,且一个周期内,向初始运动方向运动相同位移.

④$\frac{t_0}{2} < t < t_0$ 时放粒子

∴ 具有周期性的运动,且一个周期内,向初始运动反方向运动相同位移.

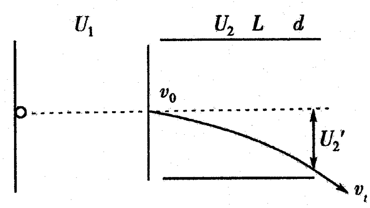
3. 偏转($v\perp E$)



$$a=\frac{Eq}{m}$$

$$\begin{cases} x: x=v_0t, v_x=v_0 \\ y: y=\frac{1}{2}at^2, v_y=at \end{cases}$$

$$\begin{cases} y=\frac{EqL^2}{2mv_0^2} \quad (L=x) \\ \tan\theta=\frac{EqL}{2mv_0^2} \quad (L=x) \\ \tan\varphi=\frac{EqL}{mv_0^2} \quad (L=x) \end{cases}$$



在加速场中:$U_1q=\frac{1}{2}mv_0^2$　　在偏转场中:$a=\frac{U_2q}{md}$

$$\therefore \begin{cases} L=v_0t, t=\frac{L}{v_0} \\ \frac{d}{2}=y=\frac{1}{2}at^2, y=\frac{U_2qL^2}{2mdv_0^2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} y=\frac{U_2qL^2}{4U_1d} \\ \tan\theta=\frac{U_2qL}{4U_1d} \\ \tan\varphi=\frac{U_2L}{2U_1d} \end{cases}$$

$$\tan\theta=\frac{U_2qL}{2mdv_0^2} \quad \tan\varphi=\frac{U_2qL}{mdv_0^2}$$

∴ 所有粒子都有相同的轨迹

$$U_1q+U'_2q=\frac{1}{2}mv^2$$

$$v=\sqrt{\frac{2q(U_1+U'_2)}{m}}, v\propto\sqrt{\frac{q}{m}}$$

第九章　恒定电流

一、概念与规律

1. 电流

(1)定义:大量电荷的定向移动

(2)条件:①电场/源　②电势差　③有自由移动电荷

(3)导体中产生电流的特征:

①导体中产生电流时,只有平行于导体/导线的恒定电场.

②任意截面,用电器或电源相等的时间内通过的电量相等.

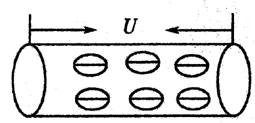
(4)物理量:电流

①定义:通过导体横截面的电量与所用时间的比值定义为电流.

②定义式:$I=\frac{Q}{t}$,单位:1 A = 1 C/s

③两种表达式:

导体中:
(微观解释)

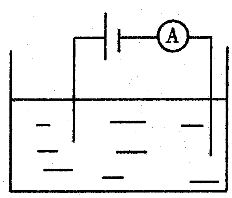


$I = neSv$　(n:电子的体密度即单位体积的电子个数)

$\downarrow$

电子运动速率定向

电解液中:



$I=\frac{q_{+}+q_{-}}{t}$

(5)方向:电流是标量,人为规定正电荷定向移动的方向或负电荷定向移动的反方向为正方向.

2. 三种速率

(1)定向移动速率:$v=\frac{I}{neS}$　(10^{-5} m/s)　有序

(2)热运动速率:无序(10^{5} m/s)

(3)电的传导速率:3×10^{8} m/s　电场建立速率

3. 电动势·电源

(1)定义:①通过非静电力把负(正)电荷搬回到负(正)极的装置.

②通过非静电力做功把其他的能量转化为电能的装置.

(2)电动势

①定义:把非静电力做功与所搬运的电荷电量的比值.

②定义式:$E=\frac{W_{非}}{q}$　(V)

③意义:表示了搬运单位电荷非静电力做的功,描述了电源自身属性(非静电力的属性),反映了电源把其他能量转化为电能的本领.

(3)三个参量

①电动势(E):单位 V

②内阻 $r(\Omega)$

③容量 A·h,mA·h

4. 电阻定律

(1)内容:$R=\rho\frac{L}{S}$

(2)电阻率:Ω·m

①导体:$T\uparrow$时,$\rho\uparrow$

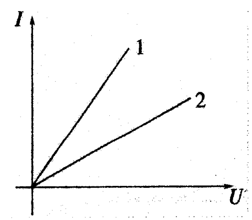
②半导体:$\begin{cases}\text{光敏电阻,有光照时}\rho\text{小}\\\text{热敏电阻,温度高时}\rho\text{小}\end{cases}$

5. 欧姆定律

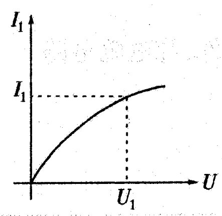
(1)表达式:$I=\frac{U}{R}$

(2)条件:纯电阻

(3)伏安特性曲线(反映导体自身属性的规律)



线性元件



$R=\frac{U_1}{I_1}$　不是斜率

6. 焦耳定律

(1)电功:电流做功

①表达式:$W=UIt$　(普适)

②电功率:$P=UI$　(普适)

③意义:一段时间,这段电路消耗掉的总电能.

(2)电热:(焦耳热)

①表达式:$Q=I^2Rt$(普适)

②热功率:$P_Q=I^2R$(普适)

③意义:一段时间,某段电路消耗掉的总电能转化为内能的那部分. $Q\leqslant W$

(3)两种电路中表达式

①纯电阻电路　$E_{电}=E_{热}$

$UI=I^2R\Rightarrow U=IR$　　　$P_{电}=P_{热}=UI=I^2R=\frac{U^2}{R}$

②非纯电阻电路　$E_{电}=E_{热}+E_{其}$

$UI=I^2R+P_{其}\Rightarrow U>IR$　　　$\begin{cases}P_{电}=UI\\P_{热}=I^2R\end{cases}$

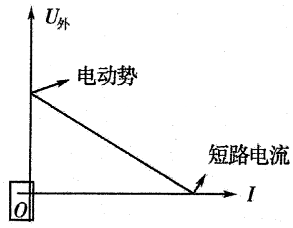
7. 闭合电路的欧姆定律

(1)全电路:内外电路之和

(2)任意电路中:$E=U_{外}+Ir=U_{外}+U_{内}$

(3)闭合电路的欧姆定律:$I=\frac{E}{r+R_{外}}$　成立条件:纯电阻电路

(4)图象:电源的伏安特性曲线　$U_{外}=E-Ir$

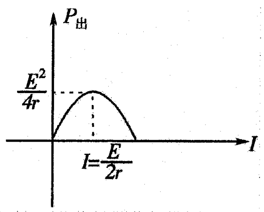


斜率为电源内阻 （看好横纵坐标起点值）

(5) $P_{输出}$ 与 I 或 $R_外$ 的关系

①$P_{输出}=U_外 I=EI-I^2r$ $U_外=E-U_内=E-Ir$ （普适）

②$P_{输出}=-r(I-\frac{E}{2r})^2+\frac{E^2}{4r}$ 当 $I=\frac{E}{2r}$ 时，$P_{输出max}=\frac{E^2}{4r}$

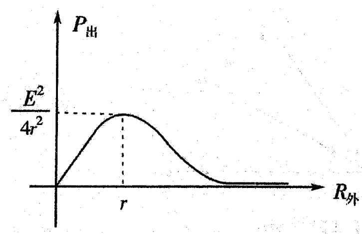


$\eta=\frac{U_外 I}{EI}=\frac{U_外}{E}\times100\%$，此时效率为50%

③$P_{输出}=\left(\frac{E}{r+R_外}\right)^2R_外$ 条件：纯电阻电路

$$=\frac{E^2}{\left(\frac{r}{\sqrt{R_外}}+\sqrt{R_外}\right)^2}$$

当 $r=R_外$ 时，$P_{输出}=\frac{E^2}{4r^2}$



$R_外\uparrow$ 时，$U_外\uparrow$，η 越高

二、电路分析

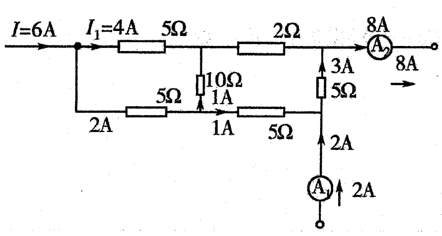
1. 电势分析：顺着电流分析

(1) 流经导线：$U=0$

(2) 流经电阻：$U_降=IR$

2. 电流守恒：任意节点用电器或电源电流流进的和一定等于流出的和.

例：



3. 串联电路

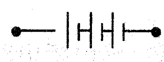
(1) 电流关系：$I_总=I_1=I_2=\cdots$

(2) 电压关系：$U_总=U_1+U_2+\cdots$

(3) 电阻关系：$R_总=R_1+R_2+\cdots$

(4) 功率关系：$P_总=P_1+P_2+\cdots$

(5) 电源串联：$\begin{cases}E_总=E_1+E_2+\cdots\\r_总=r_1+r_2+\cdots\end{cases}$



(6) 串联电阻的作用：起分压作用 $\begin{cases}U_1:U_2=R_1:R_2\\U_1:U_总=R_1:R_总\end{cases}$

4. 并联电路

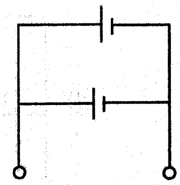
(1)电压关系:$U_{总}=U_1=U_2=\cdots$

(2)电流关系:$I_{总}=I_1+I_2+\cdots$

(3)电阻关系:$\dfrac{1}{R_{总}}=\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_2}+\cdots$ 两个电阻并联时,$R_{总}=\dfrac{R_1R_2}{R_1+R_2}$

(4)功率关系:$P_{总}=P_1+P_2+\cdots$

(5)电源并联$\begin{cases}E_{总}=E_1=E_2=\cdots \\ \dfrac{1}{r_{总}}=\dfrac{1}{r_1}+\dfrac{1}{r_2}+\cdots,r_{总}=\dfrac{r}{n}\end{cases}$ 条件:完全一样的电源并联.



(6)并联电阻的作用:起分流作用

$\begin{cases}I_1:I_2=R_2:R_1 \\ I_1:I_{总}=R_{总}:R_1\end{cases}$

(7)并联 R 与 ΔR 的特征

①$R_{并}$ 小于各支路的电阻

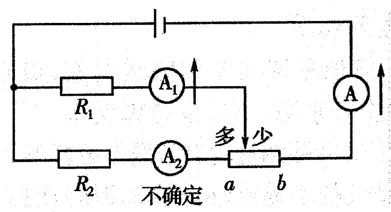
②$R_{并}$ 随支路电阻的↑而↑,随支路电阻的↓而↓

且当 $R_1 \ll R_2$ 时,$R_{并}=R_1$

5. 电路的动态分析

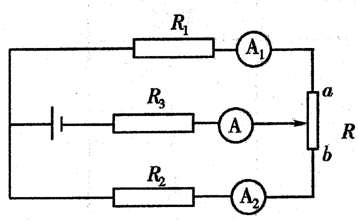
局部 $R\to$总电阻 $R\to$总电流→局部电压、电流由 $a\to b$ 有电表示数

(1)



(总增加量小于总减少量,$R\downarrow\Rightarrow I\uparrow$)

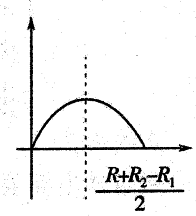
(2)



由 $a\to b$,三表示数变化

$$R_{总}=R_3+\frac{(R_1+r_1)(R_2+r_2)}{R_1+R_2+R}=R_3+\frac{R_1R_2+r_1(R-r_1)+R_2r_1+R_1(R-r_1)}{R_1+R_2+R}$$

$$=R_3+\frac{R_1R_2+(R+R_2-R_1)r_1-r_1^2}{R_1+R_2+R}$$



①$R_1=20\ \Omega,R_2=40\ \Omega,R(0\sim10\ \Omega)$ $R_{并}$ 一直↑$\Rightarrow R_{总}\uparrow\Rightarrow I_{总}\downarrow\Rightarrow U_{并}\uparrow\Rightarrow\begin{cases}I_2\downarrow \\ I_1\downarrow\end{cases}$

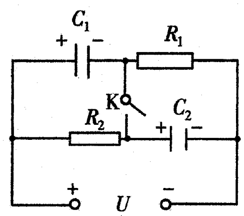
②$R_1=20\ \Omega,R_2=10\ \Omega,R(0\sim5\ \Omega)$ $R_{并}$ 一直↓$\Rightarrow R_{总}\downarrow\Rightarrow I_{总}\uparrow\Rightarrow U_{并}\downarrow\Rightarrow\begin{cases}I_1\downarrow \\ I_2\uparrow\end{cases}$

③$R_1=20\ \Omega,R_2=20\ \Omega,R(0\sim10\ \Omega)$ $R_{并}$ 先↑后↓$\Rightarrow R_{总}$ 先↑后↓

当 R 从 $0\to5\ \Omega$ 结果与①同 当 R 从 $5\to10\ \Omega$ 结果与②同

(3)含容电路

去掉含容支路后分析电路

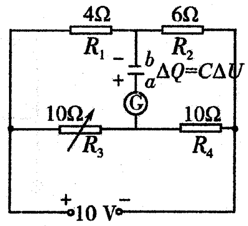
①


考虑极板正负

K 由断到闭,$\Delta Q=?$　　　$\Delta Q=C\cdot\Delta U$

$C_1:U\to U_{R_2}$

$C_2:U\to U_{R_1}$

②


当 R_3 从 $0\to10\ \Omega$ 时,$\Delta Q=?$

$0\ \Omega$ 时,$\varphi_a>\varphi_b,U_{ab}=4\ \text{V}$

$10\ \Omega$ 时,$\varphi_b>\varphi_a,U_{ba}=1\ \text{V}$　　$\Delta Q=1\times10^{-5}\ \text{C}$

当 $R_3=\dfrac{20}{3}\ \Omega$ 时,$U_{ab}=0\ \text{V}$

三、实验

考试大纲实验要求说明:

(1)要求会正确使用的仪器主要有:刻度尺、游标卡尺、螺旋测微器、天平、秒表、电火花计时器或电磁打点计时器、弹簧秤、电流表、电压表、多用电表、滑动变阻器、电阻箱等.

(2)要求认识误差问题在实验中的重要性,了解误差的概念,知道系统误差和偶然误差;知道用多次测量求平均值的方法减小偶然误差;能在某些实验中分析误差的主要来源;不要求计算误差.

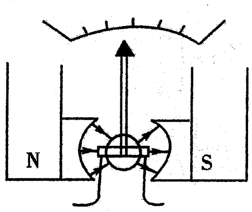
(3)要求知道有效数字的概念,会用有效数字表达直接测量的结果. 间接测量的有效数字运算不作要求.

培养学生实验设计的思想,掌握实验数据处理的方法,通过做过的实验能够进行知识的迁移,去解决一些新的实验问题.

内容	要求
欧姆定律	Ⅱ
电阻定律	Ⅰ
电阻的串联、并联	Ⅰ
电源的电动势和内阻	Ⅱ
闭合电路的欧姆定律	Ⅱ
电功率、焦耳定律	Ⅰ

△改表头

磁电式电流表:



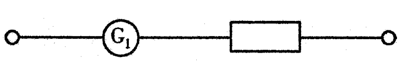
$BIL\cdot N_1=k\theta$

$I=\dfrac{k}{BLN_1}\theta$

1. 表头:I_g,R_g,U_g　　$U_g=I_g\cdot R_g$

2. 改成量程扩大 n 倍的电压表

(1)原理:串联 R 分压

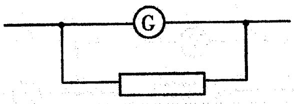
(2)电路图: 　　$I_g(R_g+R)=nU_g,U_g=I_g\cdot R_g$

(3)串联$\begin{cases} R=(n-1)R_g \\ R_v=nR_g \end{cases}$

(4)表盘刻度均匀

3. 改成大量程的电流表

(1)原理:并联分流

(2)电路图:

(3)$(n-1)I_g \cdot R_{并}=U_g=I_gR_g$

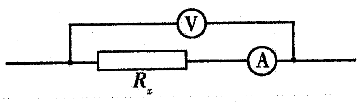
并联$\begin{cases} R_{并}=\dfrac{R_g}{n-1} \\ R_A=\dfrac{R_g}{n} \end{cases}$

(4)表盘刻度均匀

△电阻测量

1. 测量部分　　　　　　　“内大外小真中间”

(1)内接法



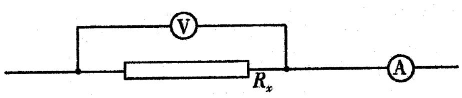
①误差:$R_{测}=R_x+R_A$　偏大

②条件:$R_A \ll R_x$,$\dfrac{R_x}{R_A}>\dfrac{R_V}{R_x}$

试触法:外接、内接一次,得$\begin{cases} U_1、I_1 \\ U_2、I_2 \end{cases}$　　$\begin{cases} \dfrac{\Delta U}{U_1}更大,外接 \\ \dfrac{\Delta I}{I_1}更大,内接 \end{cases}$

比较$\dfrac{\Delta U}{U_1}$与$\dfrac{\Delta I}{I_1}$

(2)外接法



①误差:$R_{测}=\dfrac{R_A}{R_x+R_A}\cdot R_x$　　偏小

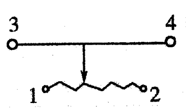
②条件:$R_x \ll R_V$,$\dfrac{R_V}{R_x}>\dfrac{R_x}{R_A}$

2. 供电部分

Ⓥ、Ⓐ　示数越大,精度越高,最小示数$\dfrac{1}{3}V/A$

(1)滑动变阻器

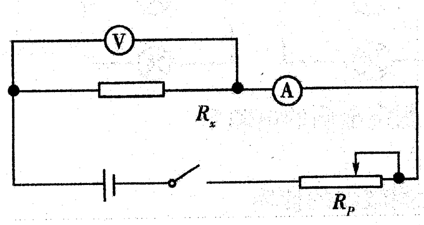
①结构:



②作用:调节、保护

③精度:量程够用选小量程

(2)限流电路



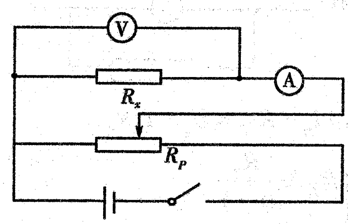
①$U_{测}$ 的调节范围：$\frac{R_x}{R_x+R}E \sim E$

②条件：$\begin{cases} R=2R_x \\ I_{额} \leqslant \frac{E}{R_x} \end{cases}$

(3)分压电路

①$U_{测}$ 的调节范围：$0 \sim E$

②条件：$\begin{cases} R_P \ll R_x \\ I_{额} \geqslant \frac{E}{R_x}+\frac{E}{R} \end{cases}$



(4)三种情况必选分压电路

①$I_{测}$、$U_{测}$ 要求从 0 开始变化

②限流电路的最小电流大于Ⓐ量程

③当 $R_P \ll R_x$ 时

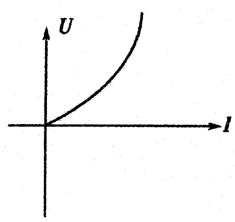
△实验：描述小灯泡的伏安特性曲线

1. 分压电路

2. 外接法

3. 表：Ⓥ 3 V/15 V Ⓐ 0.6 A/3 A

4. 图象

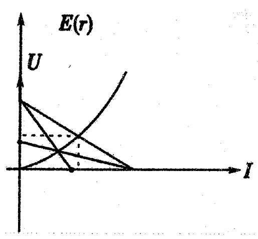


测灯泡伏安特性曲线：分压外接

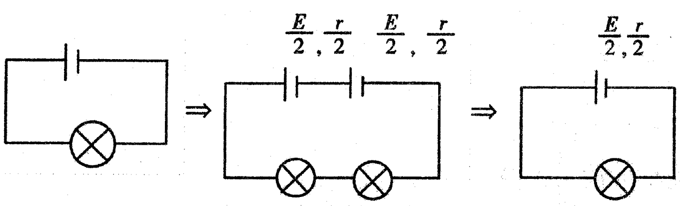
测金属电阻率：限流外接

5. 数据处理

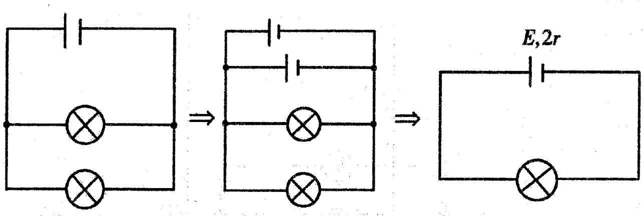
(1)$E(r)$



若为



若为



△实验：测定金属的电阻率

1. 测长度

(1)螺旋测微器的使用

(2)刻度尺测 L,连入电路再测长度

2. 测电阻

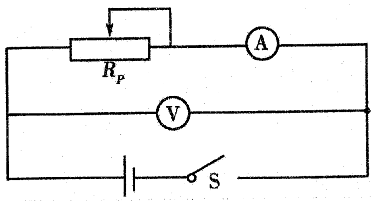
(1)外接法

(2)一般情况限流电路

3. 选表

Ⓥ　3 V　　Ⓐ　0 ~ 0.6 A

△实验:测电源电动势与内阻

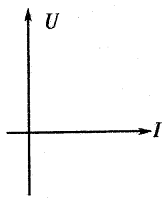


$\begin{cases}长时间通电\ I\leqslant 0.3\ \text{A}\\ 短时间通电\ I\leqslant 0.5\ \text{A}\end{cases}$

1. R_P 的选择,对于干电池,20 Ω 左右

2. Ⓥ　3 V　　Ⓐ　0.6 A

3. 画 $U-I$ 图象



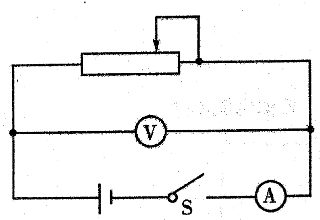
U 轴一般不从“0”开始

4. 误差分析

$$U=E-\left(I+\frac{U}{R_V}\right)r$$

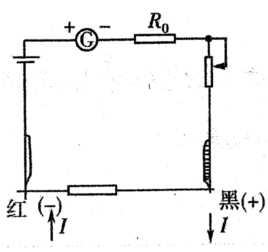
$$U=\frac{R_V}{R_V+r}E-I\cdot\frac{R_V}{R_V+r}r$$

$$\begin{cases}E_{真}=\dfrac{R_V}{R_V+r}<E_{真}\\ r_{测}=\dfrac{R_V}{R_V+r}<r_{真}\end{cases}$$



△欧姆表

1. 原理



红进黑出　　$R_{测}=\left(\frac{I_g}{I}-1\right)R_{\Omega}$

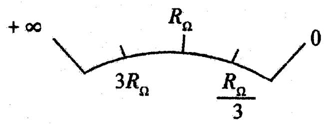
2. 欧姆调零　　估读$\begin{cases}十分度,估读到下一位\\ 非十分度,估读到本位\end{cases}$

红、黑表笔短接,调零旋钮,$I=I_g$

$E=I\ (R_G+R_0+r+R_{其})=I_g\cdot R_{内}$

$I_gR_{\Omega}=E=I(R_{\Omega}+R_0)$

$\therefore R_x=\left(\frac{I_g}{I}-1\right)R_\Omega$



表盘中值电阻等于欧姆表内阻

3. 表盘刻度不均匀($\frac{1}{3}\sim\frac{2}{3}$)

4. 注意:

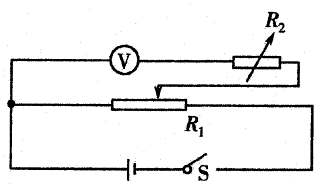
(1)每换一次倍率必须进行一次调零

(2)使用完毕,选择开关"OFF"挡或交流电压最大挡

△电表电阻测量

1. 测电压表内阻

(近似电压不变)



(1)过程:

①调 R_1,闭合 S,$R_2=0$,$U=U_g$,之后,只调 R_2,使 $U=\frac{1}{2}U_g$,则 $R_V=R_2$

②闭合 S,调 R_1 与 R_2,使 $U=U_1$,之后,只调 R_2 为 $R'_2(R'_2>R_2)$,$U=U_2$

则 $R_V=\frac{U_2R'_2-U'_2R_2}{U_1-U_2}$ $\qquad$ $\frac{R_2}{R_V}U_1+U_1=\frac{R'_2}{R_V}U_2+U'_2$

(2)误差分析

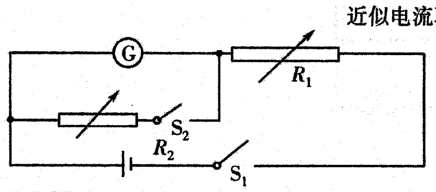
①中 $R_测=R_2>R_真$

②中 $R_测=\frac{U_2R'_2-U_1R_2}{U_1-U_2}>R_真$

2. 测电流表内阻

(1)图

近似电流不变



(2)过程:

①闭合 S_1,断开 S_2,调 R_1,使$\Rightarrow I=I_g$ 之后闭合 S_1,只调 R_2,使 $I=\frac{1}{2}I_g$,则 $R_A=R_g$

②闭合 S_1,S_2 调 R_1,R_2,使 $I=I_1$ 之后调小 R_2,使 $I=I_2\Rightarrow R'_2$.

$I_1+\frac{I_1R_g}{R_2}=I_2+\frac{I_2R_g}{R'_2}$

(3)误差:①中 $R_测<R_真$ ②中 $R_测<R_真$ $\qquad$ (Ⓥ 内阻测量值偏大,Ⓐ 内阻测量值偏小)

第十章 磁 场

一、磁现象

1. 现象：天然的，吸引铁质物体的现象
2. 磁性：吸引铁质物体的性质
3. 磁石：$\begin{cases}\text{磁极：磁石磁性最强的区域}\\\text{特性：指南北}\end{cases}$
4. 磁本质：

(1)奥斯特实验：①一切运动电荷都可以产生磁 ②环形电流的磁场与小磁针的磁场一样

(2)安培分子环流假说：

磁石的磁也起源于运动电荷.

(3)磁现象，电本质.

二、磁场

1. 定义：客观存在，特殊物质（带电流的物体叫做磁体）
2. 性质：力的性质
3. 方向：矢量，N 极的指向为磁场方向
4. 电流元：一小段通电导线的电流与长度的乘积
5. 规律：

(1)$\theta=0°, F=0$

(2)$\theta\neq0°, F\neq0$ 且在任意一个确定的夹角时，$\frac{F}{IL}$不变

6. 磁感应强度(B)

(1)定义：当通电导线垂直磁场方向，把通电导线受力与 IL 比值定义为该点的磁感应强度.

(2)表达式：$B=\frac{F}{IL}$

(3)方向：矢量，小磁针 N 极指向

(4)单位：T　$1\ \mathrm{T}=1\ \mathrm{N/A\cdot m}$

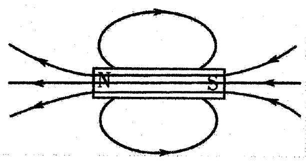
(5)物理意义：表示单位电流元在磁场中，垂直磁场时受到的力，描述了磁场的自身属性，反映了磁场的强弱.

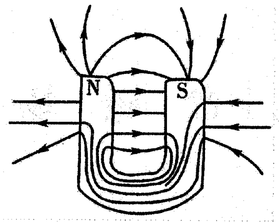
7. 磁感线

内容	要求	说明
1. 磁场、磁感应强度、磁感线	Ⅰ	1. 安培力的计算限于直导线跟 B 平行或垂直的两种情况 2. 洛伦兹力的计算限于 v 跟 B 平行或垂直的两种情况
2. 通电直导线和通电线圈周围磁场的方向	Ⅰ	
3. 安培力、安培力的方向	Ⅰ	
4. 匀强磁场中的安培力	Ⅱ	
5. 洛伦兹力、洛伦兹力的方向	Ⅰ	
6. 洛伦兹力的公式	Ⅱ	
7. 带电粒子在匀强磁场中的运动	Ⅱ	
8. 质谱仪，回旋加速器	Ⅰ	

(1)几种特殊场

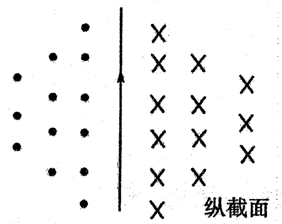
①

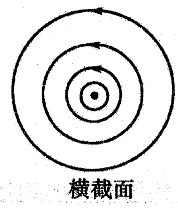




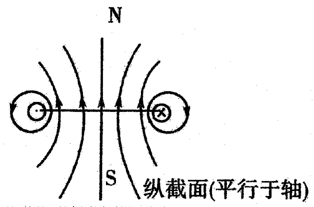
疏密反映强弱

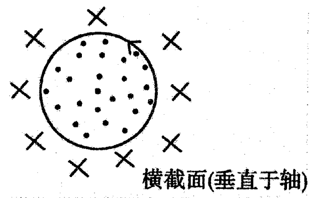
②通电导线磁场



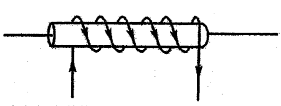


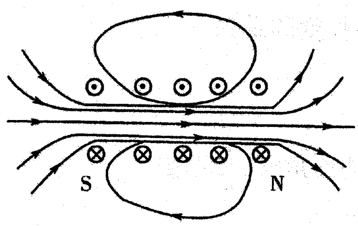
③

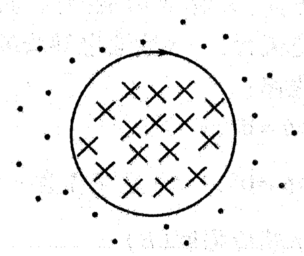




④通电螺线管







(2)特点:

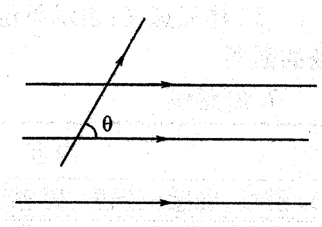
①假想的闭合曲线:磁石内 S→N,磁石外 N→S

②疏密表示强弱,某点切线方向表示该点磁场方向

③任意两条磁感线不相交/切

右手定则(左力右电):拇指指轴线,四指指另一物理量

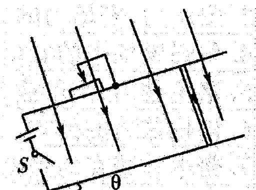
三、安培力



1. 表达式:$F=BIL$
2. 条件:导线垂直 B
3. 当导线与场成 θ 角时,$F=BIL\sin\theta$
4. 方向:左手定则
   $F_{安}\perp B$ 与 I 确定的平面
5. 应用

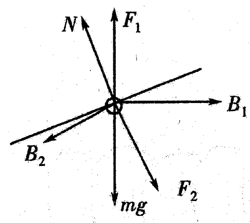
(1)应用,定量计算

例 1:



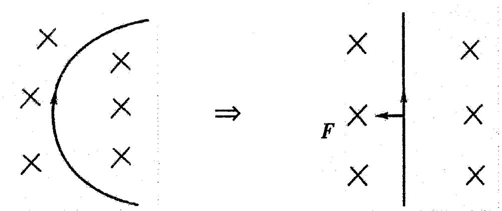
①$m,L,f_{max}(mg\sin\theta>f_{max})$　　棒不动

②$m,L,I,f=0$,棒不动,$B\perp$棒



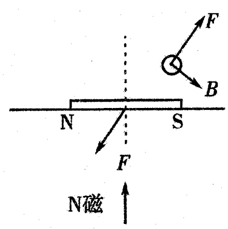
例 2: 弯曲导线$\perp B$时

等效为导线首末两端相连的"新"导线. (垂直于 B 的部分)

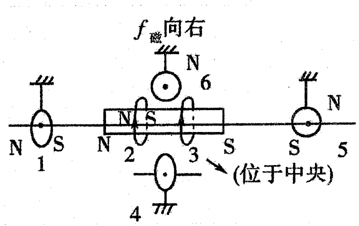


(2)应用:定性分析

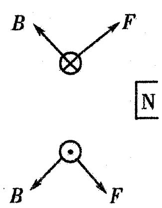
例 1: 磁石与通电导线的作用

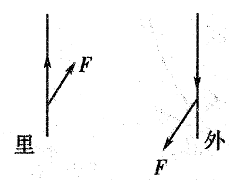
① 

$N_{磁}\uparrow$, $f_{磁}$ 向右

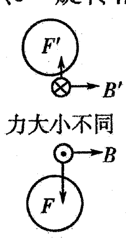
② 

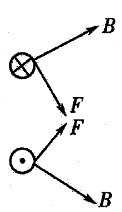
1. 右 2. 右 3. 不动 4. 相离 5. 逆顺 6. 旋转相吸

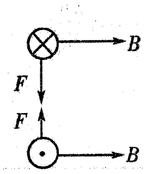
分析位置 1: 

分析位置 6: 

逆项
5、6 旋转相吸

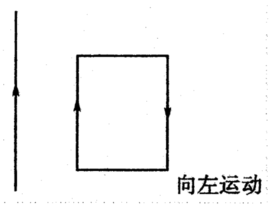


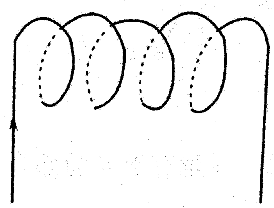
分析位置 2: 

分析位置 3: 

例 2:电流与电流之间的相互作用

$\begin{cases}\text{同向电流相吸}\\\text{反向电流相斥}\end{cases}$





四、洛伦兹力

1. 表达式:$\begin{cases}v\perp B, F=Bqv\\v\text{ 与 }B\text{ 成 }\theta\text{ 角}, F=Bqv\sin\theta\end{cases}$

2. 方向判断:左手定则　$F_{安}=n\cdot f_{洛}$　　$f\perp$平面(v 与 B 确定的)

3. 粒子只在 f 作用下($v\perp B$ 时)做匀速圆周运动

$$\begin{cases}qvB=mv^2/r, r=\dfrac{mv}{qB}\\qvB=m\dfrac{4\pi^2}{T^2}r, T=\dfrac{2\pi m}{Bq}\end{cases}$$

4. 特征

(1)相同粒子在磁场中旋转时 T 相等,与 v 无关.

(2)相同电性的粒子旋转方向相同.

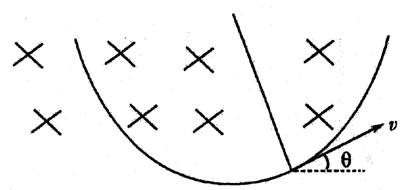
5. 问题

(1)位置(距离):r,θ　　(速度方向改变角 = 轨迹圆心角)

(2)时间:T,θ

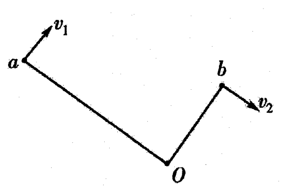
6. 确定轨迹

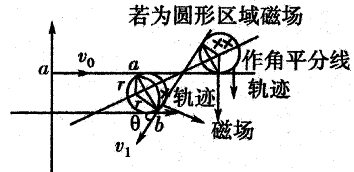
(1)已知 r 及一个位置 v 方向



$r=\dfrac{mv}{qB}$

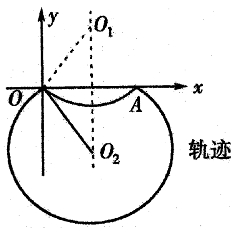
(2)知两处 v 方向或两 v 方向及半径





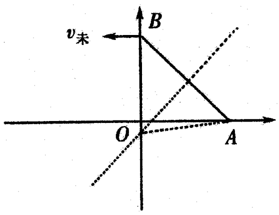
m,v,q,B 已知　$r=\dfrac{mv}{Bq}$

(3)知 r 及轨迹一条弦

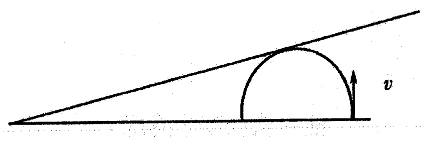


$r=\dfrac{mv}{Bq}$

(4)知一处 v 方向及一条弦



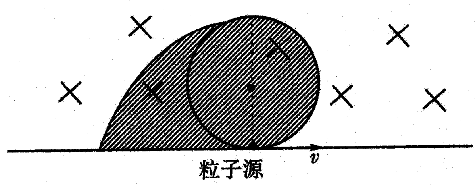
(5)临界条件:相切或过某点



五、粒子在磁场中的运动

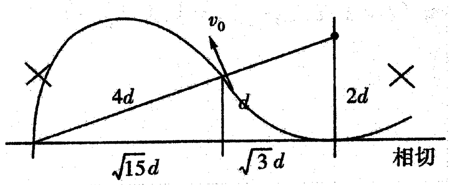
1. 旋转轨迹圆法:v 方向不确定,大小确定

(1)粒子到达区域 S



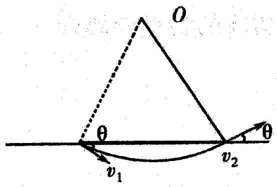
(2)边界上有粒子离开的范围

$\dfrac{mv}{Bq}=2d$

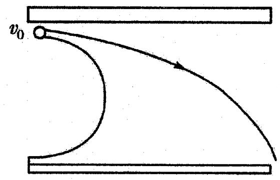


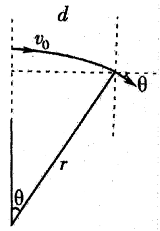
2. 直线边界磁场

(1)从同一直线边界进入,从同一直线边界飞出,与边界的夹角相等



(2)两个直线边界

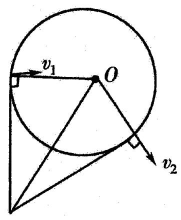




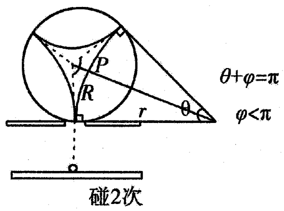
$$\begin{cases}\sin\theta=\dfrac{d}{r}\\(r-y)^2+d^2=r^2\end{cases}$$

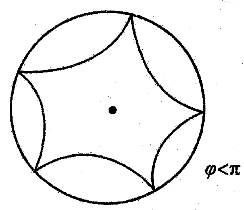
3. 圆形边界的磁场

(1)沿半径飞入,一定沿半径飞出

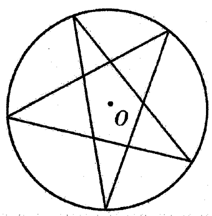


例:





碰4次(两种情况)

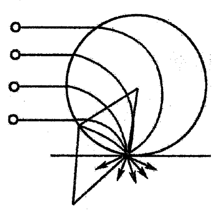


碰 n 次后又从原孔飞出,有$\begin{cases}\theta+\varphi=\pi\\\varphi<\pi\\(n+1)\varphi=2k\pi\ (k=1,2,3,\cdots,n=1,2,3,\cdots)\end{cases}$

$\tan\dfrac{\theta}{2}=\dfrac{R}{r}$,$r=\dfrac{mv}{Bq}$,$t=\dfrac{\theta}{2\pi}\cdot T(n+1)\left(\dfrac{2\pi m}{Bq}\right)$

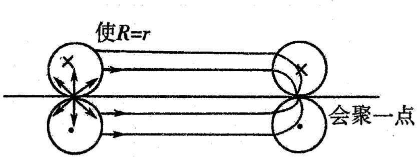
$(t=\dfrac{\theta}{2\pi}T)$

(2)$r=R$ 时,

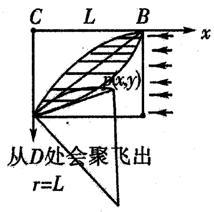


粒子只从与初速平行的圆的切线的切点处离开

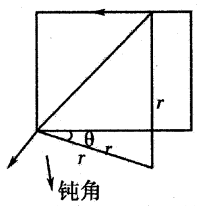
例1:



(磁会聚)

例 2：

只在方块内有磁场
求磁场面积最小值



$r^2\cos^2\theta+(r-L)^2=r^2\Rightarrow\cos^2\theta=\dfrac{2rL-L^2}{r^2}$

又 $r\cos\theta\leqslant L,\cos^2\theta\leqslant\dfrac{L^2}{r^2}$则$\dfrac{2rL-L^2}{r^2}\leqslant\dfrac{L^2}{r^2}$

$\therefore r\leqslant L$ 又 $r\geqslant L$

$\therefore$ 只能从 B 进入磁场

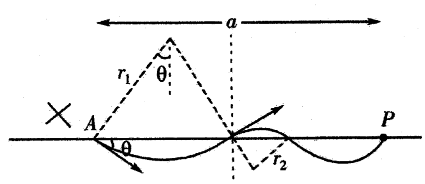
$r=L$

以 C 为原点，CB 为 x 轴，CD 为 y 轴，对于 $\forall$ 粒子从 $P(x,y)$ 进入磁场 $x^2+y^2=L^2$

4. 组合场

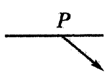
(1)B_1 与 B_2 组合

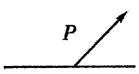
①直边界

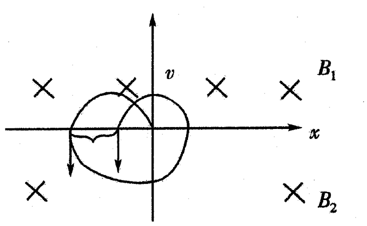


若过 P 点，求时间.

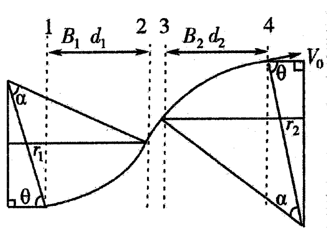
轨迹的变化具有周期性$\begin{cases}\Delta x=2(r_1+r_2)\sin\theta\\ \Delta T=\dfrac{2\theta}{2\pi}(T_1+T_2)\end{cases}$

1)  $\begin{cases}a=n\cdot\Delta x,\\ t=n\cdot\Delta t\end{cases}$ $n=1,2,3,\cdots$

2)  $\begin{cases}a=2r_1\sin\theta+k\Delta x\\ t=\dfrac{2\theta}{2\pi}T_1+k\cdot\Delta T\end{cases}$ $k=0,1,2,3,\cdots$

例：

x 轴为边界，粒子由 y 正轴射出，若再次回到原点有 $\dfrac{2mv}{B_1q}=n\left(\dfrac{2mv}{B_2q}-\dfrac{2mv}{B_1q}\right)$ $(n=1,2,3,\cdots)$

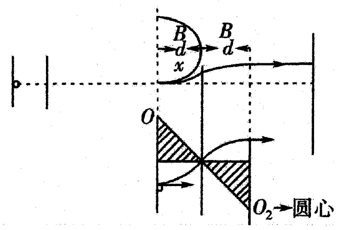
② 

从 4 边飞出时与初速平行，则 B_1d_1,B_2d_2 的条件

$$d_1 = r_1\sin\left(\alpha + \frac{\pi}{2} - \theta\right) - r_1\cos\theta$$

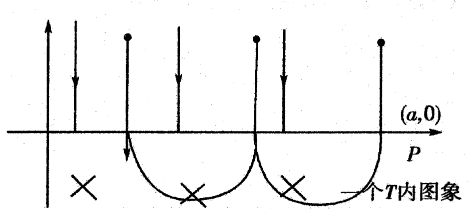
$$d_2 = r_2\sin\left(\alpha + \frac{\pi}{2} - \theta\right) - r_2\cos\theta$$

$\therefore \frac{d_1}{d_2} = \frac{r_1}{r_2}$ 又 $r = \frac{mv}{Bq}$ $\quad\therefore B_1d_1 = B_2d_2$



(2)电场与磁场组合

①$E\perp$边界



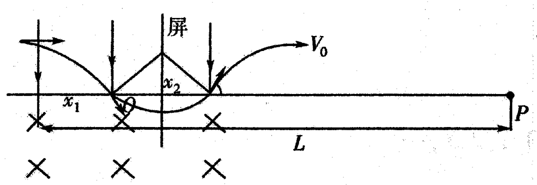
$\begin{cases}\text{空间上的周期性}:\Delta x = 2r\\ \text{时间上的周期性}:T = 2t_{电} + t_{磁}\end{cases}$

例:若粒子运动到 P 点,求释放点的坐标.

$a - x = n\cdot\Delta x, n = 0,1,2,3,\cdots$ 只有当 $n = 0$ 时,$x = a, y > 0$ ∀

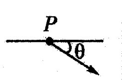
$t = nT \pm t_{电}, n = 1,2,3,\cdots$($n = 0$ 时单独验证)

②粒子在电场中发生偏转

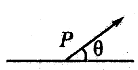


$\begin{cases}\text{空间上的周期性}:\Delta x = 2x_1 + x_2\\ \text{时间上的周期性}:T = 2t_{电} + t_{磁}\end{cases}$

例:若粒子过 P 点,有



$\begin{cases}L = x_1 + n\cdot\Delta x, n = 0,1,2,\cdots\\ t = t_{电} + n\cdot T, n = 0,1,2,\cdots\end{cases}$



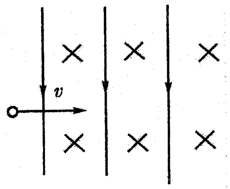
$\begin{cases}L = x_1 + x_2 + k\cdot\Delta x\\ t = t_{电} + t_{磁} + k\cdot T\end{cases}$ $k = 0,1,2,\cdots$

若有一屏使粒子垂直射到屏上,则 $L_{屏} = n\cdot\frac{\Delta x}{2}, n = 1,2,3,\cdots$

5. 叠加场

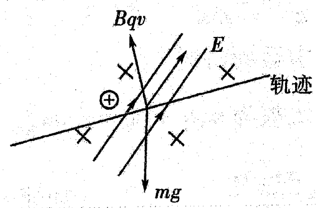
(1)$E + g + B$

①匀速直线运动:$\Sigma F = 0$



$$Bqv = Eq + mg$$

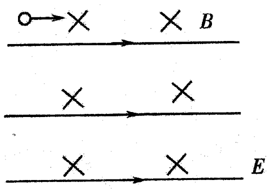
例:带电物体由下向上直线运动,求 E 及粒子电性.



(只能作匀速直线运动)

②匀速圆周运动:$Eq = mg$

③其他类型,如

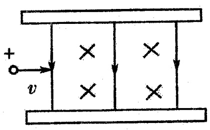


(2)$E + B$

①速度选择器

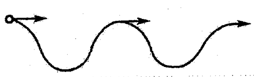
1)条件:$v = \dfrac{E}{B}$

2)E,B,v 方向组合,确定不唯一.



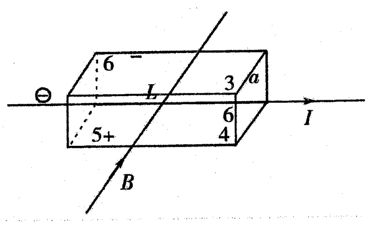
$Eq = Bqv, v = \dfrac{E}{B}$

若一粒子进入速度选择器$\begin{cases} v > \dfrac{E}{B}, \text{向洛伦兹力方向偏转}, v \text{变小} \\ v < \dfrac{E}{B}, \text{向电场方向偏转}, v \text{变大} \end{cases}$

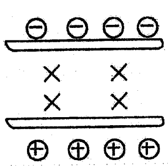


粒子轨迹

②霍尔效应



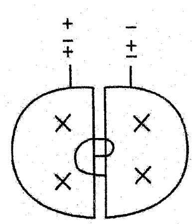
$\begin{cases} \varphi_1 > \varphi_2 \\ \varphi_4 > \varphi_3 \end{cases}$



$\begin{cases} \dfrac{U}{b}e = evB \Rightarrow U = vBb \\ I = ne \cdot S \cdot v = neabv \end{cases}$ $\therefore U = \dfrac{IB}{nea}$

③回旋加速器

1)结构



2)交变电源:$T_{交} = T_{磁}$

3)最大速度:$r\leqslant R$ $\quad v_{\max}=\dfrac{qBR}{m}$

4)求时间

电场中运动时间:

$t_{电}=\dfrac{v_m}{a},a=\dfrac{Uq}{md}$ $\quad$ 则 $t_{电}=\dfrac{BRd}{U}$

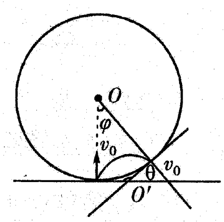
磁场中运动时间:

加速次数为 n,$n\cdot Uq=\dfrac{1}{2}mv_{\max}^2$ $\quad T=\dfrac{2\pi m}{Bq}$

$\therefore n=\dfrac{mv_m^2ax}{2Uq}$ $\quad$ (加速一次$\dfrac{T_{磁}}{2}$) $\quad t_{磁}=\dfrac{\pi BR^2}{2U}$

若 $R\ll d$,则 $t_{电}=\dfrac{BRd}{U},T_{磁}=\dfrac{\pi BR^2}{2U}$ $\quad \dfrac{t_{电}}{t_{磁}}=\dfrac{2d}{\pi R}=0$ $\quad$ 则 $t_{电}$ 可忽略

例1:知 B,q,m,R.一束粒子以不同速度 $v_0\sim nv_0$ 沿着 R 方向进入磁场,求 $t_{\min}$.



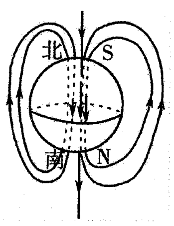
$t=\dfrac{\theta}{2\pi}\cdot T,T=\dfrac{2\pi m}{Bq}$

$t_{\min}\rightarrow\theta_{\min}\rightarrow\varphi_{\max}$

$\begin{cases}\text{又}\tan\dfrac{\theta}{2}=\dfrac{R}{r}\\ r=\dfrac{mv}{Bq}\end{cases}\Rightarrow\tan\dfrac{\theta}{2}=\dfrac{BqR}{mv}$

$\theta_{\min}\rightarrow v_{\max}=n\cdot v_0$

6. 地磁场



地磁场

$\begin{cases}\text{竖直:从南}\rightarrow\text{赤道}\rightarrow\text{北}\\ \qquad\text{向上最大}\xrightarrow{\text{减小}}0\xrightarrow{\text{增大}}\text{向下最大}\\ \text{水平:}0\xrightarrow{\text{增大}}\text{向北最大}\xrightarrow{\text{减小}}0\end{cases}$

第十一章　电磁感应

一、电磁感应现象

1. 定义:由磁得到电的现象.
2. 条件:(1)闭合线圈　(2)Φ 变化
3. 法拉第

(1)变化磁场$\begin{cases}\text{变化电流}\\\text{运动磁石}\end{cases}$

(2)变化的面积:导线运动

4. 磁通量

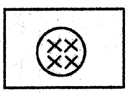
(1)定义:垂直截面的磁感应强度与该截面面积的乘积定义为穿过此截面的磁通量.

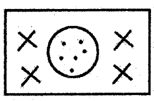
(2)定义式:$\varphi = B \cdot S \cdot \cos\theta$

(3)标量,有正负,单位:韦伯(Wb)　$\begin{cases}\text{“}+\text{”}:0 \leqslant \theta \leqslant 90^\circ\\\text{“}-\text{”}:90^\circ < \theta \leqslant 180^\circ\end{cases}$

(4)物理意义:描述穿过某一横截面的磁场强弱. 可以用穿过该面的磁感线的条数表示磁通量来定性分析.

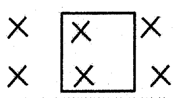
(5)Φ 及 $\Delta\Phi$ 的计算

例 1: 　$S \Rightarrow$ 有效面积

例 2:  $\underset{(\cdot)}{B_1} = 1\text{T}, \underset{(\times)}{B_2} = 0.2\text{T}, S_1 = 0.1\ \text{m}^2, S_2 = 0.5\ \text{m}^2$

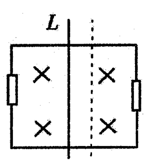
求穿过正方形截面的磁通量 Φ.

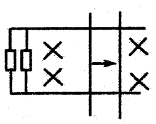
$\Phi = \Phi_{圆} + \Phi_{方} = 0.1\ \text{Wb} - 0.08\ \text{Wb} = 0.02\ \text{Wb}$

例 3: 　有 $\varphi = BS$ 时,转过 θ 角后,求 $\Delta\Phi$.

$\theta_1 = 60^\circ$时,$\Delta\Phi = \frac{1}{2}BS$　　　$\theta_3 = 180^\circ$时,$\Delta\Phi = 2BS$

$\theta_2 = 90^\circ$时,$\Delta\Phi = BS$　　　$\theta_4 = 360^\circ$时,$\Delta\Phi = 0$

例 4: 　L 右移 s 距离,求 Φ 是否变化.　　(求 E 用动生电动势)

$\Delta\Phi = BLS$　　$E = n \cdot \dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$　

二、楞次定律

1. 表述

表述 1:感应电流磁场总要阻碍引起感应电流的磁通量的变化.

表述2:感应电流受到的安培力的运动效果阻碍线圈磁通量的变化.

表述3:由相对运动引起的电磁感应现象,感应电流受到的安培力的运动效果阻碍相对运动.

2. 应用

(1)确定原磁场的穿过方向

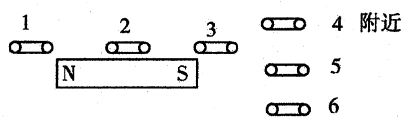
(2)确定原磁场磁通变化

(3)确定感应磁场的穿过方向

(4)根据右手定则,确定感应电流方向

例1:磁石+线圈

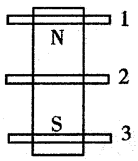
(1)



1	2	3	4	5	6
逆	逆	逆	顺	顺	顺

2 逆 ↓ 连续性

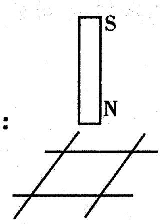
(2)

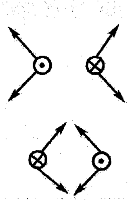


1	2	3
顺	无	逆

$\begin{cases} \text{过程中:楞次定律} \\ \text{极值处:法拉第电磁感应定律 } E=n\cdot\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} \end{cases}$

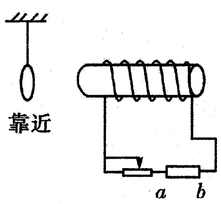
例2:





N动→N达平面	逆	面积$S\downarrow$	向下
N在平面→中心在平面	逆	面积$S\uparrow$	向下
中心在平面→S达平面	顺	面积$S\downarrow$	向下
S在平面↓远离	顺	面积$S\uparrow$	向下

例3:



滑片如何运动? 向左

a,b谁是"+" 均可

例4:

振幅越来越小 (机械能→电流)

(阻碍相对运动)

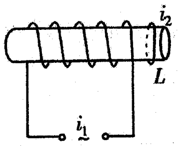
三、法拉第电磁感应定律

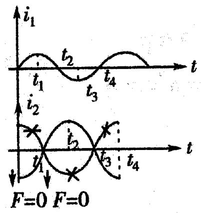
1. 内容:$E=n\cdot\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ $\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$:$\Phi$的变化率($\varphi-t$图象的斜率)

2. 两种方式:

(1)只有磁场发生变化

感生电动势 $E=n\cdot\dfrac{\Delta B}{\Delta t}\cdot S,E\propto\dfrac{\Delta B}{\Delta t}$

例：



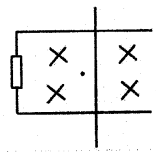
$E\propto\dfrac{\Delta B}{\Delta t}\propto\dfrac{\Delta i_1}{\Delta t}$　　　$0\sim t_1$，L 与螺线管之间安培力先↑后↓.

(2)动生电动势，　$E=BLv$

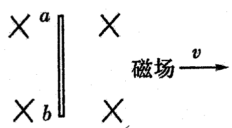
四、导体棒切割磁场

1. $E=BLv$

2. 条件：B、L、D 三者相互垂直



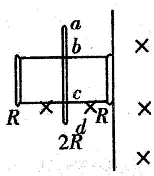
3. v：相对于磁场的速度



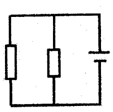
4. 右手定则：拇指为 v 方向，四指为 $I_{感}$ 方向
5. 等效切割长度
6. 旋转切割

五、应用

1. 图像 $i-t$，$u-t$，$F-t$



$0\sim x$

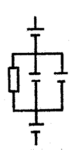


$E=B\cdot L\cdot v$

$I=\dfrac{2BLv}{3R}$，$I_1=\dfrac{BLv}{3R}$，$U_{ad}=U_{bc}=\dfrac{BLv}{3}$

$F=B\cdot I\cdot L$

$0\sim 2x$



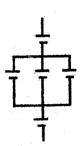
$E=B\cdot L\cdot v$

$I=\dfrac{2BLv}{3R}$，$I_2=\dfrac{BLv}{3R}$，$U_{bc}=\dfrac{2}{3}BLv$

$F=BIL$

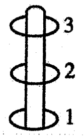
$U_{ad}=BLv+\dfrac{2}{3}BLv=\dfrac{5}{3}BLv$

画图象



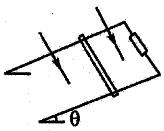
$I_{ab}=0$，$U_{bc}=BLv$，$U_{ad}=2BLv$　　$F=0\Rightarrow I=0$

2. 力学综合

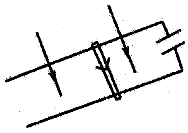
例1: 

先后经过1,2,3位置　　$a_{上} > a_{下}$

比较 a_1, a_2, a_3 与 a_1', a_2', a_3'　　$a_2 = a'_2 = g$　　$a_1 > a_3 > g = a_2 = a'_2 > a'_3 > a'_1$

例2: 

$mg\sin\theta - B\cdot\frac{BLv}{R}\cdot L = ma$, $a=0$ 时, $v = v_m$ 匀速　　($q = n\cdot\frac{\Delta\Phi}{R}$不变)

例3: 

$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{C\cdot\Delta U}{\Delta t} = \frac{C\cdot B\cdot L\cdot\Delta v}{\Delta t} = B\cdot L\cdot Ca$

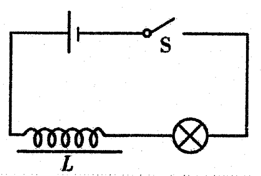
$mg\sin\theta - B^2L^2Ca = ma$　可知 a 为常数

六、自感

1. 由自身电流变化引起的电磁感应现象.

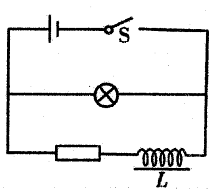
2. 两种形式

(1)通电自感:产生反向的感应电流

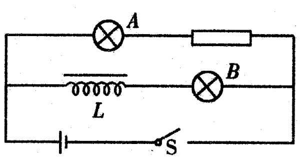


本质:没有改变电流变化的结果,延续了电路中电流变化的过程.

(2)断电自感

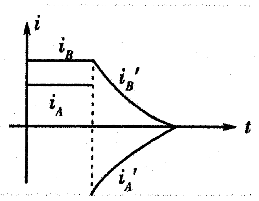


会产生同向的感应电流

例: 

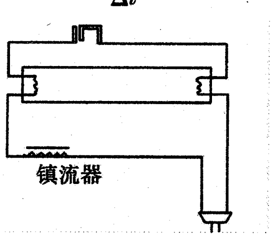
闭合电路:A 正常亮,B 逐渐变亮

断开电路:A 瞬间变亮后与 B 一起逐渐熄灭



3. 应用:日光灯的工作原理

$E_{自感} = L\cdot\frac{\Delta I}{\Delta t}$　　自感系数:单位:亨利(H)



镇流器:提供瞬时高压,稳压限流.

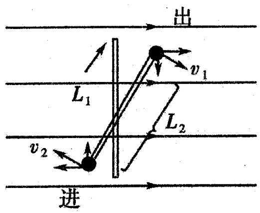
第十二章　交流电

一、正弦交流电的产生

1. 产生条件：(1)匀强磁场　(2)匀速转动　(3)轴在线圈平面上且和 B 垂直

2. 表达式

(1) $t=0$ 时，在中性面（与 B 垂直的平面）位置时



$E_1=BL_1v_1\sin\theta$

$E_2=BL_1v_2\sin\theta$

$\therefore E=BL_1\omega L_2\sin\theta=BL_1L_2\omega\cdot\sin(\omega t)$

①$e(t)=nBs\omega\cdot\sin(\omega t)=E_m\cdot\sin(\omega t)$

②$i(t)=I_m\cdot\sin(\omega t)$

③$U(t)=U_m\cdot\sin(\omega t)$

(2) $t=0$ 时，线圈⊥中性面位置时

①$e(t)=nBs\omega\cdot\cos(\omega t)=E_m\cdot\cos(\omega t)$

②$i(t)=I_m\cdot\cos(\omega t)$

③$U(t)=U_m\cdot\cos(\omega t)$

二、正弦式交流电描述

1. 峰值：

(1) $E_m=nBs\omega$

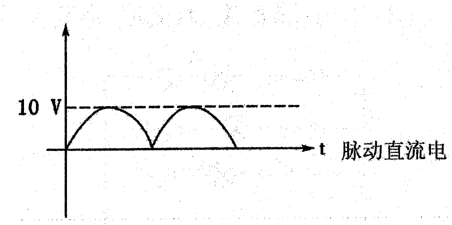
(2) $U_m=\dfrac{R}{R+r}\cdot E_m$

(3) $I_m=\dfrac{E_m}{R+r}$

2. 平均值 $\overline{E}=n\cdot\dfrac{\Delta\varphi}{\Delta t}$　　　$q=\overline{I}t=n\dfrac{\Delta\varphi}{R+r}$

3. 有效值：若某一直流电与交流电在相等时间对同一电阻产热相同，则把直流电的值叫做交流电的有效值.

$I=\dfrac{10\ \text{V}}{\sqrt{2}}=7.07\ \text{V}$

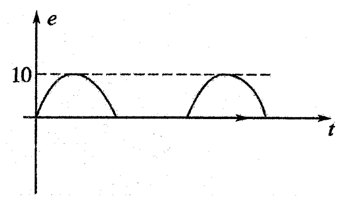


(1) $E=\dfrac{E_m}{I_2}$　　$\left(\dfrac{1}{\sqrt{2}}=0.707\right)$

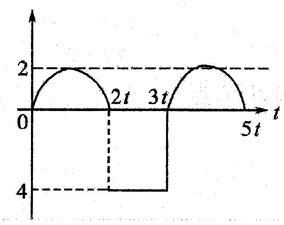
(2) $U=\dfrac{U_m}{\sqrt{2}}$

(3) $I=\dfrac{I_m}{\sqrt{2}}$

（半个周期整数倍内成立）



1 个 T 内，$\frac{E^2}{R}\times 2t=\frac{\left(\frac{10}{\sqrt{2}}\right)^2}{R}t$　$\therefore E=5\ \mathrm{V}$



1 个 T 内，$\frac{E^2}{R}\times 3t=\frac{\left(\frac{2}{\sqrt{2}}\right)^2}{R}\times 2t+\frac{4^2}{R}t$

$\therefore E=\frac{2}{3}\sqrt{5}\ \mathrm{V}$

使用情况：(1)所有交流电表所测的值为有效值

(2)所有交流用电器所标的值为有效值

(3)所有与热效应有关的计算，必用有效值

而电压器的耐压值为瞬时值.

4. 周期与频率

$T=\frac{2\pi}{w},f=\frac{w}{2\pi}$　　1 个 T 内，两次经过中性面，电流变化 2 次.

例 1：$e(t)=100\sin(50\pi t)$　(V)的交流电，$N=50$ 匝$\Rightarrow w=50\pi,\varphi m=BS=\frac{1}{25\pi}$

(1)求 $t=0.005$ s 时的 e　　　$e=70.7\ \mathrm{V}$

(2)从 0 ~ 0.01 s 内，$\overline{E}$　　　$\overline{E}=N\cdot\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}=N\cdot\frac{B\cdot S}{0.01\ \mathrm{s}}=\frac{200}{\pi}(\mathrm{V})$

(3)写出 φ 与 t 的函数关系式　　$\varphi=\frac{1}{25\pi}\cos(50\pi t)\,\mathrm{wb}$

三、电感、电容对交流电的影响

1. 电感

(1)感抗：线圈对交流电的阻碍作用大小　$x_L=2\pi f\cdot L$　(Ω)

(2)作用：通直流，阻交流，通低频，阻高频

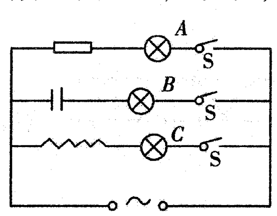
(3)扼流圈 $\begin{cases}\text{低频扼流圈：}L\text{ 很大}\\\text{高频扼流圈：对高频交流电阻碍作用强，}L\text{ 很小}\end{cases}$

2. 电容

(1)容抗：$x_c=\frac{1}{2\pi fc}$ (Ω)　电容对交流电的阻碍作用大小

(2)作用：隔直流，通交流，通高频，阻低频

例：



现亮度不变

①若只使 $f\uparrow$，则 A 不变，B 变暗，C 变亮

②若只增加有效值：则 A、B、C 均变亮，且一样亮（各自分压比相同）（f 不变）

四、变压器

1. 工作原理：互感

2. 工作规律：

(1) U 的关系：(线圈套在一个铁芯上) $\begin{cases} U_1 : U_2 : U_3 : \cdots = n_1 : n_2 : n_3 : \cdots \\ \text{输入 } U \text{ 决定输出 } U \end{cases}$

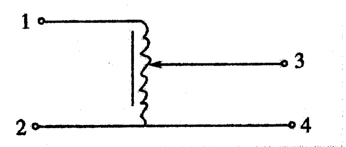
(2) I 的关系：$n_1I_1 = n_2I_2 + n_3I_3 + \cdots + n_mI_m$　　能量守恒

$\begin{cases} \text{推导：} U_1I_1 = U_2I_2 + \cdots + U_mI_m \Rightarrow n_1I_1 = n_2I_2 + \cdots + n_mI_m \\ \text{令} \dfrac{U_1}{n_1} = \dfrac{U_2}{n_2} = \cdots = k \\ \text{输出 } I \text{ 决定输入 } I\text{，但当副线圈空载时，原线圈中有电流.} \end{cases}$

(3) 功率的关系：$\begin{cases} \text{输出 } P \text{ 决定输入 } P \\ P_1 = P_2 + P_3 + \cdots \end{cases}$

3. 几种常用变压器

(1) 自耦变压器

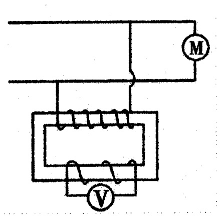


①升压：3，4 入端，1，2 出

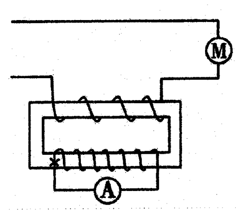
②降压：1，2 入端，3，4 出

(2) 互感器

①电压互感器



②电流互感器



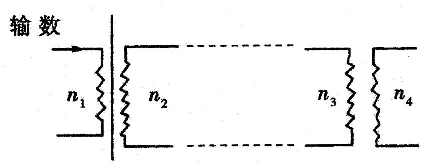
五、电能输送

1. 电能的损失　　$P_{出}$，$R_{线}$，$U_{输出}$

(1) $\Delta P_{损} = \left(\dfrac{P_{出}}{U_{出}}\right)^2 \cdot R_{线}$

(2) 降低 $\Delta P_{损}$ 方法：$\begin{cases} \text{提高 } U_{出} \\ \text{降低 } R_{线} \end{cases}$

2. 输电线路的设计



用电流计算

知 $U_{用}$，$P_{输}$，$U_{输}$，$R_{线}$，$\Delta P_{损}$，求 $\begin{cases} n_1 : n_2 \\ n_3 : n_4 \end{cases}$

$I_{输}=\frac{P_{输}}{U_{输}}$　　$I_{线}=\sqrt{\frac{\Delta P}{R}}$　　$\frac{I_{输}}{I_{线}}=\frac{n_2}{n_1}$

$I_{用}=\frac{P_{输}-\Delta P}{U_{用}},\frac{I_{线}}{I_{用}}=\frac{n_4}{n_3}$

$$\triangle\begin{cases}\text{安培力作负功}:E_{机}\xrightarrow{W_{安}}E_{电}\xrightarrow{W_{电}}Q\\ \text{安培力作正功}:E_{电}\xrightarrow{W_{安}}E_{机}\neq Q\end{cases}\qquad Q=W_{克安}=F\cdot x$$

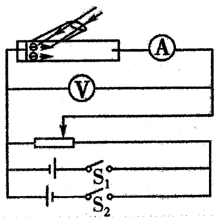
第十三章 原子物理

一、光的波粒二象性

1. 光电效应

(1)定义:光照在金属上,打出电子使金属带电的效应

(2)实验:

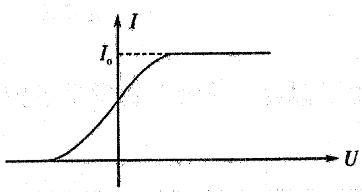


①存在极限频率 v_0,反映金属自身属性,$\Rightarrow v \geqslant v_0$,光电效应能发生的条件.

②光电效应的发生是瞬时的,时间 10^{-9}s.

③存在饱和光电流 I_0 且 $I_0 \alpha$ 光照.

④存在最大初动能 E_{km},E_{km}只与 ν 有关,ν 大时,E_{km}大.



当 $I_0=0$ 时的电压 U_0 定义为反向截止电压,$E_{km}=U_0 \cdot e$

(3)光子说

①光子:光的传播是不连续的,是一份一份的,每一份称为一个光量子,简称光子.

$E=h\nu \quad (h=6.63\times10^{-34}\ \mathrm{J\cdot s})$

②一个假设:光子与电子作用一对一

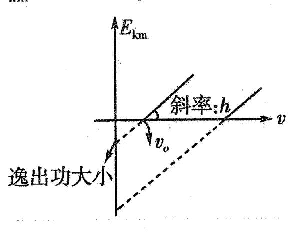
(4)逸出功:金属表面的电子克服金属板束缚所做的最小的功.

条件:$h\nu \geqslant W_0$,$\nu \geqslant \dfrac{W_0}{h}=\nu_0$

光照强度 $=\dfrac{Nh\nu}{t\cdot s}=n\cdot h\nu$($n$:单位时间,单位面积的光子数)

(5)光电效应方程

$E_{km}=h\nu-W_0$



2. 康普顿散射效应　　　　　($p=h\lambda$　光子有动量)

3. 光的波粒二象性

(1)波动性:(概率波):大量光子传播时表现出来的统计规律

(2)粒子性:(能量子):少量光子传播时表现出来的偶然性

长波　中波　短波

无线电流　微波　红外线　可见光　紫外线　x 射线　v 射线

$\begin{cases}\lambda \text{ 长}\\ \nu \text{ 小}\\ E \text{ 小}\end{cases}$ 　　　　$\begin{cases}\lambda \text{ 小}\\ \nu \text{ 大}\\ E \text{ 大}\end{cases}$

波动性强 ← 　　　　粒子性强 →

4. 物质波

(1)定义:一切物体运动时都有一种波与它相对应.

(2)波长:$\lambda = \dfrac{h}{p}$

二、原子结构

1. 电子的发现:

(1)汤姆生发现

(2)意义:原子结构复杂,原子可再分

2. 枣糕式模型:正电荷与质量均匀分布,电子像枣一样镶嵌其中.

3. α 粒子散射实验

(1)由卢瑟福完成　　α:${}_2^4\mathrm{He}$

(2)金作为靶核的优点:质量大,电荷数大,延展性好.

(3)现象:①绝大多数粒子没有改变传播方向　②极少数发生了偏转　③极个别发生了较大偏转甚至反弹

4. 核式结构

(1)内容:正电荷和几乎全部的质量集中在一个很小的核内(10^{-15} m),电子在周围做高速圆周运动.

(2)经典理论与事实的矛盾.

①原子发光是不连续的.　②原子是稳定的.

5. 玻尔理论

(1)三条假设

①能量量子化:原子只能处于一些不连续的能量状态,每一个状态称为一个能级,每个能级是稳定的,不向外辐射能量.

②轨道的量子化:电子只能处于一些不连续的轨道上,电子的每一个轨道对应原子的一个能级,在轨道上电子虽有加速度,但不向外辐射能量.

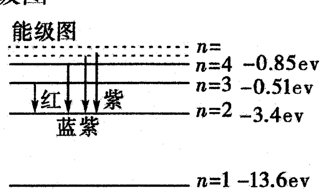
③跃迁理论:电子在两个轨道间变化时,实现了原子在两个能级间的跃迁.

(2)对氢原子光谱的解释

$E_1 = -13.6\ \text{eV}$　$r_1 = 0.53\ \text{Å}$　($1\ \text{Å} = 10^{-10}\ \text{m}$)　($1\ \text{eV} = 1.6 \times 10^{-19}\ \text{J}$)

$E_n = \dfrac{E_1}{n^2}$　$r_n = n^2 r_1$

(3)能级图



①当 $r_{小}\to r_{大}$，吸收能量

$\begin{cases}\text{能量子(光子)：被吸收光子能量只能是能级差或大于电离能}\\\text{实物粒子(电子)：被吸收电子能量只能是能级差或大于电离能}\end{cases}$

②当 $r_{大}\to r_{小}$，放出能量，在两能级间直接跃迁时只放出一个光子，被释放的光子能量 $E=h\nu=E_1-E_2$

一群处于第 n 能级态的氢原子发出的光子种类 C_n^2

(4)局限性：只能解释氢原子发光

三、原子核

1. 天然的放射现象

(1)由贝克勒尔发现

(2)定义：能自发地放出某种射线

(3)三种射线

$\begin{cases}\alpha:{}_2^4\mathrm{He},\dfrac{1}{10}c,\text{穿透本领弱，电离本领强}\\\beta:{}_{-1}^{0}\mathrm{e},=c,\text{穿透本领较强，电离本领弱}\\\gamma:\text{光子},=c,\text{穿透本领最强，电离本领几乎没有}\end{cases}$

(4)二种衰变

①α 衰变　${}_{92}^{238}\mathrm{U}\to{}_{90}^{234}\mathrm{Th}+{}_2^4\mathrm{He}$

②β 衰变　${}_{900}^{234}\mathrm{Th}\to{}_{91}^{234}\mathrm{Pa}+{}_{-1}^{0}\mathrm{e}$　(1 个中子→1 个质子 +1 个电子)

四种守恒：

①电荷数守恒　②质量数守恒　③动量守恒　④能量守恒

(5)一个半衰期

①定义：放射性元素有一半的质量或有一半数目的原子核发生衰变的时间叫半衰期，是统计学规律

②剩余的质量：$m_{余}=\dfrac{1}{2^{\frac{t}{T}}}m_{原}$

2. 人工核转变

(1)质子的发现

①卢瑟福发现

②${}_2^4\mathrm{He}+{}_7^{14}\mathrm{N}\to{}_1^1\mathrm{H}+{}_8^{17}\mathrm{O}$

(2)中子的发现

①查德威克发现

②${}_2^4\mathrm{He}+{}_4^9\mathrm{Be}\to{}_0^1\mathrm{n}+{}_6^{12}\mathrm{C}$

(3)放射性同位素

①小居里夫妇发现

②$\begin{cases}{}_2^4\mathrm{He}+{}_{13}^{27}\mathrm{Al}\to{}_{15}^{30}\mathrm{P}+{}_0^1\mathrm{n}\\{}_{15}^{30}\mathrm{P}\to{}_{14}^{30}\mathrm{Si}+{}_1^0\mathrm{e}\end{cases}$　　(放射性同位素作示踪原子)

(4)核的组成

中子、质子统称为核子

3. 核能

(1)核力：核子之间的相互作用力，最近程力只在相邻的核子之间存在，属于强相互作用.

(2)核能：在核反应中吸收或释放的能量叫做核能.

①结合能:把原子核拆成单个核子吸收的能量或把单个核子聚合成一个原子核释放的能量.

②比结合能:$\frac{结合能}{核子数}$,又叫平均结合能,越大,核越稳定.

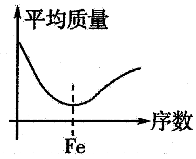
(3)质能方程:$E=mc^2$

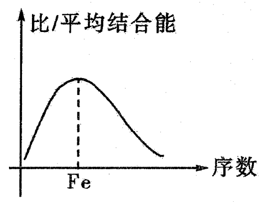
①质量增加:$E_{其}\rightarrow E_{核}$

②质量方损:$E_{核}\rightarrow E_{其}$

$\succ\rightarrow$静止质量　(结合能就是 m 亏损的能量)

③原子质量单位:u　$1\ \text{u}=\frac{1}{12}({}^{12}_{6}\text{C})$　1 u 对应 931.5 MeV 能量　(M:10^6)





4. 重核裂变

(1)链式反应:${}^{235}_{92}\text{U}+{}^{1}_{0}n\rightarrow{}^{141}_{56}\text{Ba}+{}^{92}_{36}\text{Kr}+3{}^{1}_{0}\text{n}$

条件:体积大于临界体积

(2)核反应堆

①反应物:铀棒

②减速剂:重水或石墨

③镉棒:控制反应　(原理:吸收中子)

④循环系统:水、液态钠

5. 轻(氢)核聚变

(1)热核反应

(2)${}^{2}_{1}\text{H}+{}^{3}_{1}\text{H}\rightarrow{}^{4}_{2}\text{He}+{}^{1}_{0}\text{n}$

(对核反应有质量亏损,释放出 γ 射线.)

第二部分

第一章　运动的描述

一、基本概念

1. 运动(机械运动):位置的相对变化.
2. 参考系:研究物体运动时被选作标准(参考)的物体或物体系(一个或多个物体).
3. 质点:大小、形状相对于研究的问题可以忽略,具有质量的点.

条件:(1)不以大小为标准;(2)只有转动的物体不可.

4. 转运和平动

(1)平动:物体上的各个点运动状态都相同;

(2)转动:各个点均绕某一个转轴做转动.

地球:既有平动又有转动

自转:转动

公转:平动

5. 坐标系

(1)直线坐标系(能描述直线运动)

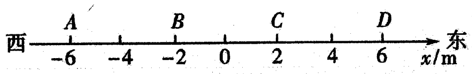
①建立参考系:参考点(原点),设正方向

②位置坐标:x(m)既有大小,又有方向

③矢量:既有大小,又有方向

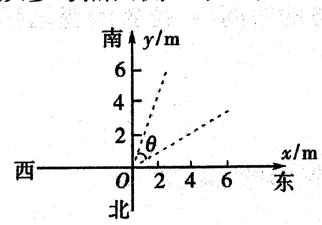
标量:只有大小,没有方向

(2)直角坐标系(平面曲线)



从 A 运动到 D:

从参考点西侧6米运动到参考点东侧6米.



A:在参考点东偏南 θ,$\tan\theta=3$,距离 $2\sqrt{10}$ m

B:同理

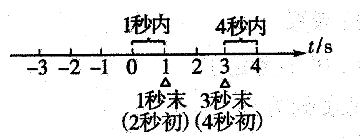
(方向可随意确定)

6. 时间、时刻

(1)时刻:描述时间的点

(2)时间:描述时间的段

$t/\Delta t=t'-t_0$　单位:s



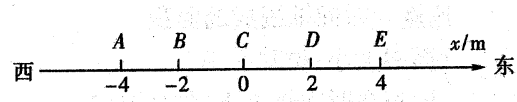
标量和矢量计算都要考虑正负,矢量的正负号表示方向.

7. 路程与位移

(1)路程:轨迹的长度

L　单位:m　标量

(2)位移:位置的变化量



$C\rightarrow D$　$s_1=2-0=2$(m)

s 单位:m 矢量

$s=x_t-x_0$

从初位置到末位置的有向线段.

$D\to E$ $s_2=4-2=2(\text{m})$

$B\to D$ $s_3=2-(-2)=4(\text{m})$

$D\to A$ $s_4=-4-2=-6(\text{m})$

8. 快慢

(1)方法$\begin{cases}\text{相同时间比距离}\\\text{相同距离比时间}\end{cases}$

(2)速度与速率

(3)速率(标量)→点(状态量)

①定义:路程比时间

②表达式:$v=\dfrac{L}{t}$(m/s)

(4)速度(矢量)→点(状态量)

①定义:位移与时间的比值

②定义式:$v=\dfrac{s}{t}$(m/s)

③意义:描述位置变化的快慢

④速度是矢量

速度是产生位移的原因

没有速度不可能有位移

$\begin{cases}\text{平均速率}\quad \bar{v}=\dfrac{L}{t}\\\text{瞬时速率}\quad v=\dfrac{L}{t}\quad (t\to 0)\end{cases}$

$\begin{cases}\text{平均速度}\quad \bar{v}=\dfrac{s}{t}\\\text{瞬时速度}\quad v=\dfrac{s}{t}\quad (t\to 0)\text{沿轨迹的切线}\end{cases}$

(注:当 t 接近0时,位移方向就是切线方向)

瞬时速度大小等于速率

二、匀速直线运动

1. 定义

(1)位置随时间均匀变化的(直线)运动

$s=vt$(v 不变)

(2)在任意相等的时间内,位置的变化都相等的(直线)运动.

$v=\dfrac{s}{t}$不变

(3)速度不变的(直线)运动

2. 规律

(1)公式:$s=vt$

(2)图象$\begin{cases}v-t\text{ 图象}\\s-t\text{ 图象}\end{cases}$

(3)速度-时间图象

①建立参考系

$\begin{cases}\text{参考点(可不考虑)}\\\text{“+”代表的方向}\end{cases}$

②图象信息

任意时刻物体的速度

不能确定任意时刻的位置

速度与时间轴围成的面积

$\begin{cases}\text{面积大小:位移大小}\\\text{面积在时间轴上下:位移方向}\end{cases}$

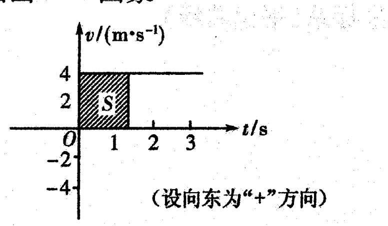
(4)位移-时间图象

匀速直线运动是最简单的运动.

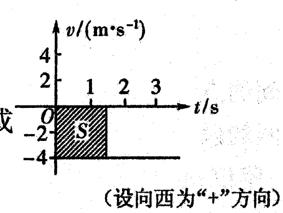
匀速运动=匀速直线运动

(速度是矢量,带有方向)

例1:一个物体以 $v=4$ m/s 向东做匀速直线运动,画出 $v-t$ 图象.



(设向东为"+"方向)

或 

(设向西为"+"方向)

例2:一个物体以 $v=4$ m/s 向东做匀速直线运动,画出 $s-t$ 图象.

以向东为"+",$x_0=0$,$x_t=vt$

$s=vt=x_t-x_0$

$\therefore x_t=x_0+vt$

$\therefore v=\dfrac{x_t-x_0}{t}=\tan\theta$

一次项系数 v(有大小,有方向)为斜率

①建立参考系

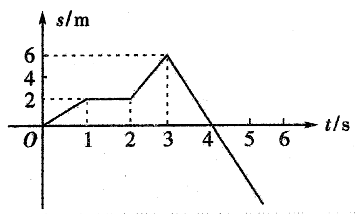
$\begin{cases}\text{初位置(参考点)}\\ \text{“+”代表的方向}\end{cases}$

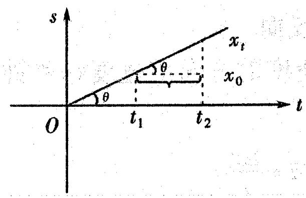
②图象信息

$\begin{cases}\text{任意时刻物体的位置}\\ \text{任意段时间的位移}\\ \text{用斜率表示速度(大小表示速度大小,}\\ \text{正负表示速度方向)}\end{cases}$

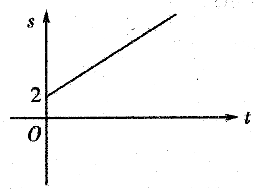
描述物体的运动:

物体从参考点出发,沿正方向以 2 m/s 的速度运动 1 s 到达 2 m 处,静止 1 s,沿正方向以 4 m/s 的运动 1 s 到达 6 m 处,又沿负方向以 6 m/s 的速度一直做匀速直线运动.

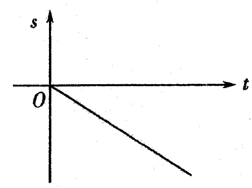




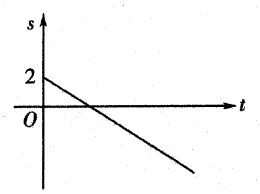
或以向东为“+”,$x_0=2$ m,$x_t=x_0+vt$



或以向西为“+”,$x_0=0$,$x_t=vt$



或以向西为“+”,$x_0=2$ m,$x_t=x_0+vt$



三、变速运动的描述

1. 平均速度

2. 速度的变化量

(1)$\Delta v=v_t-v_0$

(2)是矢量,有方向

3. 速度变化的快慢

(1)比较方法

$\begin{cases}\text{相同 }\Delta v\text{,比较 }t\\ \text{相同 }t\text{,比较 }\Delta v\end{cases}$

(2)加速度

①定义:把速度的变化量与时间的比值定义为加速度.

②定义式:$a=\dfrac{\Delta v}{t}$

单位:m/s^2(读作米每二次方秒)

③是矢量,有方向,既可以表示加速,又可以表示减速.

(3)分类

①加速:v_0 与 a 同向

(1)东 $v_0=2$ m/s→东 $v_t=8$ m/s

$\Delta v=v_t-v_0=6$ m/s(向东增加 6 m/s)

(2)东 $v_0=4$ m/s→东 $v_t=1$ m/s

$\Delta v=v_t-v_0=-3$ m/s(向西增加 3 m/s)

(3)东 $v_0=2$ m/s→西 $v_t=2$ m/s

$\Delta v=v_t-v_0=-4$ m/s(向西增加 4 m/s)

答矢量时要将正负号翻译过来(方向)

速度的变化率(矢量)就是加速度(矢量).

加速度是速度变化的原因.

②减速:v_0 与 a 反向

(4)意义:在加速度的方向上速度每秒钟增加的值.

(5)平均加速度 $\bar{a}=\frac{\Delta v}{t}$

瞬时加速度 $a=\frac{\Delta v}{t}(t\to 0)$

过程量:(段)位移、平均速度、平均速率
平均加速度
状态量:(点)位置、速度、速率、加速度

所有表示快慢的量都是与时刻对应的状态量.

第二章　匀变速直线运动的研究
——最简单的变速直线运动

一、基本概念

1. 定义

(1)速度随时间均匀变化的直线

$\Delta v = v_t - v_0 = at$($a$ 不变)

(2)在任意相等的时间内速度变化均相等的直线

$a = \frac{\Delta v}{t}$不变

(3)加速度不变的直线

$a = \frac{\Delta v}{t} = \frac{v_t - v_0}{t}$　不变

2. 规律:$v_t = v_0 + at$

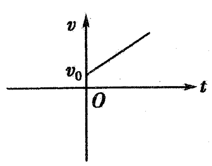
3. 分类

(1)匀加速直线运动:a 与 v_0 同向且 a 不变的直线　$v_t = v_0 + at$

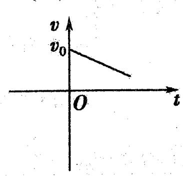
(2)匀减速直线运动:a 与 v_0 反向且 a 不变的直线　$v_t = v_0 - at$

4. 图象

(1)匀加速时



(2)匀减速时



从图象获得的信息:

$\begin{cases}\text{任意时刻的速度}\\ \text{斜率表示加速度}\\ \text{不能确定任意时刻的位置}\\ \text{与时间轴围成的面积表示位移}\\ \text{(在时间轴上下表示方向,面积大小表示位移大小)}\end{cases}$

例　匀减速直线运动 $v_0 = 25$ m/s,$a = -2$ m/s^2,当末速度大小 $v_t = 5$ m/s 时,$t = ?$

解:设初速度为 v.

$v_t = v_0 - at$

$\therefore t = \frac{v_0 - v_t}{a}$

(1)当 v_0 与 v_t 同向,$t = \frac{25-5}{2} = 10$ s

(2)当 v_0 与 v_t 反向,$t = \frac{25+5}{2} = 15$ s

5. 匀变速直线运动 s 与 t 关系

$$\begin{cases} s = \frac{v_0 + v_t}{2}t \qquad s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 \\ s = v_{t/2}t \qquad s = v_t t - \frac{1}{2}at^2 \end{cases}$$

(1)$s - t$ 关系

$s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$

设初速度为正方向

$$\begin{cases} \text{匀加}\quad s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 \\ \text{匀减}\quad s = v_0 t - \frac{1}{2}at^2 \end{cases}$$

(2)匀变速运动的平均速度

$\bar{v} = \frac{v_0 + v_t}{2} = v_{t/2}$

总结:

1. 基本规律

(1)v—t 关系　$v_t = v_0 + at$

(2)s—t 关系　$s = v_0 + \frac{1}{2}at^2$

(3)v—s 关系　$v_t{}^2 - v_0^2 = 2as$

2. 匀变速运动的推论

(1)平均速度　$\bar{v} = \frac{v_0 + v_t}{2}$

(2)相邻相等时间位移差 $\Delta s = at^2$

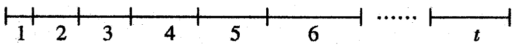
$$(3)\begin{cases} \text{时间中点速度}\quad v_{t/2} = \frac{v_0 + v_t}{2} \\ \text{位移中点速度}\ v_{s/2} = \sqrt{\frac{v_0^2 + v_t^2}{2}} \end{cases}$$

$0 \xrightarrow{a} v_t$ 与 $v_t \xrightarrow{a} 0$ 等效.

3. 初速度为零时的规律

$v_t = at \qquad s = \frac{1}{2}at^2 \qquad v_t^2 = 2as$

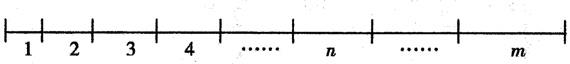
(1)连续分成时间相等的若干段



①前1个t、前$2t$、…前nt内位移之比$1^2:2^2:3^2:\cdots:n^2$

②第1个t、第2个t、…第n个t内位移之比$1:3:5:\ \cdots:(2n-1)$

例1:



$s_m - s_n = (m-n)at^2$

物体匀加速运动时,$v_0 = 2$ m/s 向东,$a = 1$ m/s^2,求$t = 4$ s 时$v_t = ?$

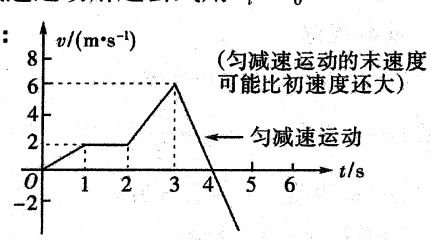
解:$\begin{cases} \text{设向东为“+”} \\ v_t = v_0 + at \\ v_t = 2 + 1 \times 4 = 6 \text{ m/s} \end{cases}$

$\begin{cases} \text{设向西为“+”} \\ v_t = v_0 + at \\ v_t = -2 - 1 \times 4 = -6 \text{ m/s} \\ \therefore v_5 = 6 \text{ m/s 向东} \end{cases}$

矢量题中一般只给大小不给方向.

匀减速运动解题公式用 $v_t = v_0 - at$

例2:



解:描述物体的运动:

物体从静止开始以2 m/s^{2}的加速度向正方向匀加速运动,在1 s时以2 m/s的速度向正方向做匀速直线运动,在2 s时以4 m/s^{2}的加速度向正方向做匀加速直线运动,在3 s时以6 m/s^{2}的加速度向正方向做匀减速直线运动(将第4 s与4 s后分开说也可以)

例3:物体匀加速直线运动,$v_0 = 6$ m/s,$a = 2$ m/s^2,求经$t = 5$ s时,$s = ?$

解:设初速度方向为正 $\qquad s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$

$\therefore\ s = 6 \times 5\text{ m} + \frac{1}{2} \times 2 \times 5^2\text{ m} = 55\text{ m}$

例4:物体以$v_0 = 20$ m/s,$a = 2$ m/s^{2}做匀减速直线运动,离出发点20 m的时间?

解:设初速度方向为正.

$s = v_0 t - \frac{1}{2}at^2$

(1)$20 = 20t - \frac{1}{2} \times 2t^2$

$t_1 = (10 + 4\sqrt{5})\text{s} \qquad t_2 = (10 - 4\sqrt{5})\text{s}$

(2)$-20 = 20t - \frac{1}{2} \times 2t^2$

$t_1 = (10 - 2\sqrt{30})\text{s}$(舍)

$t_2 = (10 + 2\sqrt{30})\text{s}$

答:时间为$(10 + 4\sqrt{5})$s 或$(10 - 4\sqrt{5})$s 或$(10 + 2\sqrt{30})$s.

例5:

$t = t_{AB} = t_{AC}$,加速度a,求$s_{BC} - s_{AB}$

解法1:$\begin{cases} s_1 = v_A t + \frac{1}{2}at^2 \\ s_2 = v_B t + \frac{1}{2}at^2 \end{cases}$

$\therefore\ \Delta s = (v_B - v_A)t = at^2$

解法2:$\begin{cases} s_1 = v_B t - \frac{1}{2}at^2 \\ s_2 = v_B t + \frac{1}{2}at^2 \end{cases}$

$\therefore\ \Delta s = at^2$

解法3:$v_{AB} = \frac{s_1}{t_1} \quad v_{BC} = \frac{s_2}{t}$

$\frac{s_1}{t} - \frac{s_2}{t} = at$

$\therefore\ \Delta s = at^2$

三、自由落体

1. 落体运动

(1)定义:物体无初速释放

(2)快慢(下落原因:受重力)

①比较方法

相同距离比时间

相同时间比距离

②与重力、阻力有关

③亚里士多德:重的快

观察现象⇒结论

④伽利略的研究

实验、推理⇒结论

(f=0 或忽略)

$\begin{cases}\text{光滑时加速度大}\\\text{粗糙时加速度小}\end{cases}$

a 与物体无关

●变化⇒θ 变大时 a 变大

当 $\theta=90°$时,匀加速运动,a 与 G 无关.

2. 自由落体

(1)定义:只受重力,$v_0=0$ 的落体运动.

(2)实验:所有的自由落体都具有相同的运动规律(在f相对于重力可忽略时)

(3)规律:$a=9.8\ \mathrm{m/s^2}$ 竖直向下匀加速

(4)重力加速度

$\begin{cases}\text{大小}\quad g=9.8\ \mathrm{m/s^2}\\\text{方向}\quad \text{竖直向下(与水平面垂直)}\end{cases}$

①$v_t=gt$

②$h=\dfrac{1}{2}gt^2$

③$v_t^2=2gh$

任何物体只受重力时 $a=g$,竖直向下

解自由落体题时不用设正方向

三、竖直上抛运动

1. 定义:物体以某一初速度($v_0\neq0$)竖直向上抛出的运动

2. 规律:$f=0$ 时,$a=g$ 竖直向下

(1)分成两个阶段

①向上减到零的匀减速运动

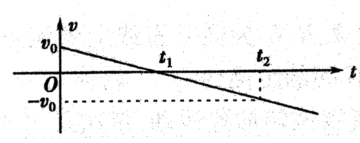
$t_{上}=\dfrac{v_0}{g}\qquad h=\dfrac{v_0^2}{2g}$

②向下的自由落体运动

$t_{下}=\dfrac{v_0}{g}\qquad h=\dfrac{v_0^2}{2g}$

具有对称性

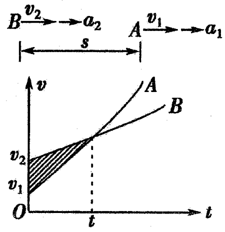
$\begin{cases}\text{上、下时经同一路段 } t \text{ 相等}\\\text{上、下时经同一位置 } v \text{ 相等}\end{cases}$



(2)可看成一个可以反向的完整的匀减速运动

$\begin{cases}v_t=v_0-gt\\h=v_0t-\dfrac{1}{2}gt^2\\v_0^2-v_t^2=2gh\end{cases}$

已知 $v_1<v_2$,$a_1>a_2$.



在不相遇时当 $v_A=v_B$ 时 A、B 间距离最小.

$$v_A=v_B\text{时}\begin{cases}\Delta s=s_{\text{间}} & \text{遇 1 次}\\ \Delta s>s_{\text{间}} & \text{遇 2 次}\\ \Delta s<s_{\text{间}} & \text{不相遇}\end{cases}$$

例 1: A 在前面以 $v_1=5$ m/s 匀速,后面 20 m 处 B 车以 $v_2=30$ m/s 匀速,不相撞,则求 B 的加速度条件.

解: 以 A 车为参考系,初速度方向为正.

$v_0^2-v_t^2=2as$　　　$v_0=25$ m/s

$$\therefore\ a\geqslant\frac{v_0^2-v_t^2}{2s}=\frac{25^2}{2\times20}\text{m/s}^2=15.625\ \text{m/s}^2$$

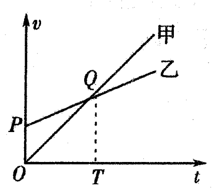
例 2: 甲乙两车在一平直道路上同向运动,其 $v-t$ 图象如图所示,略中 $\triangle OPQ$ 和 $\triangle OQT$ 的面积为 S_1 和 $S_2(S_2>S_1)$. 初始时,甲车在乙车前方 S_0 处. (ABC).

A. 若 $S_0=S_1+S_2$,两车不会相遇

B. 若 $S_0<S_1$,两车相遇 2 次

C. 若 $S_0=S_1$,两车相遇 1 次

D. $S_0=S_2$,两车相遇 1 次



例 3: 已知 O、A、B、C 为同一直线上的四点. AB 间的距离为 l_1,BC 间的距离为 l_2,一物体自 O 点由静止出发,沿此直线做匀加速运动,依次经过 A、B、C 三点. 已知物体通过 AB 段与 BC 段所用的时间相等,求 O 与 A 的距离.

解: 设物体的加速度为 a,到达 A 点的速度为 v_0,通过 AB 段和 BC 段所用的时间为 t,则有

$$l_1=v_0t+\frac{1}{2}at^2 \qquad ①$$

$$l_1+l_2=2v_0t+2at^2 \qquad ②$$

联立得　$l_2-l_1=at^2$　　③

$3l_1-l_2=2v_0t$　　④

设 O 与 A 的距离为 l,则有 $l=\dfrac{v_0^2}{2a}$　　⑤

联立③④⑤得　$l=\dfrac{(3l_1-l_2)^2}{8(l_2-l_1)}$

例 4: 石块 A 自塔顶自由落下 x_1 时,石块 B 自塔顶 x_2 处自由落下,两石块同时落地,则塔高为多少?

解: 设石块 A 落下 x_1 用时为 t_1,石块 B 落下共用时 t_2,塔高为 h. 则有

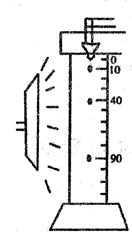
$h=\dfrac{1}{2}g(t_1+t_2)^2$　　$x_1=\dfrac{1}{2}gt_1^2$

$h-x_2=\dfrac{1}{2}gt_2^2$

故 $\sqrt{h}=\sqrt{x_1}+\sqrt{h-x_2}$

$\therefore\ h=\dfrac{(x_1+x_2)^2}{4x_1}$

例 5: 某科技馆中有一个展品,该展品放在较暗处,有一个不断均匀滴水的水龙头在平行光源的照射下,可以观察到一种奇特的现象:只要耐心地缓慢调节水滴下落的时间间隔,在适当的情况下,看到的水滴好像都静止在各自固定的位置不动. 要想出现这一现象,所用光源应满足的条件是(BD)



A. 普通白炽灯光源即可

B. 频闪发光,间歇时间为 0.14 s

C. 频闪发光,间歇时间为 0.20 s

D. 频闪发光,间歇时间为 1.4 s

解: $\Delta h=gt^2$

$$\therefore\ t=\sqrt{\frac{\Delta h}{g}}=\sqrt{\frac{0.5-0.3}{10}}\ \text{s}=0.14\ \text{s}$$

所以频闪发光的间歇时间只要为 0.14 s 的倍数即可. 所以选 BD.

第三章 相互作用

一、力

1. 定义:物体间的相互作用

F (N)

2. 效果:(1)形状的改变

(2)运动状态的变化

3. 性质:

(1)物质性:施力物体与受力物体

(2)相互性:F 与 F'

①力成对出现

②F 与 F'关系:牛顿第三定律

内容:作用力和反作用力总是大小相等,方向相反,作用在一条直线的两个不同物体上.

特点:同时产生,同时消失,同时变化,同性质的力

(3)具有矢量性

相互作用的类型:

(1)万有引力相互作用

(2)电磁相互作用

(3)强相互作用

(4)弱相互作用

相互作用是相同类型的力.

平衡力不一定是相同类型的力.

二、重力

1. 产生:地球吸引
2. 条件:地球上的一切物体
3. 三要素

(1)大小:①$G=mg$

②用弹簧秤测

(2)方向:竖直向下(垂直于水平面向下)

(3)作用点:重心

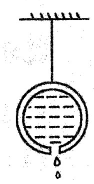
4. 重心

(1)定义:各个部分所受重力的集中作用点

(2)寻找重心

①悬挂法 (非长条物体)

②推移法 (长条物体)



例 1:如图所示,一个空心均匀球壳里面注满水,球的正下方有一个小孔,在水由小孔慢慢流出的过程中,空心球壳和水的共同重心将会(D).

A. 一直下降

B. 一直上升

C. 先升高后降低

D. 先降低后升高

解析:随着水的流出,开始一段时间内,球壳内剩余水较多,随着水的重心的下降,球壳和水的共同重心也下降;后来一段时间内,球壳内剩余的水较少,随着水的重心下降,球壳和水的共同重心却升高;最后,水流完时,重心又回到球心.

三、弹力(电磁相互作用)

1. 产生:由于形变而产生
2. 条件:发生形变

①接触 ②挤压或拉伸

3. 形变

(1)塑性形变:不能恢复原状

(2)弹性形变:能够恢复原状

①微小形变:承认弹力,忽略形变

②明显形变:由形变分析弹力

4. 三要素

(1)作用点:接触面上发生形变一方的弹力作用在对方物体上

(2)方向

①接触面上的弹力:垂直于接触面

微小接触面:忽略形变,放大接触部位规则部分

$\begin{cases}\text{点与面:垂直于面}\\\text{点与线:垂直于线}\end{cases}$

②轻绳的弹力(只能拉伸不能挤压)

沿绳指向收缩的方向

③轻杆的弹力

可绕端点自由转动的轻杆,力是沿杆的(拉力

或支持力)

若能用轻绳代替,则为拉力;若不能用轻绳代替,则为支持力.

(3)大小

①微小形变:由物体的状态分析,对于轻绳来说,在内部任意一点及两个端点弹力处处相等,等于形变的弹力.

②明显形变$\begin{cases}F\propto \text{形变}\\ \text{由物体的状态分析}\end{cases}$

5. 胡克定律

(1)内容:$F\propto x$,

(2)表达式:$F=kx$

(3)条件:轻质,在弹性限度内

(4)形变量:$x=|L-L_0|$

(5)劲度系数 k

材料、粗细、匝数

(6)特点:

①弹簧两端及内部任意一点弹力处处相等,等于形变的弹力(示数)

②受力时,每匝形变一样

③胡克定律的推论

$\Delta F=k\cdot\Delta L$

例2:一根绳子受200 N的拉力就会被拉断,如果两人沿反方向同时拉绳,每人用力为200 N时,绳子就会被拉断.如果将绳的一端固定,一个人用力拉绳的另一端,则该人用力为200 N时,绳子就会被拉断.

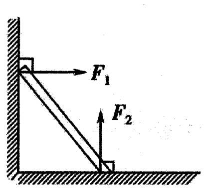
例3:一个物体放在水平地面上,下列关于物体和地面受力情况的叙述中正确的是②③.

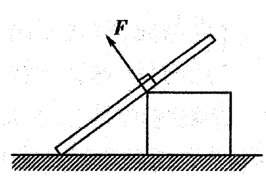
①地面受到了向下的弹力是因为地面发生了形变

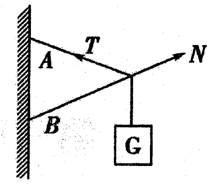
②地面受到了向下的弹力是因为物体发生了形变

③物体受到了向上的弹力是因为地面发生了形变

④物体受到了向上的弹力是因为物体发生了形变







A 杆为拉力 T

B 杆为支持力 N

$F=kx=knx_0$

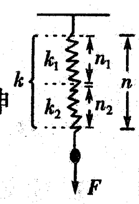
$F=k_1x_1=k_1n_1x_0$

$F=k_2x_2=k_2n_2x_0$

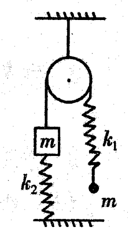
$\therefore kn=k_1n_1=k_2n_2$

n:匝数

x_0:每匝伸长长度



例4:现给点 A 向下的拉力使其缓慢向下运动.当 k_1 的弹力大小是原来的$\frac{1}{4}$时,求 A 点的位移.



$s=\Delta x_1+\Delta x_2$

(一)k_1 由压 $mg\to$压$\frac{1}{4}mg$

$\Delta F=\frac{3}{4}mg=k_1\Delta x_1$

k_2 由 $0\to$拉$\frac{3}{4}mg$

$\Delta F=\frac{3}{4}mg=k_2\Delta x_2$

$\therefore \Delta x_1+\Delta x_2=\frac{3}{4}\left(\frac{1}{k_1}+\frac{1}{k_2}\right)mg$

(二)k_1 由压 $mg\to$拉$\frac{1}{4}mg$

$\Delta F=\frac{5}{4}mg=k_1\Delta x_1$

k_2 由 $0\to$拉$\frac{5}{4}mg$

$\Delta F=\frac{5}{4}mg=k_2\Delta x_2$

$\therefore \Delta x_1+\Delta x_2=\frac{5}{4}\left(\frac{1}{k_1}+\frac{1}{k_2}\right)mg$

综上,A 点的位移为$\frac{3}{4}\left(\frac{1}{k_1}+\frac{1}{k_2}\right)mg$ 或$\frac{5}{4}\left(\frac{1}{k_1}+\frac{1}{k_2}\right)mg$.

四、摩擦力

1. 产生:由于摩擦而产生

2. 摩擦$\begin{cases}(1)\text{相对运动}\\(2)\text{相对运动趋势}\end{cases}$

(一)滑动摩擦

1. 条件:(1)相对运动

(2)表面粗糙

(3)有弹力

2. 三要素

(1)作用点:接触面

(2)方向:沿接触面的切线方向与相对运动方向相反

(3)大小$\begin{cases}\text{粗糙程度} & \text{粗糙}f\uparrow \\ \text{正压力} & \text{压力大}f\uparrow\end{cases}$

$f \propto N \Rightarrow f = \mu N$

3. 动摩擦因数

材料粗糙程度与接触面积大小无关,与相对运动状态无关.

(二)静摩擦

1. 条件:(1)有相对运动趋势

(2)表面粗糙

(3)有弹力

2. 三要素

(1)作用点:接触面

(2)方向:沿接触面的切线方向与相对运动趋势方向相反

趋势:假设接触面光滑,相对运动方向是相对运动趋势方向

(3)大小:由物体的状态分析

$f = F_{外}$

3. 最大静摩擦力

(1)定义:静摩擦的最大值

(2)大小$\begin{cases}\text{粗糙程度} & f\uparrow \\ \text{正压力} & f\uparrow\end{cases}$

$f_{max} \propto N$

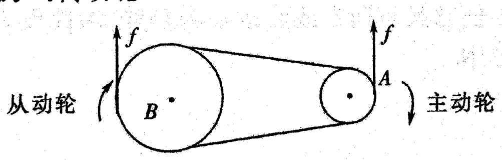
(3)特点:在相同正压力时,

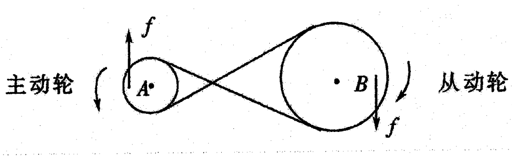
$\begin{cases}f_m > f_{动} \\ \text{计算时}\ f_m = f_{动}\end{cases}$

(4)作用

$\begin{cases}f_{需} \leqslant f_m & \text{不相对滑动} \\ f_{需} > f_m & \text{有相对滑动}\end{cases}$

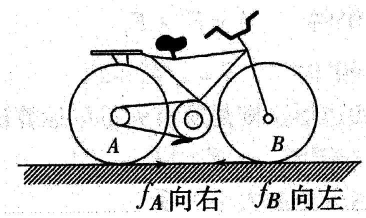
例5:传动轮





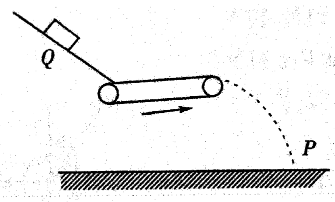
轮上 A、B 两点受静摩擦力方向

例6:



前轮、后轮两点受静摩擦力方向

例7:. 如图所示物体从斜面上的 Q 点自由滑下,通过粗糙的静止水平传送带后落到地面上的 P 点,若传送带逆时针转动,再把物块放到 Q 点自由滑下,那么(A).



A. 它仍落在 P 点

B. 它将落在 P 点左边

C. 它将落在 P 点右边

D. 它可能落不到地面上

解析:以地面为参考系,当传送带静止或逆时针运动时,物体受到的滑动摩擦力的大小与相对滑动速度无关,经过相同的位移,物体离开传送带时,对地面的速度相同.

五、力的合成

1. 合力与分力:如果某一个力 F 与几个力 F_1、F_2、F_3……的共同作用效果相同,则 F 称为那几个力的合力,而 F_1、F_2、F_3……称为合力的分力.(等效替代的关系)

2. 力的合成:由分力求合力的过程

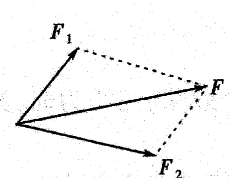
3. 实验

(1)记下橡皮条结点末位置"O"

(2)记下 F_1 与 F_2 的大小方向

(3)使结点再次回到"O",记下 F 的大小和方向

4. 平行四边形法则



$F = F_1 + F_2$

(是矢量和,不是算术和)

令 F_1 与 F_2 的夹角为 θ

$F=\sqrt{F_1^2+F_2^2+2F_1F_2\cos\theta}$

①$\theta=0°$时　　$F=F_1+F_2$

②$\theta=90°$时　　$F=\sqrt{F_1^2+F_2^2}$

平行四边形法则是所有矢量的运算法则

③$\theta=180°$时　　$F=|F_1-F_2|$

合力与分力的大小关系

$|F_1-F_2|\leqslant F\leqslant F_1+F_2$

力的合成⇒求力

例8:三个力合成

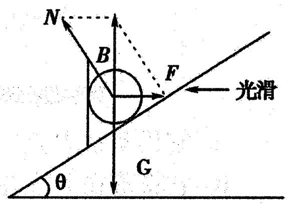
(1)5N,7N,13N

1N≤F≤25N

(2)9N,11N,17N

0N≤F≤37N

例9:求N,F



$N=\dfrac{mg}{\cos\alpha}$

$F=mg\cdot\tan\theta$

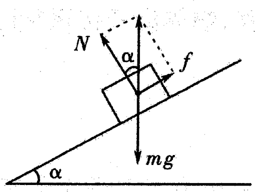
(合力<分力)

例10:求N,f

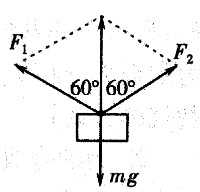
$N=mg\cos\alpha$

$f=mg\sin\alpha$

(合力>分力)



例11:求F_1,F_2.



$F_1=F_2=mg$

(合力=分力)

六、力的分解

1. 定义:由合力求分力
2. 规律:平行四边形法则
3. 分解方法:

(1)按作用效果分解

效果:力引起的现象

每个分力只独立对应一个效果,三个力时,沿另外两个力的反方向分解

(2)正交分解:沿两个相互垂直的方向分解

①建立直角坐标系

$\begin{cases}\text{尽量使更多的力在轴上}\\\text{构造特殊角}\end{cases}$

②把没在轴上的力沿轴分解

七、受力分析

1. 方法:

(1)条件分析法

(2)效果分析法

(3)相互作用分析法

(4)假设法

2. 顺序:

重力→弹力→摩擦力

(若物体受到摩擦力,则可推出一定受弹力)

3. 研究对象的确定

(1)隔离法:一个一个分析

(2)整体法:

①条件:有相同的运动状态(相对静止)

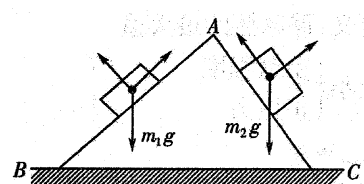
②优点

a. 只分析外力,不分析内力

b. 很方便确定外力的有无及方向

c. 很方便计算力的大小

例12:如图所示,在粗糙的水平地面上有一个三角形木块ABC,在它的两个粗糙斜面上分别有两个质量为m_1和m_2的物体匀速下滑,则粗糙水平地面对三角形木块(D).



A. 有摩擦力作用,摩擦力的方向水平向右

B. 有摩擦力作用,摩擦力的方向水平向左

C. 有摩擦力作用,但摩擦力的方向不能确定

D. 没有摩擦力作用

解析:两物体对斜面产生的力的作用效果都是竖直向下的,三角形木块只在竖直方向上受力,没有力使它具有向左或右运动的趋势,因此没有摩擦力作用.

八、物体的平衡

1. 平衡态:静止　　匀速

   2 个力⇒$\Sigma F=0$ 或 $F_{合}=0$

   3 个力⇒2 个力⇒$F_{合}=0$

   多个力⇒2 个力⇒$F_{合}=0$

2. 条件:$\Sigma F=0$ 或 $F_{合}=0$
3. 方法

(1)正交分解:求力的具体值

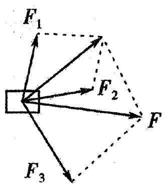
$$F_{合}=0\quad\begin{cases}F_x=0\\F_y=0\end{cases}$$

(2)图解法:分析力的变化

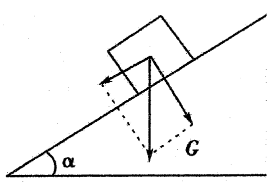
一个恒力、一个方向不变

(3)相似三角形法

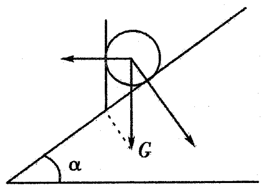
例 13:



例 14:

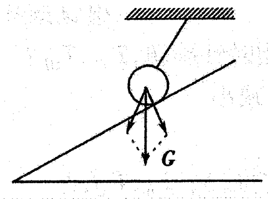


例 15:

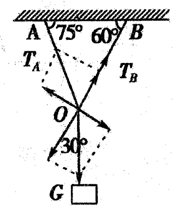


例 16:

例 17:



例 18:



已知 $G=mg$,求 T_A,T_B.

$$T_A=\frac{\sqrt{2}}{2}mg$$

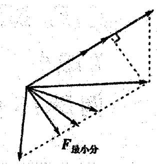
$$T_B=\frac{\sqrt{3}-1}{2}mg$$

例 19: 把力分解为一个大小确定,另一个方向确定的分力.

若 $F_{给}=F_{最小分}$　　1 种

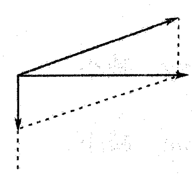
若 $F_{最小分}<F_{给}<f$　　2 种

若 $F_{给}\geqslant F$　　1 种

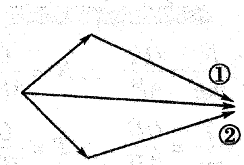


例 20: 把力 F 分解为两个方向确定的力

1 种



例 20 图



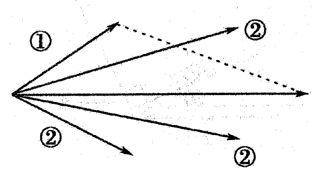
例 21 图

例 21: 把力 F 分解为两个大小确定的力

2 种(不共线)

例 22: 把力 F 分解为两个夹角确定的分力

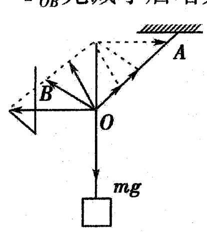
无数种

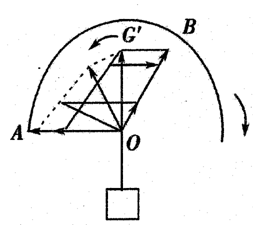


例 23: O 点不动,使 B 沿墙缓慢上移,求 T_{OA}、T_{OB}?

T_{OA}减小

T_{OB}先减小后增大





(G'逆时针转)

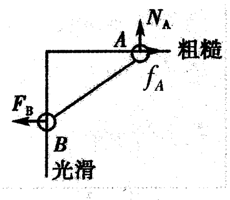
例23 题图　　　　例24 题图

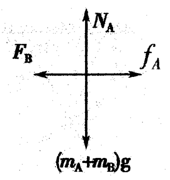
例24:圆弧顺时针旋转,T_{OA}、T_{OB}?

T_{OA}先增大后减小

T_{OB}减小

例25:A 向左推,N_A、F_B、T、f_A?



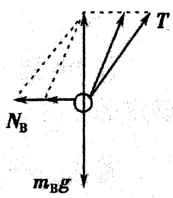


$$\begin{cases}F_B=f_A\\N_A=(m_A+m_B)g\end{cases}$$

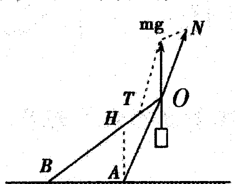
$\therefore N_A$ 不变

f_A、F_B 都减小

T 减小



例26:B 向左推 OA 的 N、OB 的 T?



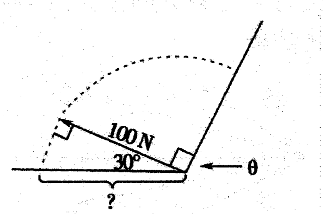
作 $AH\perp AB$ 交 OB 于 H

$\dfrac{N}{mg}=\dfrac{OA}{AH}$　$\therefore N=\dfrac{OA}{AH\uparrow}\cdot mg$　减小

$\dfrac{T}{mg}=\dfrac{OH}{AH}$　$\therefore T=\dfrac{OH}{AH\uparrow}\cdot mg$　减小

例27:$F=100$ N,分解成 $\theta=120°$的两个分力,求任意分力的最大值.

$$F=\frac{100}{\cos 30°}=\frac{200}{3}\sqrt{3}N$$

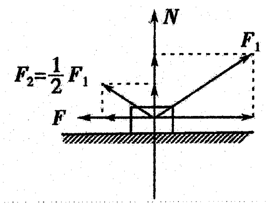


例28:求 F_1

解:在水平方向上设向右为正方向

$F_1\cdot\cos\theta-F_2\cdot\cos\theta-\mu N=0$

在竖直方向上(设向上为正方向)



$F_1\cdot\sin\theta+F_2\cdot\sin\theta-mg=0$

$F_1\cdot\cos\theta-\dfrac{F_1}{2}\cdot\cos\alpha$

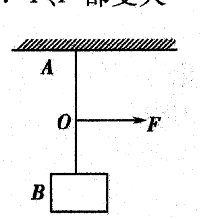
$=\mu\left(mg-F_1\cdot\sin\theta-\dfrac{F_1}{2}\cdot\sin\alpha\right)$

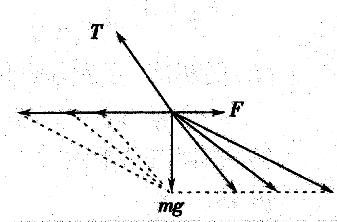
$$\therefore\ F_1=\frac{\mu mg}{\cos\theta+\mu\sin\theta-\frac{1}{2}\cos\alpha+\frac{F_2}{2}\sin\alpha}$$

$(\therefore\ F_1=\cdots N)$

例29:O 点慢慢向右移动,AO 绳上的力,F 怎样变化?

$\therefore$ T、F 都变大





第四章 牛顿运动定律

一、两种观点

1. 亚里士多德

(1)观点:力是维持运动的原因

(2)依据:观察+直觉

2. 伽利略

(1)观点:力不是维持运动的原因,而是改变运动状态的原因.

(2)依据:观察+推理+实验

3. 笛卡尔:不受力

二、牛顿第一定律

1. 内容:一切物体总保持匀速运动或静止状态,除非有外力作用使它改变运动状态.

2. 意义:

(1)运动是物体的属性,不需要力的维持;

(2)定性说明了力与运动的关系,力是产生加速度的原因;

(3)物体具有惯性.

3. 惯性

(1)定义:物体具有的保持原来的运动状态(匀速运动或静止状态)的性质.

(2)物理量:质量.

质量是惯性的唯一量度.

状态改变的$\begin{cases}\text{难:质量大}\\ \text{易:质量小}\end{cases}$

三、影响加速度的因素

1. 合力:F 大,a 大

2. 质量:m 大,a 小

$$a\propto F \qquad a\propto \frac{1}{m}$$

$$\therefore \alpha\propto \frac{F}{m}$$

四、牛顿第二定律

1. 内容:加速度与物体的合力成正比,与质量成反比的规律.

2. 表达式:$a=k\dfrac{F}{m}$

$$\Rightarrow F=\frac{1}{k}ma\overset{k=1}{\Rightarrow}F=ma$$

3. 意义

(1)定义了力的单位:使 1 kg 的物体产生 1 m/s^2 加速度的力为 1 N.

(2)定量地说明了力与运动的关系.

4. 步骤

(1)确定对象(m) 先整体后隔离

(2)受力分析(求合力 F)

(3)分析运动(得到 a)

(4)列方程$\begin{cases}F\text{(大小、方向)}\\ m\\ a(v,s,t)\end{cases}$

五、超重和失重

实重:物体实际重力

视重:支持面的支持力或悬挂物的拉力

1. 生活中的现象

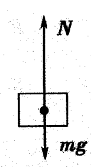
(1)电梯$\begin{cases}\text{加速上升:超重}\\ \text{加速下降:失重}\end{cases}$

(2)汽车$\begin{cases}\text{凸起路面:失重}\\ \text{凹下路面:超重}\end{cases}$

(3)自由落体:视重为0(完全失重)

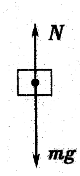
2. 原因

(1)超重: $\underset{\text{视}}{\underset{\downarrow}{N}} - \underset{\text{实}}{\underset{\downarrow}{mg}} = \underset{\text{合}}{\underset{\downarrow}{ma}}\uparrow$



物体有向上的合力,提供向上的加速度,超出 ma

(2)失重: $\underset{\text{实}}{\underset{\downarrow}{mg}} - \underset{\text{视}}{\underset{\downarrow}{N}} = \underset{\text{合}}{\underset{\downarrow}{ma}}\downarrow$



物体有向下的加速度(或有竖直向下的分量),需要向下的合力

3. 应用

(1)在超重、失重中由重力引起的现象会发生改变

(2)在完全失重情况下，由重力引起的现象会消失

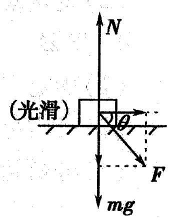
$\begin{cases} \text{国际单位制} \quad kg \quad m \quad s \\ \text{非国际单位} \quad g \quad cm \end{cases}$

国际单位$\begin{cases} \text{基本单位} \\ \text{导出单位} \end{cases}$

基本单位$\begin{cases} \text{力：kg、m、s} \\ \text{热：K、mol} \\ \text{电：A} \\ \text{光：cd} \end{cases}$

牛顿定律——动力学

例1：$\theta = 53°$，$F = 20\ N$，$m = 2\ kg$，求经 $t = 5\ s$ 时，v，s.（g 取 10 N/kg）



解：在水平面有 $F\cos\theta = ma$，

$\therefore a = \dfrac{F}{m} \cdot \cos\theta$，$\therefore a = 6\ m/s^2$

又∵ 匀加速　$\therefore v = at$，$s = \dfrac{1}{2}at^2$

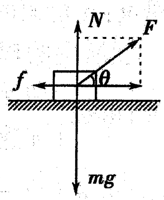
$\therefore v = 30\ m/s$，$s = 75m$

例2：质量 m，沿水平面从静止开始运动，已知 μ，设 $f_m = f_{动}$.

(1)求 F 的条件（θ 不变）；

(2)能以 a 匀速加，则 θ = ？时，F 最小.

解　(1)竖直方向有：



$N + F\sin\theta = mg$

$N = mg - F\sin\theta \geqslant 0$

$F \leqslant \dfrac{mg}{\sin\theta}$

水平方向上，设向右为正方向.

$F\cos\theta - \mu N = ma$

$\because a > 0$　$\therefore F\cos\theta > \mu N$

$F\cos\theta > \mu(mg - F\sin\theta)$

$F > \dfrac{\mu mg}{\cos\theta + \mu\sin\theta}$

$\therefore \dfrac{\mu mg}{\cos\theta + \mu\sin\theta} < F \leqslant \dfrac{mg}{\sin\theta}$

(2)水平面上设向右为正

$F \cdot \cos\theta - \mu N = ma$

$F\cos\theta - \mu(mg - F\sin\theta) = ma$

$\therefore F = \dfrac{ma + \mu mg}{\cos\theta + \mu\sin\theta} = \dfrac{ma + \mu mg}{\sqrt{1+\mu^2}\sin(\theta + \varphi)}$

$\tan\varphi = \dfrac{1}{\mu}$，∴ 当 θ 与 φ 互余时，F 最小.

例3：光滑斜面，物体以某一初速度 v_0 上滑，经过 t 时间距离出发点 s，求 θ.

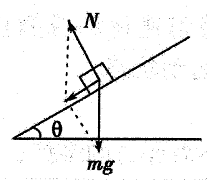
解：设沿斜面向上为正

$s = v_0 t - \dfrac{1}{2}at^2$

$\therefore a = \dfrac{2(v_0 t - s)}{t^2}$

$mg\sin\theta = ma$

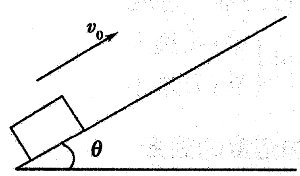
$\therefore a = g\sin\theta$



$\therefore \dfrac{2(v_0 t - s)}{t^2} = g\sin\theta$

$\sin\theta = \dfrac{2(v_0 t - s)}{gt^2}$

例4：粗糙斜面，物体初速度 v_0，动摩擦因数 μ，已知 θ，求 s_m，t，滑到底端时 v.



解：在平行斜面上有

$mg\sin\theta + \mu N = ma_1$

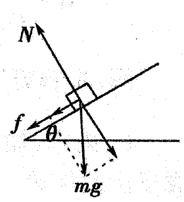
在垂直斜面上有

$N = mg\cos\theta$

$\therefore a_1 = g\sin\theta + \mu g\cos\theta$

又∵ $v_0 = at_{上}$

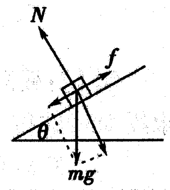
$\therefore t_{上} = \dfrac{v_0}{a_1} = \dfrac{v_0}{g\sin\theta + \mu g\cos\theta}$



$\because s_m=\dfrac{v_0^2}{2a}$

$\therefore\ s_m=\dfrac{v_0^2}{2(g\sin\theta+\mu g\cos\theta)}$

当物体下滑时以平行斜面向下为正



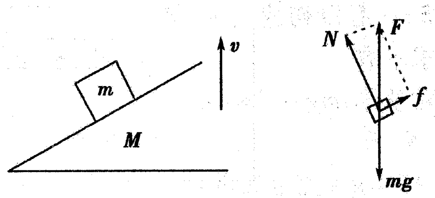
$$mg\sin\theta-\mu N=ma_2$$

$\therefore a_2=g\sin\theta-\mu g\cos\theta$

又$\because s_m=\dfrac{v^2}{2a_2}$

$\therefore v=v_0\sqrt{\dfrac{\tan\theta-\mu}{\tan\theta+\mu}}$

例6:m与M一起以a向上匀加速,求N,f.



解:设向上为正.

$$F-mg=ma$$

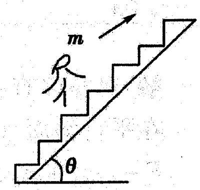
$$\frac{N}{\cos\theta}-mg=ma$$

$$N=m(g+a)\cos\theta$$

$$\frac{f}{\sin\theta}-mg=ma$$

$$f=m(g+a)\sin\theta$$

例7:当人随梯一起以a向上匀加速,求N,f.



解:$f=ma\cos\theta$

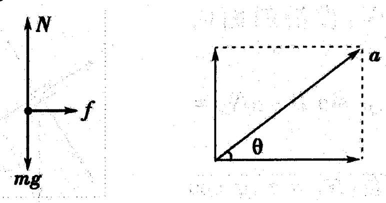
竖直方向:设竖直向上为正方向

$$N-mg=ma\sin\theta$$

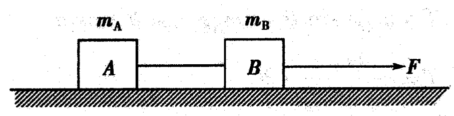
$$N=mg+ma\sin\theta$$

水平方向:设水平向右为正方向

$f=ma\cos\theta$

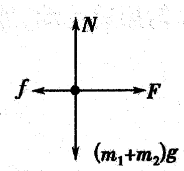


例8:$\mu_A=\mu_B=\mu$,求T.



解:对A、B整体:

在水平面设向右为正方向



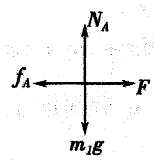
$$F-\mu N=(m_1+m_2)a$$

在竖直方向 $N=(m_1+m_2)g$

$\therefore a=\dfrac{F}{m_1+m_2}-\mu g$

对A:

在水平面设向右为正方向



$$T-\mu N_A=m_Aa$$

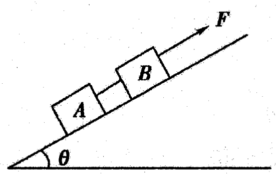
在竖直:$N_A=m_Ag$

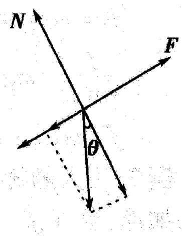
$\therefore T=\mu m_Ag+m_A\left(\dfrac{F}{m_A+m_B}-\mu g\right)$

$\therefore T=\dfrac{m_A}{m_A+m_B}F$

(拉力与物体运动状态无关)

例9:$\mu_A=\mu_B=\mu$,求T.





解:对整体有:

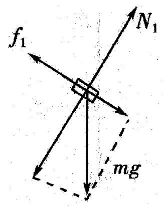
在平行斜面:设沿斜面向上为正

$F-(m_A+m_B)g\sin\theta-\mu N=(m_A+m_B)a$

在垂直斜面:$N=(m_A+m_B)g\cos\theta$

$\therefore F-(m_A+m_B)g\sin\theta-\mu(m_A+m_B)g\cos\theta=(m_A+m_B)a$

对 A:



在平行斜面:设沿斜面向上为正

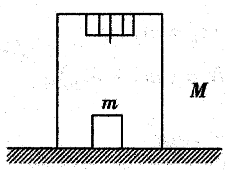
$$T-m_Ag\sin\theta-\mu N_A=m_Aa$$

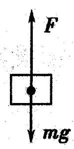
在垂直斜面:$N_A=m_Ag\cos\theta$

则 $T=m_Ag\sin\theta+\mu m_Ag\cos\theta+m_Aa$

$$T=\frac{m_A}{m_A+m_B}\cdot F.$$

例 10:不通电,$N=(m+M)g$,通电后,m 向上以 a 匀加速运动,地面对 M 的支持力 = ?



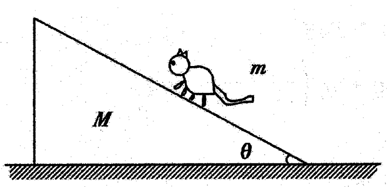


对 m:$F-mg=ma$

$F=mg+ma$

对 M:$N=Mg+mg+ma.$

例 11:猫以 a 沿面向上匀加速运动,求地面的支持力.

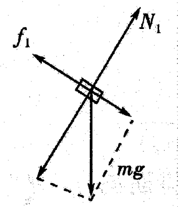


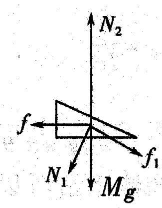
猫:$\begin{cases}N_1=mg\cos\theta\\ f_1=mg\sin\theta+ma\end{cases}$

面:$N_2=Mg+N_1\cos\theta+f_1\sin\theta$

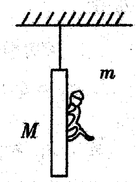
$\quad=Mg+mg+ma\sin\theta$

超重 $ma\sin\theta$



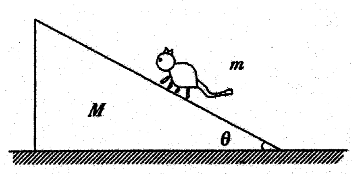


例 12:猴以 a 沿杆向下匀加速,求绳对杆的拉力.



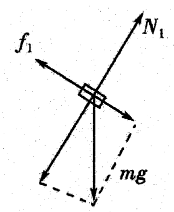
$$T=\underbrace{(m+M)g}_{\text{整体}}-\underbrace{ma}_{\text{失重}}$$

例 14:猫以 a 匀加速向下,求地面对斜面的支持力.



对猫:$N_1=mg\cos\theta$

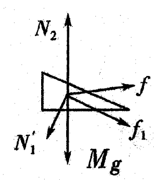
$\quad f_1=mg\sin\theta-ma$



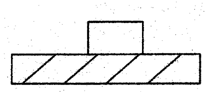
对斜面:

$N_2=mg+N_1\cos\theta+f_1\sin\theta$

$\quad=(m+M)g-ma\sin\theta$



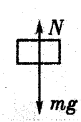
例 15:一起以初速度 v_0 向上抛出,求示数.



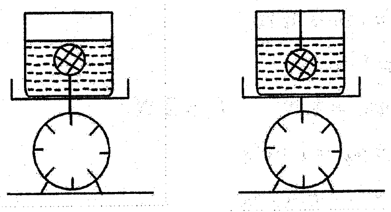
解:对整体:$mg-N=ma$

$N=0$

($a=g\downarrow$ 完全失重)



例 16:剪断绳示数变化.

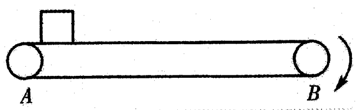


解:左:球↑失重,水失重＜球超重

右:球↓失重,水失重＜球超重

∴示数都变小

例 17:(1)传送带　$L_{AB}=20\ \mathrm{m}, v_0=6\ \mathrm{m/s}, \mu=0.3$,求物体从 A 到 B 的时间.



$\mu N=ma, N=mg$

$\therefore a=\mu g \qquad \therefore a=3\ \mathrm{m/s^2}$

当 $v=v_0$ 时,$t_1=\dfrac{v_0}{a}$

$t_1=2\ \mathrm{s} \qquad s_1=\dfrac{1}{2}at_1^2 \qquad \therefore s_1=6\ \mathrm{m}$

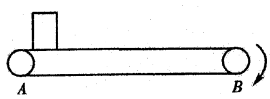
$\therefore s_2=14\ \mathrm{m} \qquad t_2=\dfrac{s_2}{v_2} \qquad \therefore t_2=\dfrac{7}{3}\ \mathrm{s}$

$\therefore t=t_1+t_2 \qquad \therefore t=4.33\ \mathrm{s}$

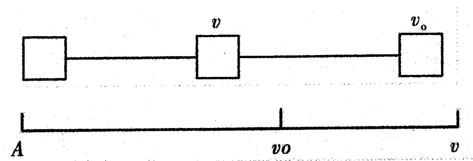
(2)传送带 $\mu=0.2, a=3\ \mathrm{m/s^2}$ 匀加速,当传送带速度达 $v_0=6\ \mathrm{m/s}$ 时匀速运动,$L_{AB}=50\ \mathrm{m}$. 求到 B 端 t 与 v_B.

解:$\mu mg=ma_1$

$a_1=\mu g=2\ \mathrm{m/s^2}$



物体:$v_0=a_1t_1 \qquad t_1=3\ \mathrm{s}$

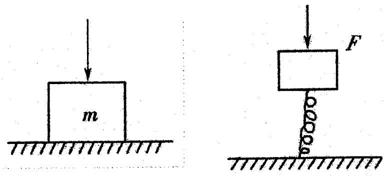


$s=\dfrac{1}{2}a_1t_1^2 \qquad s_1=9\ \mathrm{m}$

$s_2=41\ \mathrm{m}=v_0t_2 \qquad \therefore t_2=\dfrac{41}{6}\ \mathrm{s}$

$\therefore t=t_1+t_2=9.85\ \mathrm{s}$

(3)



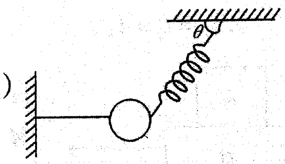
力 F 撤掉后求 a.

解:微小形变:由物体状态与趋势重新分析

明显形变:瞬间弹力不变

左:$a=0$　　右:$a=-\dfrac{F}{m}$

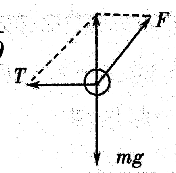
(4)



①只剪断绳 $a_1=?$

②只剪断弹簧 $a_2=?$

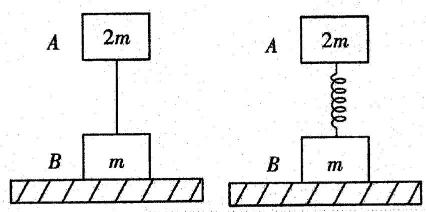
$T=\dfrac{mg}{\tan\theta} \qquad F=\dfrac{mg}{\sin\theta}$



①$a=\dfrac{g}{\tan\theta}$(向右)

②$a=g$(向下)

(5)



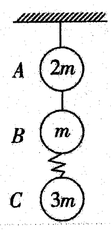
撤掉木板.

A、B 加速度.

左:A:g　　B:g　　(整体分析)

右:$A=0$　　$B=3g$　　(整体分析)

(6)

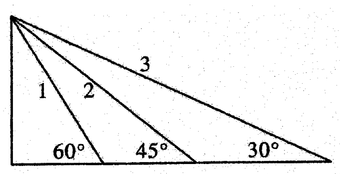


剪断最上绳,

求 A、B、C 加速度.

A:$2g$　B:$2g$　C:0

例 18:

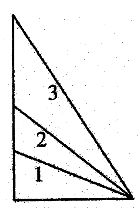


(1)$s=\dfrac{h}{\sin\theta}=\dfrac{1}{2}g\sin\theta\cdot t^2$

$\therefore t=\sqrt{\dfrac{2h}{g\sin^2\theta}}$

$\therefore t_1<t_2<t_3$

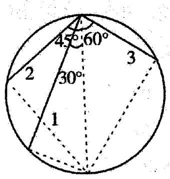
(2)



$s=\dfrac{L}{\cos\theta}=\dfrac{1}{2}g\sin\theta\cdot t^2$

$\therefore t=\sqrt{\dfrac{4L}{g\sin 2\theta}}$

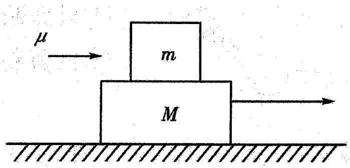
$\therefore t_1<t_2=t_3$

(3) 

$S=2R\sin\theta=\frac{1}{2}g\sin\theta\cdot t^2$

$\therefore t=\sqrt{\frac{4R}{g}}$

$\therefore t_1=t_2=t_3$

例 19: 

$m=1$ kg, $M=2$ kg, $\mu=0.2$

$F=3$ N时, $a=?$　　$F=12$ N时 $a=?$

解:设一起运动

①$F_1=(m+M)a_1$

$\therefore a_1=1\ \text{m/s}^2$

$f_{需}=ma_1=1$ N　　$f_m=2$ N

$\therefore a_m=a_M=1\ \text{m/s}^2$

②$F_2=(m+M)a_2$

$\therefore a_2=4\ \text{m/s}^2$

$f_{需}=ma_2=4$ N

对 m: $\mu mg=ma_m$　　$a_m=2\ \text{m/s}^2$

对 M: $12-2=Ma_2$　　$a_M=5\ \text{m/s}^2$

第五章　曲线运动

一、基本概念

1. 定义:轨迹是曲线
2. 性质:变速运动　$a \neq 0$
3. 矢量差:$\Delta v = v_t - v_0$
4. 条件

运动学:a 与 v 不共线　　动力学:F 与 v 不共线

$a \perp v$ 的分量改变 v 的方向　　$F \perp v$ 的分量改变 v 的方向

$a // v$ 的分量改变 v 的大小　　$a // v$ 的分量改变 v 的大小

5. 方法:运动的合成与分解

(1)合运动与分运动

①合运动:物体的真实运动

②分运动:物体参与的几个与合运动效果相同的运动

(2)合运动与分运动的关系

①等效性

②等时性

③独立性

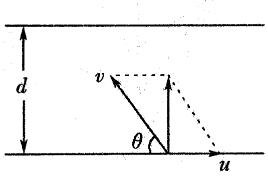
④运算关系:平行四边形法则　$s_1 + s_2 = s$　$v_1 + v_2 = v$　$a_1 + a_2 = a$

6. 应用

(1)小船过河

$\begin{cases} \text{河水流速 } u \\ \text{小船在静水中 } v \\ \text{船身(头)与河岸夹角为 } \theta \end{cases}$

①船过河位移

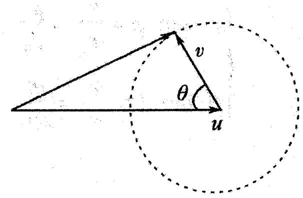


方向:$\cos\theta = \dfrac{u}{v}$

位移:$s_{\min} = d$

条件:$v > u$

如果 $u > v$

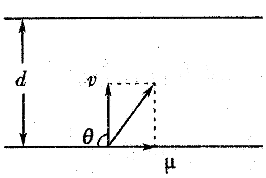


方向:$\cos\theta = \dfrac{v}{u}$

位移:$s_{\min} = \dfrac{d}{\cos\theta} = \dfrac{u}{v}d$

条件:$v < u$

②船过河时间

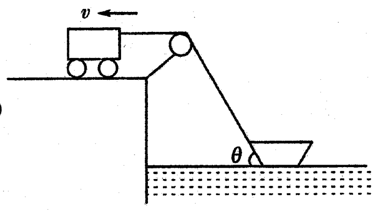


$t = \dfrac{d}{v\sin\theta}$

$\theta = 90°$　$t_{\min} = \dfrac{d}{v}$

(2)连接体

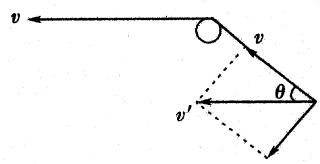
不可伸长的轻绳

① 

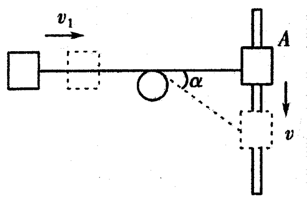
车以 v 匀速，绳与水平成 θ，求此时船速 v'.

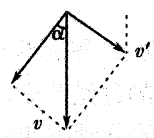
方法：1）分析两物体的合运动；
2）分析运动对绳的效果；
3）找出运动的关系.

关系：改变绳长的分运动一样

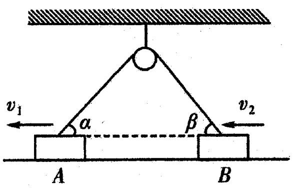


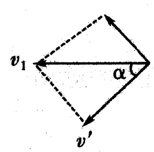
$\therefore v' = \dfrac{v}{\cos\theta}$

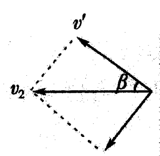
② 



$\therefore v' = v \cdot \sin\alpha$

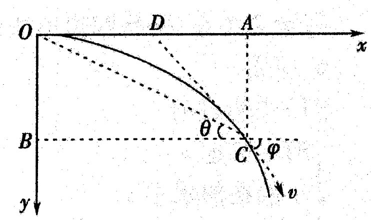
③ 





$\therefore v_2 = \dfrac{v_1 \cdot \cos\alpha}{\cos\beta}$ $\qquad v' = v_1\cos\alpha \qquad v' = v_2\cos\beta$

二、平抛运动



$OD = AD$

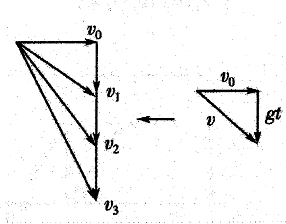
1. 定义：物体以 v_0 水平抛出

2. 规律（不计阻力） $\quad mg = ma \qquad a = g\downarrow$

（1）是匀变速曲线 $\qquad \Delta v = v_t - v_0 = gt$

（2）平抛的合成与分解

①水平：以 v_0 匀速
②竖直：自由落体

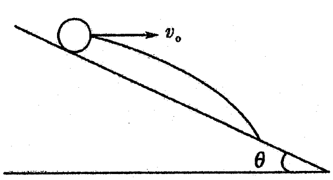


$$\begin{cases} x: v_x = v_0 \quad x = v_0 t \\ y: v_y = gt \quad y = \dfrac{1}{2}gt^2 \end{cases} \qquad \begin{cases} \varphi: \tan\varphi = \dfrac{v_y}{v_x} = \dfrac{gt}{v_0} \quad \text{速度偏向角} \\ \theta: \tan\theta = \dfrac{y}{x} = \dfrac{gt}{2v_0} \quad \text{位移偏向角} \end{cases}$$

$\therefore \tan\varphi = 2\tan\theta$

（3）轨迹方程

$y = \dfrac{g}{2v_0^2}x^2$

例1： 

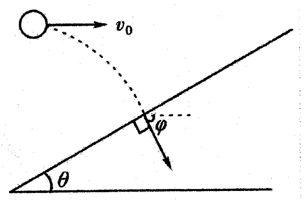
知 v_0，θ，求 t.

解：水平：$x = v_0 t$ 竖直：$y = \dfrac{1}{2}gt^2$

下落时 $\tan\theta = \dfrac{y}{x}$ $\quad \therefore \tan\theta = \dfrac{gt}{2v_0}$

$\therefore t = \dfrac{2v_0}{g}\tan\theta$

例 2：

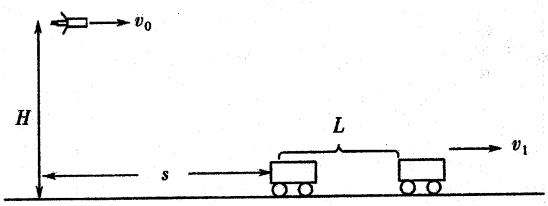


物体恰好垂直落在斜面上，求 t.

解：水平：$v_x=v_0$　竖直：$v_y=gt$

下落时 $\tan\varphi=\dfrac{v_y}{v_x}$　$\therefore \tan\varphi=\dfrac{gt}{v_0}$　又 $\tan\varphi=\dfrac{1}{\tan\theta}$　$\therefore t=\dfrac{v_0}{g\tan\theta}$

例 3：



$s=?$ 时投弹

$\Delta t=?$

解：竖直：$H=\dfrac{1}{2}gt^2$　$\therefore t=\sqrt{\dfrac{2H}{g}}$

水平：$x=v_0t=s+v_1t$　$\therefore s=(v_0-v_1)\sqrt{\dfrac{2H}{g}}$

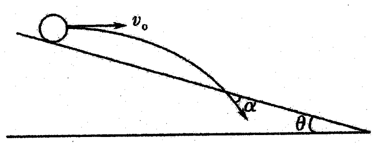
相邻两枚炮弹落地间隔相等.

等于释放间隔 Δt　　炮弹恰好炸到第二辆车

对飞机 $\Delta s=v_0\Delta t$　　$\Delta s=\Delta L+L$　$\therefore \Delta t=\dfrac{L}{v_0-v_1}$

对车 $\Delta L=v_1\Delta t$

例 4：



$\alpha=30°$

$v_0\to 2v_0$　α 变化情况

解：位移偏向角不变

$\therefore$ 速度偏向角不变→α 不变

3. 探究平抛运动

方法：描点法

(1) 每次小球运动一样
　(同位置释放)

(2) 调整末端切线水平
　(小球平抛)

(3) 描点

(4) 画轨迹

三、斜抛运动

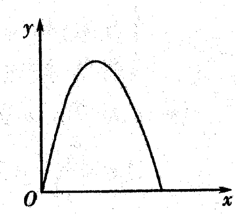
1. 定义：物体以 v_0 斜上(下)抛出

2. 规律(不计阻力)

(1) 性质：匀变速曲线运动

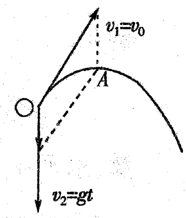
(2) 斜抛的合成与分解

①水平匀速　$v_x=v_0\cos\theta$　$x=v_0t\cos\theta$



②竖直上抛　$v_y=v_0\sin\theta-gt$　$y=v_0t\sin\theta-\frac{1}{2}gt^2$

(3)结论



①上升的时间 $t_上=\frac{v_0\sin\theta}{g}$

②上升的最大高度 $H=\frac{v_0^2\sin^2\theta}{2g}$

③从抛出到初始高度的总时间　$t_合=\frac{2v_0\sin\theta}{g}$

④水平射程 $s=\frac{v_0^2\sin2\theta}{g}$　当 $\theta=45°$时,$s_{max}=\frac{v_0^2}{g}$

四、匀速圆周运动

1. 定义:速度大小不变,轨迹是圆周
2. 条件:
(1)运动学　　$a\perp v$ 且 a 大小不变
(2)动力学　　$F\perp v$ 且 F 大小不变
3. 性质:变加速曲线运动
4. 物理量
(1)快慢

①线速度　$v=\frac{\Delta L}{t}$(m/s)

$\begin{cases}\text{大小:一段时间运动的弧长与时间的比值}\\\text{意义:描述物体沿圆周轨迹运动快慢}\end{cases}$

②角速度　$\omega=\frac{\Delta\theta}{t}$(rad/s)

$\begin{cases}\text{大小:一段时间绕圆心转过的角度与时间的比值}\\\text{意义:描术物体绕圆心转动快慢}\end{cases}$

线速度、角速度都是矢量

(2)周期与频率

①周期:完成一周的时间 T

②频率:单位时间内完成周期的次数 f

$f=\frac{1}{T}$

③转速(转数):单位时间转的圈数 n(r/s)

$f=n$

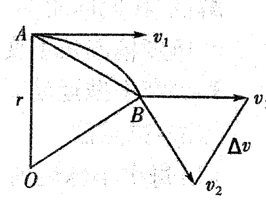
(3)向心加速度

$\begin{cases}\text{大小:}a=\frac{v^2}{r}\\\text{方向:指向圆心}\\\text{意义:描述物体速度方向变化快慢的物理量}\end{cases}$

(4)v、ω、T、f、a 关系

①$v=\frac{2\pi r}{T}=2\pi rf=\omega r$

推导:



$\frac{\Delta v}{v}=\frac{AB}{r}$

$\Delta v=\frac{v}{r}\cdot AB$

$a=\frac{\Delta v}{t}=\frac{v}{r}\cdot\frac{AB}{t}$

当 $t\to0$

$AB=\overset{\frown}{AB}=vt$

$\therefore a=\frac{v}{r}\cdot\frac{vt}{t}=\frac{v^2}{r}$

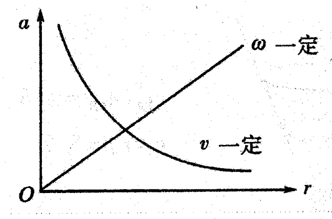
$a=\frac{v^2}{r}=\omega^2r=\omega v$

当 v 一定时,a 与 r 成反比;

当 w 一定时,a 与 r 成正比.

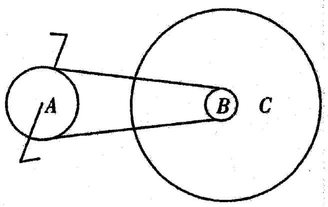
②$\omega=\frac{2\pi}{T}=2\pi f=\frac{v}{r}$

③$a=\frac{v^2}{r}=\omega^2 r=\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r$



$a=\omega v$

例 1:



$r_A:r_B:r_C=3:1:10$

求 A、B、C 边缘上点 v、ω、a 之比

解:$v_A:v_B:v_C=1:1:10$

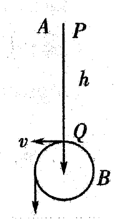
$\omega_A:\omega_B:\omega_C=1:3:3$

$a_A:a_B:a_C=1:3:30$

与皮带接触的点线速度大小相等

共轴物体上的点角速度大小相等

例 2:当 A 由 P 到 Q 时,A、B 有相同的速度大小,求 v、ω、r.(A 自由落体)



解:$v^2=2gh\quad v=\sqrt{2gh}\qquad h=\frac{1}{2}gt^2\quad t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$

$t=\left(\frac{1}{4}+n\right)\cdot T=\left(\frac{1}{4}+n\right)\frac{2\pi}{\omega}$

$\therefore\ \omega=\frac{2\pi\left(\frac{1}{4}+n\right)}{t}=\pi\left(\frac{1}{4}+n\right)\sqrt{\frac{2g}{h}}$

$r=\frac{v}{w}=\sqrt{2gh}\cdot\sqrt{\frac{h}{2g}}\cdot\frac{1}{\pi\left(\frac{1}{4}+n\right)}=\frac{h}{\pi\left(\frac{1}{4}+n\right)}\qquad(n=1,2,3,\cdots)$

(5)向心力

①定义:物体的合力在垂直于速度方向的分量,是效果力

②表达式:$F_{心}=m\frac{v^2}{r}=m\omega^2 r=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r$

③曲率半径 $r=r_{圆}$

对于一般的曲线运动

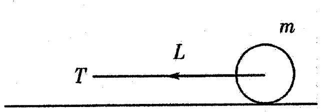
重新定义向心加速度、向心力

$$\begin{cases}a_{心}=\frac{v^2}{r}=\omega^2 r\\ F_{心}=m\frac{v^2}{r}=m\omega^2 r\end{cases}$$

$\begin{cases}a_{心}:\text{加速度在垂直于速度方向上的分量}\\ F_{心}:\text{合力在垂直于速度方向上的分量}\end{cases}$

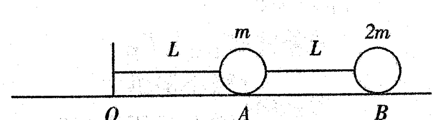
5. 应用

例 1:给球⊥绳的 v_0,则 $T=?$

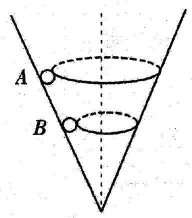


$T=m\frac{v_0^2}{L}$

例 2:A、B 两球一起绕轴在水平面上匀速转动,求 OA、AB 段受力之比.

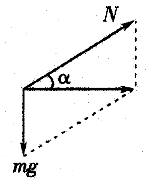


$\frac{F_A}{F_B}=\frac{m\omega^2 L}{2m\omega^2\cdot 2L}=\frac{1}{4}\qquad\therefore\ F_{OA}:F_{AB}=5:4$

例 3：

$m_A : m_B = 2:3$，

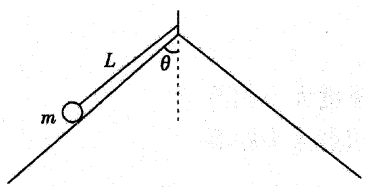
$r_A : r_B = 3:2$



求 $a_A : a_B, v_A : v_B, w_A : w_B$.

解：$a = \frac{g}{\tan\alpha}$　$\therefore \frac{a_A}{a_B} = \frac{1}{1}$

$\frac{v_A}{v_B} = \sqrt{\frac{a_A r_A}{a_B r_B}} = \sqrt{\frac{1\times3}{1\times2}} = \frac{\sqrt{6}}{2}$　　$\frac{\omega_A}{\omega_B} = \sqrt{\frac{a_A/r_A}{a_B/r_B}} = \sqrt{\frac{2}{3}} = \frac{\sqrt{6}}{3}$

例 4：

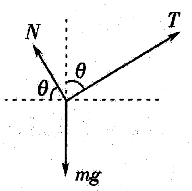
球以 ω 匀速转动时，求 N, T.

解：①当球与面恰无压力时 $\omega = \omega_0$

$mg\tan\theta = m\omega_0^2 r = m\omega_0^2 L\sin\theta$

$\therefore \omega_0 = \sqrt{\frac{g}{L\cos\theta}}$

$N = 0, T = \frac{mg}{\cos\theta}$



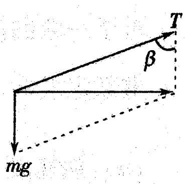
②$\omega < \omega_0$ 时

$\begin{cases} T\cos\theta + N\sin\theta = mg \\ T\sin\theta - N\cos\theta = m\omega^2 L\sin\theta \end{cases}$

$\therefore \begin{cases} T = mg\cos\theta + m\omega^2 L\sin^2\theta \\ N = mg\sin\theta - m\omega^2 L\sin\theta\cos\theta \end{cases}$

③$\omega > \omega_0$ 时

$\begin{cases} T = \frac{mg}{\cos\beta} \\ N = 0 \end{cases}$



$m\omega^2 L\sin\beta = mg\tan\beta$

$\therefore \cos\beta = \frac{g}{\omega^2 L}$

$\therefore T = m\omega^2 L$

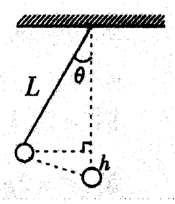
例 5：球到达最低点时，求 v, ω, a.

$v = \sqrt{2gL(1-\cos\theta)}$

$\omega = \sqrt{\frac{2g}{L}(1-\cos\theta)}$

$a = 2g(1-\cos\theta)$

若 $\theta = 90°, a = 2g$



五、生活中的圆周运动

1. 两种现象

(1)离心现象

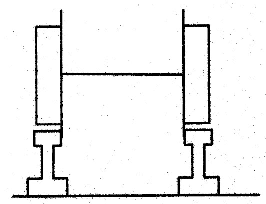
①条件：$F_{提供} < F_{需}$

②应用$\begin{cases} \text{减小提供力} \\ \text{增大需要力(增大 } v\text{)} \end{cases}$

(2)向心现象

①条件：$F_{提供} > F_{需}$

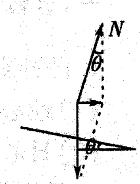
②应用$\begin{cases}增大提供力\\减小需要力\end{cases}$



2. 火车转弯

$v_{实} = \sqrt{gr\tan\theta}$

$\begin{cases}v > v_{实}：外轨有侧向弹力\\v < v_{实}：内轨有侧向弹力\end{cases}$

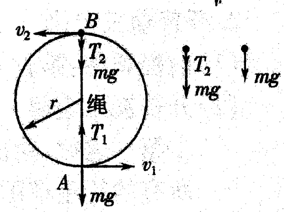


3. 竖直面的圆周运动

(1)轻绳连小球

在 A 处，$T_1 - mg = m\frac{v_1^2}{r}$　　在最低点，$T_1 = mg + m\frac{v_1^2}{r}$

在 B 处，$T_2 + mg = m\frac{v_2^2}{r}$　　在最高点，$T_2 = m\frac{v_2^2}{r} - mg$



∴ 在最低点绳有最大拉力

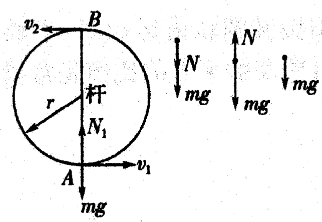
在最高点绳有最小拉力

当 $v = \sqrt{gr}$ 时，$mg = m\frac{v^2}{r}$

做完整圆周运动的条件

$\begin{cases}最高点：v \geqslant \sqrt{gr}\\最低点：绳不断\end{cases}$

(2)轻杆连小球



在 A 处，$N_1 - mg = m\frac{v_1^2}{r}$

在最低点 $N_1 = mg + m\frac{v_1^2}{r}$

在 B 处，

①当杆 N 恰好为 0

$mg = m\frac{v_{20}^2}{r}$　　∴ $v_{20} = \sqrt{gr}$

②当 $v_2 > v_{20}$ 时，弹力向下

$N + mg = m\frac{v_2^2}{r}$

当 v_2 从 v_{20} 增大，N 从 0 增大

③当 $v_2 < v_{20}$ 时，弹力向上

$mg - N = m\frac{v_2^2}{r}$

当 v_2 从 0 增大到 $\sqrt{gr}$，N 从 mg 减小到 0

做完整圆周运动的条件

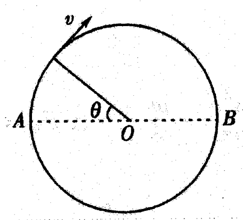
$v_2 \geqslant 0$

用轻杆连接小球，则通过某点的临界速度

①在 AB 下方：$v \geqslant 0$

②在 AB 上方：$m\frac{v^2}{r} \geqslant mg\sin\theta$

$v \geqslant \sqrt{gr\sin\theta}$



汽车过拱形桥，则通过某点的临界速度：

$m\frac{v^2}{r} \leqslant mg\sin\theta$

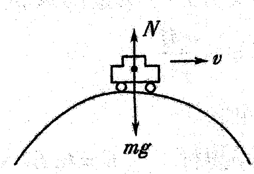
$v \leqslant \sqrt{gr\sin\theta}$

4. 车辆过桥

$mg - N = m\frac{r^2}{r}$

$N = mg - m\frac{v^2}{r} \geqslant 0$

∴ $v \leqslant \sqrt{gr}$



第六章　万有引力与航天

一、天体运动

1. 两种观点

(1)地心说:托勒密

(2)日心说:哥白尼

2. 开普勒三定律

(1)前提条件:第谷·布拉赫对天体观察记录的数据

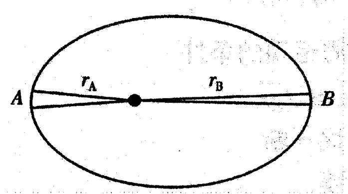
(2)开普勒三定律

①第一定律:轨道定律

所有的行星都围绕太阳做椭圆轨道运动,太阳位于椭圆的一个焦点上,椭圆近似于圆周.

②第二定律:面积定律

行星到太阳的连线在相等的时间扫过的面积相等.



$\frac{1}{2}\overset{\frown}{l_A}r_A=\frac{1}{2}\overset{\frown}{l_B}\cdot r_B$

$v_At\cdot r_A=v_Bt\cdot r_B$

$\therefore v_Ar_A=v_Br_B$

③第三定律:周期定律

行星绕太阳做椭圆轨道运动时,半长轴的立方与各自周期的平方的比值是常量.

$\frac{a^3}{T^2}=k$

二、万有引力定律

1. 定义:物体因质量而具有的吸引力

2. 推导

$$\begin{cases}F_{引}=m(\frac{2\pi}{T})^2r\\ \frac{r^3}{T^2}=常量\end{cases}$$

$$F_{引}=m\frac{4\pi^2}{T^2}\cdot\frac{r^3}{r^2}=\frac{4\pi^2r^3}{T^2}\cdot\frac{m}{r^2}\qquad\therefore F_{引}\propto\frac{m}{r^2}$$

又 $F_{引}\propto\frac{M}{r^2}$

$F_{引}$ 即 $\propto\frac{m}{r^2}$ 又 $\propto\frac{M}{r^2}$　　$\therefore F_{引}\propto\frac{mM}{r^2}$　　$\therefore F_{引}=G\frac{mM}{r^2}$　　$k=\frac{GM}{4\pi^2}$

3. 定律

(1)物体间吸引力与质量的乘积成正比,与距离的平方成反比的规律.

(2)公式:$F=G\frac{mM}{r^2}$

(3)G 值的测定

卡文迪许扭秤　　$G=6.67\times10^{-11}\ N\cdot m^2/kg^2$

(4)公式成立条件

①质点

②质量分布均匀的球体　　$r=$球心间距离

三、万有引力的应用

1. 提供重力

(1)在表面上物体

①意义:是万有引力的分力

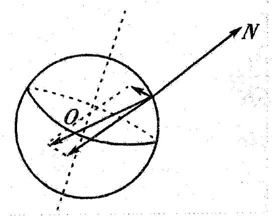
②大小:$mg=G\dfrac{mM}{R^2}$　　$gR^2=GM$

③方向:竖直方向向下

(2)物体不随地球自转

重力与万有引力合二为一

$g'=G\dfrac{M}{r^2}$　　$g\begin{cases}\text{从赤道到两极}:g\text{ 变大}\\ \text{远离地面}:g\text{ 变小}\end{cases}$



月球绕地球做圆周运动的向心加速度,大小等于地球在月球处的重力加速度

$G\dfrac{Mm}{r^2}=mg'=ma$

$\therefore g'=a$

2. 提供天体匀速圆周的向心力

(1)A:m,r,v,a,ω,T

B:中心天体,M,G

$G\dfrac{Mm}{r^2}=ma_{心}=m\dfrac{v^2}{r}=m\omega^2r=m(\dfrac{2\pi}{T})^2r$

$\begin{cases}a_{心}=G\dfrac{M}{r^2} & v=\sqrt{\dfrac{GM}{r}}\\ \omega=\sqrt{\dfrac{GM}{r^3}} & T=\sqrt{\dfrac{4\pi^2r^3}{GM}}\end{cases}$

绕同一个中心天体

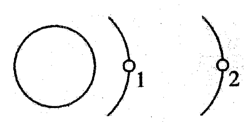
$a_{心}\propto\dfrac{1}{r^2}$　　$v\propto\sqrt{\dfrac{1}{r}}$

$\omega\propto\sqrt{\dfrac{1}{r^3}}$　　$T\propto\sqrt{r^3}$

(2)绕不同中心天体

$a_{心}\propto\dfrac{M}{r^2}$　　$v\propto\sqrt{\dfrac{M}{r}}$

$\omega\propto\sqrt{\dfrac{M}{r^3}}$　　$T\propto\sqrt{\dfrac{r^3}{M}}$

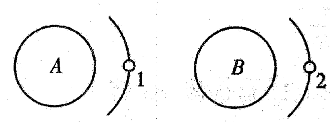


同一中心天体

若 $m_1:m_2=1:2$　$r_1:r_2=2:3$,

则 $a_1:a_2=9:4$　$v_1:v_2=\sqrt{3}:\sqrt{2}$

$\omega_1:\omega_2=3\sqrt{3}:2\sqrt{2}$　$T_1:T_2=2\sqrt{2}:3\sqrt{3}$



不同中心天体

若 $m_A:m_B=1:2$　$m_1:m_2=1:2$

$r_1:r_2=1:2$

则 $a_1:a_2=2:1$　$v_1:v_2=1:1$

$\omega_1:\omega_2=2:1$　$T_1:T_2=1:2$

3. 计算中心天体质量及密度

(1)应用重力信息

①在地球表面知 g、R、G

表面任意物体 m_0

$m_0g=G\dfrac{Mm_0}{R^2}$　　$M=\dfrac{gR^2}{G}$,$\rho=\dfrac{3g}{4\pi RG}$

②在离地心 r 处知 g',G

求中心天体质量至少需 3 个量

(其中必须已知 G)

注:G、ω、T 不能求出中心天体质量

求中心天体密度至少需 4 个量

(其中必须 已知 G、r)

注:G、r、ω、T 不能求出中心天体密度

$$m_0g'=G\frac{Mm_0}{r^2}\qquad M=\frac{g'r^2}{G},\rho=\frac{3g'r^2}{4\pi GR^3}$$

(2)应用提供向心力信息

A 绕 B 匀速圆周,知 v,r,G

①$G\frac{m_AM_B}{r^2}=m_A\frac{v^2}{r}$

$M_B=\frac{v^2r}{G},\rho_0=\frac{3v^2r}{4\pi GR^3}$

②A 绕 B,知 ω,r,G

$G\frac{m_AM_B}{r^2}=m_A\omega^2r$

$M_B=\frac{\omega^2r^3}{G},\rho_B=\frac{3\omega^2r^3}{4\pi GR^3}$

③A 绕 B,知 T,r,G

$G\frac{m_AM_B}{r^2}=m_A(\frac{2\pi}{T})^2r$

$M_B=\frac{4\pi^2r^3}{GT^2},\rho_B=\frac{3\pi r^3}{GT^2R^3}$

4. 卫星的发射

$F_万=F_心$

(1)轨道的特点

圆心是地心

(2)成为卫星的条件

$G\frac{Mm}{R^2}\leqslant m\frac{v^2}{R}$

对地球表面上任意物体 m_0 有

$$m_0g=G\frac{Mm_0}{R^2}=m_0\frac{v^2}{R}\qquad v\geqslant\sqrt{\frac{GM}{R}}=\sqrt{gR}$$

$\therefore v\geqslant 7.9$ km/s

(3)宇宙速度

①第一宇宙速度

1)意义:物体成为卫星的最小地面发射速度;圆绕地球做圆周运动的最大环绕速度

2)特点:$F_万=F_心,r=R$

$$v_1=\sqrt{gR}=\sqrt{\frac{GM}{R}}=7.9\text{ km/s}$$

3)周期:$G\frac{Mm}{R^2}=m(\frac{2\pi}{T})^2R$

$$T=\sqrt{\frac{4\pi^2R^3}{GM}}=\sqrt{\frac{4\pi^2R}{g}}=84\text{ min}=1.4\text{ h}$$

②第二宇宙速度

1)意义:脱离地球而绕太阳转动的最小地面发射速度

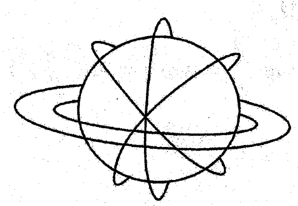
2)大小:$v_2=11.2$ km/s

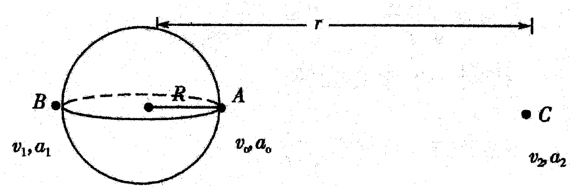
若星球绕中心天体表面匀速圆周运动,求中心天体密度只需 T 或 $\omega(r=R)$

$$\begin{cases}M_{太阳}=2.0\times10^{30}\text{ kg}\\ m_{地球}=5.8\times10^{24}\text{ kg}\\ R_{日地}=1.5\times10^{11}\text{ m}\\ F_{日地}=3.5\times10^{22}\text{ N}\end{cases}$$

若 A 贴着 B 表面圆周运动.$(R=r)$

则 $\rho_B=\frac{3\pi}{GT^2}=\frac{3\omega^2}{4\pi G}$





A 为赤道上物体,B 为以第一宇宙速度运动的物体,C 为同步卫星,求 $v_0:v_1:v_2$、$a_0:a_1:a_2$.

$$\begin{cases}v_0:v_2=R:r\\ v_1:v_2=\sqrt{r}:\sqrt{R}\end{cases}$$

$\therefore v_0:v_1:v_2=\frac{R}{r}:\sqrt{\frac{r}{R}}:1$

$$\begin{cases}a_0:a_2=R:r\\ a_1:a_2=r^2:R^2\end{cases}$$

$\therefore a_0:a_1:a_2=\frac{R}{r}:\frac{r^2}{R^2}:1$

③第三宇宙速度

1)意义:逃离太阳系的最小地面发射速度

2)大小:$v_3 = 16.7\ \mathrm{km/s}$

(4)同步卫星

①定义:相对地面静止不动

②轨道的特征:只能在赤道上方

$$G\frac{Mm}{r^2} = m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r \quad r = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}$$

$$mg = G\frac{Mm}{r^2} \quad \therefore r = \sqrt[3]{\frac{gR^2T^2}{4\pi^2}}$$

$r = 4.2\times10^7\ \mathrm{m}$　$h = 3.6\times10^7\ \mathrm{m}$

5. 双星

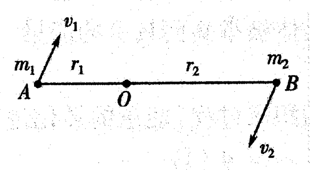
(1)定义:相互靠近,相对独立

(2)受力:绕连线上的某点匀速圆周运动

$$\begin{cases} F_{心1} = F_{心2} \\ \omega_1 = \omega_2 \end{cases}$$

$$m_1\omega^2 r_1 = m_2\omega^2 r_2$$

(3)规律:$\frac{r_1}{r_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}$



$$r_1 = \frac{m_2}{m_1+m_2}(r_1+r_2) \quad r_2 = \frac{m_1}{m_1+m_2}(r_1+r_2)$$

$$m_1 + m_2 = \frac{4\pi^2(r_1+r_2)^3}{GT^2}$$

第七章　机械能守恒定律

一、基本概念

1. 能量:在一切自然界的现象中的守恒量,是状态量,有多种形式,可以由一种形式转化为另一种形式,也可以由一个物体转移到另一个物体.

2. 机械能的两种形式

(1)动能:由于物体具有速度而具有的能量

(2)重力势能:由于物体被举高而具有的能量

3. 功

(1)定义:力在空间的积累过程(能量的转化过程)

(2)表达式:$W=F\cdot s\cdot\cos\theta$ (J)

(3)标量:有正、负,无方向

①$0\leqslant\theta<90°$　$W>0$

以提供能量方式促进运动

②$90°<\theta\leqslant180°$　$W<0$

以消耗能量方式阻碍运动

功的正负不能用于比较大小

(4)意义:是能量转化的原因及量度

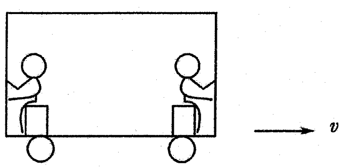
功在数值上等于转化的能量但不是转化的能量

(5)恒力功的计算

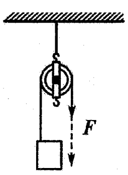
例1:在一辆匀速 v 向右运动的车里,人用恒力 F 推车,人的推力是否做功?　(是)

$\begin{cases}人在右(位移\ s) & W=Fs\\ 人在左(位移\ s) & W=-Fs\end{cases}$

(人不做功,推力做功)



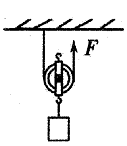
例2:



在恒力 F 作用下,物体向上位移 h,求 W_F.

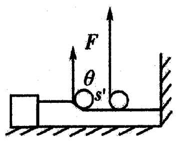
$W_F=Fh$　　$E_{外}\xrightarrow{W_F}绳\xrightarrow{W_{绳}}E_{物}$

例3:



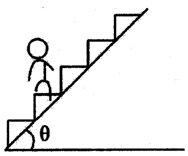
恒力 F,物体向上位移 h,求 W_F.

$W_F=2Fh$

例 4：

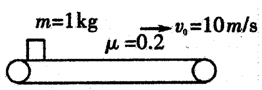
恒力 F，物体水平位移 s，求 W_F.

$W_F = Fs'\cos\theta = Fs$

例 6：　m 的人匀速上楼，升高了 h，求楼梯对人做的功.

（人内力做功：$W = mgh$）

人在水平路面上走路，也是人内力做功（人体内发生化学反应提供能量）

例 7：　求经 $t = 8$ s，f 对物块和传送带做的功 W_1、W_2.

解：对物块：$a = \mu g$　$\therefore a = 2\ \text{m/s}^2$

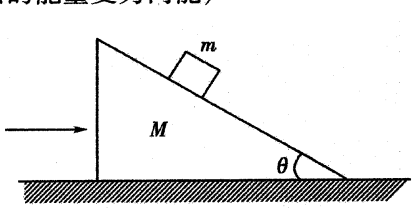
$t = \dfrac{v_0}{a}$　$\therefore t = 5$ s　　$s_1 = \dfrac{v_0}{2}t$　$\therefore s_1 = 25$ m

$W_1 = f \cdot s_1 = 50$ J

对传送带：$s_2 = v_0 t = 50$ m

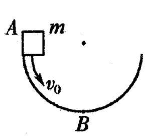
$W_2 = -f \cdot s_2 = -100$ J

（多余的能量变为内能）

例 8：

光滑水平面上，在水平恒量力 F 作用下一起向右匀加速了 s，求 M 对 m 的功.

$W = ma \cdot s = \dfrac{mF}{m+M} \cdot s$

例 9：

物体以 v_0 沿圆弧从 A 滑到 B，半径为 R，求摩擦力 f 做的功.

解：m 做匀速圆周运动. $W_{合} = 0$　　（支持力不做功）

$W_{合} = W_{mg} + W_f, W_{mg} = mgh$

$\therefore W_f = -mgh$

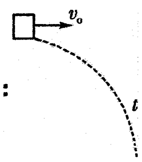
二、功　率

1. 定义:单位时间做功的多少
2. 意义:描述做功快慢
3. 表达式:$P=\frac{W}{t}$(定义式)

(1)平均功率:$P=F\cdot\bar{v}\cdot\cos\theta$

(2)瞬时功率:$P=F\cdot v\cdot\cos\theta$

$$\begin{cases}\bar{P}=F\cdot\bar{v}_F=F_{\bar{v}}\cdot\bar{v}\\ P=F\cdot v_F=F_v\cdot v\end{cases}$$

例:

平抛运动,经过时间 t,求(1)重力的平均功率　(2)重力的瞬时功率

解:(1)$\bar{P}=mg\cdot\frac{0+gt}{2}=\frac{1}{2}mg^2t$　(2)$P=mg\cdot gt=mg^2t$

4. 额定功率

正常工作的功率或正常工作的最大功率　$P_{实}\leqslant P_{额}$

5. 牵引力的功率

(1)牵引力:发动机提供的动力

(2)牵引力的功率:$P=Fv$　$v=\frac{P}{F}$

(3)机动车的最大 $v_m=\frac{P_{额}}{f}$

例:汽车 m 上坡,额定功率 P_0,倾角 θ,阻力恒为 f,求最大速度

$$v_m=\frac{P_0}{f+mg\sin\theta}$$

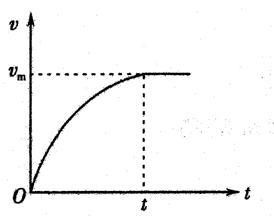
6. 机动车的两种启动方式

(1)以恒定功率启动某汽车,以额定 P_0 启动

$P=P_0=Fv$　v 变大,F 变小

$F-f=ma$　是 a 变小的加速运动

$F=f$ 时　$v=v_m=\frac{P_0}{f}$



$s>\frac{v_m}{2}t$

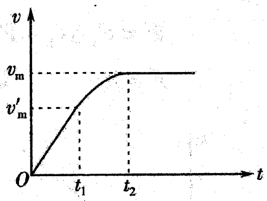
(2)以恒力启动

某汽车先以恒力 F 启动到额定功率后,P_0 不变,继续加速

$F-f=ma$　a 不变　$P=Fv$　P、v 均增大

当 $P=P_0$ 时　$v'_m=\frac{P_0}{F}$　之后 P_0 不变,F 减小

当 $F=f$ 时，$v_m=\dfrac{P_0}{f}$



例 1：汽车动时 f 与 v^2 成正比，当以 v 匀速时，功率为 P，如以 $3v$ 匀速时，$P'=?$

v 匀速：$\begin{cases} F=f=kv^2 \\ P=Fv=kv^3 \end{cases}$

$3v$ 匀速：$P'=F\cdot 3v=k\cdot(3v)^2\cdot 3v=27kv^3=27P$

例 2：汽车 f 与正压力成正比，沿斜面上坡时 v_1，下坡时 v_2，斜面倾角为 θ，求平面运动最大 v_3.

上坡：$F_1=mg\sin\theta+k\cdot mg\cos\theta$ ①

$P_0=F_1v_1$

下坡：$F_2=k\cdot mg\cos\theta-mg\sin\theta$ ②

$P_0=F_2v_2$

水平：$F_3=kmg\quad P_0=F_3v_3$

由①②，$F_3=kmg=\dfrac{F_1+F_2}{2\cos\theta}$

$\dfrac{\frac{P_0}{v_1}+\frac{P_0}{v_2}}{2\cos\theta}\cdot v_3=P_0 \qquad \therefore v_3=\dfrac{2v_1v_2\cos\theta}{v_1+v_2}$

三、重力势能

1. 定义：物体被抬高而具有的能量 E_p
2. 影响因素：h，mg
3. 重力的功是 E_p 转化的原因及量度

   $W=mg(h_1-h_2)=mgh_1-mgh_2$
4. 表达式：$E_p=mgh$ (J)
5. 特点

(1)具有相对性：一定先确定零势面

(2)重力势能的变化是绝对的

(3)势能是标量，但有正负，重力势能正的一定大于负的

$\begin{cases} \text{零势面上方} \quad E_p>0 \\ \text{零势能下面} \quad E_p<0 \end{cases}$

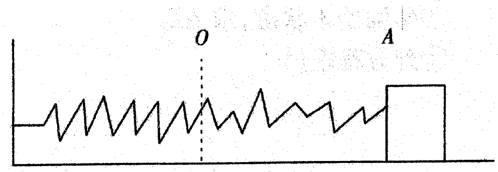
6. 重物的功与 E_p 的关系

(1)$W_{重}=-\Delta E_p$

$\begin{cases} \text{正功} \quad E_p\to E_{其他} \\ \text{负功} \quad E_{其他}\to E_p \end{cases}$

(2)特点：重力做功与路径无关，只与始末状态有关.

四、弹性势能



1. 定义：弹簧因发生形变而具有的能量 E'_p
2. 影响因素 $\begin{cases} \text{弹性形变 } x \\ \text{劲度系数 } k \end{cases}$

3. 表达式

$$A\to 0: W=\frac{1}{2}kx^2=\frac{1}{2}kx^2-0$$
$$=\frac{1}{2}kx_0^2-\frac{1}{2}kx_t^2$$
$$=-\left(\frac{1}{2}kx_t^2-\frac{1}{2}kx_0^2\right)$$

$\therefore E'_p=\frac{1}{2}kx^2$

（x:相对于原长的形变量）

4. 特点:相对性

设原长时 $E'_p=0$

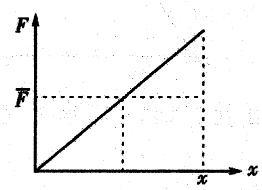
5. 弹力的功与 E'_p

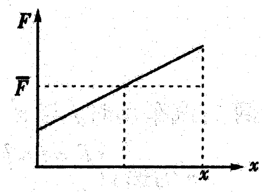
$W_F=-\Delta E'_p$

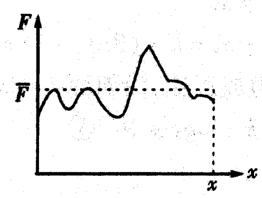
$\begin{cases}\text{正功}: E'_p\to E_{\text{其他}}\\ \text{负功}: E_{\text{其他}}\to E'_p\end{cases}$

$W=F_1\Delta x_1+F_2\Delta x_2+\cdots$　从 A 到 O 的过程

$F=kx$　　$W=\overline{F}\cdot x$　　$W=\frac{0+kx}{2}x=\frac{1}{2}kx^2$







求变力做功的方法 $\begin{cases}\text{平均力 }\overline{F}\\ \text{图像(面积)}\end{cases}$

五、动　能

1. 定义:物体因速度而具有动能

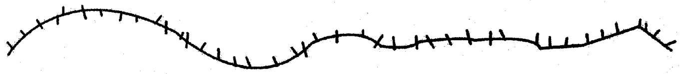
2. 影响因素:v,m

3. 表达式:$E_k=\frac{1}{2}mv^2$

(1)物体匀加速直线运动

$$W_{合}=ma\cdot s=ma\cdot\frac{v_t^2-v_0^2}{2a}=\frac{1}{2}mv_t^2-\frac{1}{2}mv_0^2$$

(2)一般运动



$W_{合}=W_1+W_2+\cdots+W_n$　　$\therefore W_{合}=\frac{1}{2}mv_t^2-\frac{1}{2}mv_0^2$

4. 特点:具有相对性

以地面不动物体为默认参考系

5. 动能定理

(1)定义:合力的功等于物体动能的变化量

(2)表达式:$W_1+W_2+\cdots=\Delta E_k$

(3)应用:W、F、s、E_k、v、m、a

①明确研究对象(m)

②分析物体受力,求合力功

③明确始末状态,求 ΔE_k

④列方程求解

例1:重力做功 32 J,克服弹力做功 10 J,则重力势能 E_p 减少 32 J

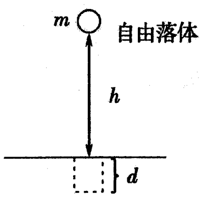
弹性势能 E'_p 增加 10 J

动能 E_k 增加 22 J

共2组能量转化

$\begin{cases}E_p\to E'_p\\ E_p\to E_k\end{cases}$

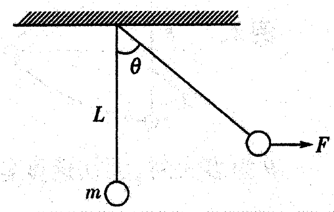
(有几个力做功,就有几组能量转化)

例 2： 

求在沙子里 $\bar{f}=?$

解： $mg(h+d)-\bar{f}d=0$　　$\bar{f}=\dfrac{h+d}{d}mg$

例 3： 球在水平恒力 F 作用下，与竖直方向夹角到 θ 时物体的 $v=?$



$$\begin{cases} W_1=FL\sin\theta \\ W_2=-mgL(1-\cos\theta) \end{cases}$$

$$FL\sin\theta-mgL(1-\cos\theta)=\frac{1}{2}mv^2$$

六、机械能

1. 定义：把动能与势能（重、弹）统称为机械能

2. 影响因素 $\begin{cases} mg、h \\ x、k \\ v \end{cases}$

3. 表达式：$E=mgh+\dfrac{1}{2}kx^2+\dfrac{1}{2}mv^2$

4. 转化条件：

重力、弹力以外的力做功

$W_{重、弹以外}=\Delta E$

5. 机械能守恒

（1）定义：机械能与其他的能量没有转化，机械能不变

（2）条件：只有重力或弹力做功

（3）表达式

①$E_{p0}+E_{k0}=E_{pt}+E_{kt}$

先确定零势面

② $\Delta E_k=-\Delta E_p$

（4）步骤

①明确研究对象（多个物体）

②是否满足条件

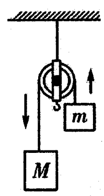
③列方程求解

系统：重力、弹力、重弹以外的力

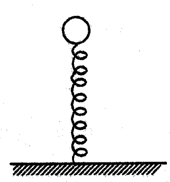
$W_{重}+W_{弹}+W_{重弹以外}=\Delta E_k$

$-\Delta E_p-\Delta E'_p+W_{重弹以外}=\Delta E_k$

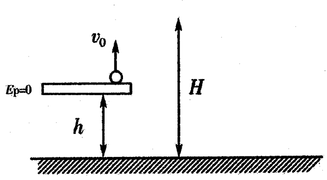
$W_{重弹以外}=\Delta E_k+\Delta E_p+\Delta E'_p=\Delta E$



整个系统机械能守恒

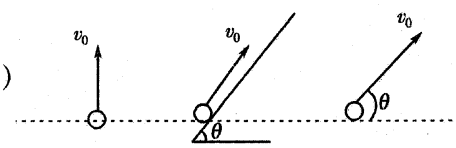


球、地球系统机械能不守恒；球、弹簧、地球系统机械能守恒

例 1：（1）

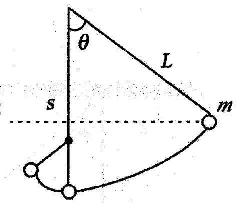
以桌面为零势面，落地时球 $E=$（DE）

A. mgh　　B. $-mgh$　　C. mgH　　D. $mg(H-h)$　　E. $\dfrac{1}{2}mv_0^2$

(2) 

比较上升最大高度 h_1、h_2、h_3.

$h_1 = h_2 > h_3$

例 2： 

θ 为多大时，无初速度释放的小球运动中绳不会松弛？

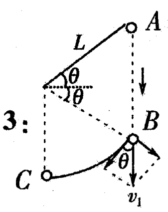
解：①$\cos\theta_1 = \dfrac{s}{L}$　$\theta \leqslant \theta_1$

②以最低点为零势面

则 $E_1 = mgL(1-\cos\theta_2)$　　最高点时 $E_2 = \dfrac{1}{2}mv^2 + mg(L-2s)$

$T + mg = m\dfrac{v^2}{L-s}$　$T \geqslant 0$　　$v \geqslant \sqrt{g(L-s)}$

$\cos\theta_2 = \dfrac{5s-3L}{2L}$　$\theta \geqslant \theta_2$

例 3： 

求最低点时绳的拉力.

解：从 $A \to B$：$2mgL\sin\theta = \dfrac{1}{2}mv_1^2$　　$v_2 = v_1\cos\theta$

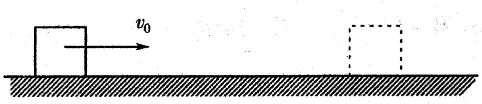
从 $B \to C$：$mgL(1-\sin\theta) = \dfrac{1}{2}mv_3^2 - \dfrac{1}{2}mv_2^2$　　$T - mg = m\dfrac{v_3^2}{L}$

$\therefore T = mg(3 + 2\sin\theta\cos^2\theta)$

七、内　能

$$\begin{cases} ①W_{重} = -\Delta E_p \\ ②W_{弹} = -\Delta E'_p \\ ③W_{合} = \Delta E_k \\ ④W_{重、弹以外} = \Delta E \\ ⑤W_{一对f功和} = -Q \end{cases}$$

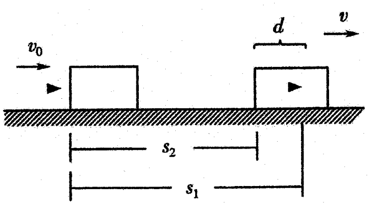
1. 内能：摩擦生热
2. W_f 是产生内能的原因　$E_{其他} \to Q$
3. 产生内能的量度

例 1： 

守恒：$\frac{1}{2}mv_0^2=E_k=Q$

$$\begin{cases}W_1=-fs=-\frac{1}{2}mv_0^2=-Q\\W_2=0\end{cases}$$

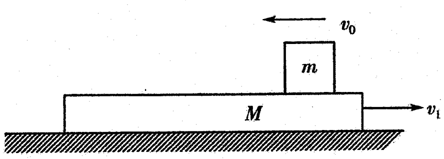
例2：



$\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}Mv^2+Q$　　　$Q=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}Mv^2$

$$\begin{cases}子弹：W_1=-fs_1=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2\\木块：W_2=fs_2=\frac{1}{2}Mv^2\end{cases}$$　　$W_{一对f和}=-f(s_1-s_2)=-fd=-Q$

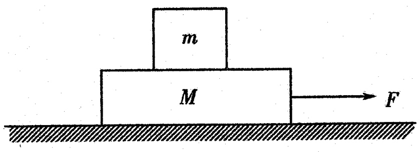
例3：



m、M 都减速后一起匀速运动/静止

$W_{一对f功和}=-fs_{相对}=-Q$

例4：



$W_1>0,W_2<0$　　　$W_1+W_2=0$

$W_{一对f功和}=0$ 或 $-Q$　　　$W_{一对f功和}\leqslant 0$

$\therefore W_{一对f功和}=-fL_{相对}=-Q$　　　$Q\geqslant 0$

4. 摩擦生热的计算式：$Q=fL_{相对}$

八、能量转化守恒

1. 定律：能量既不会被创造，也不会被消失，只能从一种形式转化为另一种形式或从一个物体转移到另一个物体，总量保持不变.

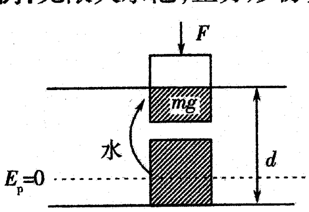
2. 表达式：

(1) 系统外力 F　$W_F=0$　　$\Delta E_{加}=\Delta E_{少}$

(2) 系统外力　$W_F>0$　　$W_F=E_{补}=\Delta E_{加}-\Delta E_{少}$

(3) 系统外力 F　$W_F<0$　　$|W_F|=E_{消}=\Delta E_{少}-\Delta E_{加}$

例：无限大水池，正方形物块，边长为 a，一半在水面上不动，缓慢压入池底，求 $W_F=?$



(1) $F+mg=\rho gS\left(\frac{a}{2}+x\right)$

$mg=\rho gS\cdot\frac{a}{2}$

$\therefore F=\rho gSx$

$W_F=W_1+W_2$

$\begin{cases}W_1=\frac{0+mg}{2}\cdot\frac{a}{2}\\W_2=mg(d-a)\end{cases}$

$\therefore W_F=mg\left(d-\frac{3}{4}a\right)$

(2) $W_F+mg\left(d-\frac{a}{2}\right)+W_{浮}=0$

$F_{浮}=\rho gS\left(\frac{a}{2}+x\right)$为一次关系

$\begin{cases}W_1=\frac{mg+2mg}{2}\cdot\frac{a}{2}\\W_2=-2mg(d-a)\end{cases}$

$\therefore W_F=mg\left(d-\frac{3}{4}a\right)$

(3) $\begin{cases}物块\quad E_p\ 少\\水\quad E_p\ 多\end{cases}$

$W_F=E_{补}=\Delta E_{p水}-\Delta E_{物}$

$\begin{cases}\Delta E_{物}=mg\left(d-\frac{a}{2}\right)\\\Delta E_{p水}=mg\left(d-\frac{a}{2}-\frac{a}{4}\right)+mg\left(d-\frac{a}{2}\right)\end{cases}$

$\therefore W_F=mg\left(d-\frac{3}{4}a\right)$

3. 两种方法

(1)动能定理

$\begin{cases}\text{单个物体}\\\text{只分析功和动能}\end{cases}$

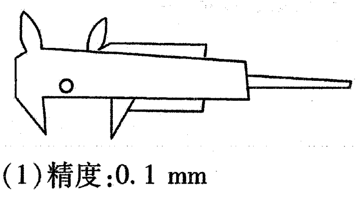
(2)能量的转化与守恒

$\begin{cases}\text{多个物体}\\\text{是否与外界有能量交换}\end{cases}$

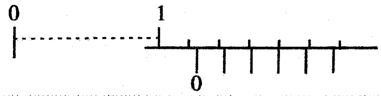
附:游标卡尺

$\begin{cases}\text{外测量爪}\\\text{内测量爪}\end{cases}$

1. 十分度卡尺



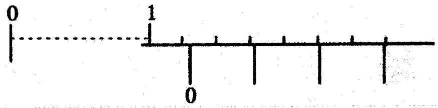
(1)精度:0.1 mm



余数 $=n-n\cdot\frac{9}{10}=\frac{1}{10}n$

(2)读数:先读主尺再读游标尺不估读

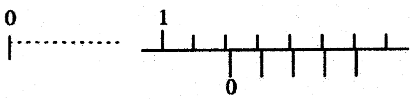
(3)游标尺 10 格对主尺 19 mm



精度:$2n-\frac{19}{10}n=\frac{1}{10}n$

2. 二十分度:游标尺 20 个格

(1)精度:0.05 mm



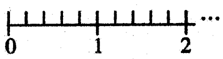
余数:$n-\frac{19}{20}n=0.05n$

(2)游标尺 20 格对空尺 39 mm　　余数:$2n-\frac{39}{20}n=0.05n$

3. 50 分度:游标尺 50 格

50 格对主尺 49 mm

余数 $=n-\frac{49}{50}n=0.02n$　　精度:0.02 mm

游标尺 

第八章　电　场

一、电现象

1. 电现象:摩擦吸引轻小物体

2. 原因

(1)物体的组成:分子←原子$\begin{cases}\text{中子}\\ \text{质子:正电}\\ \text{电子:负电}\end{cases}$

(2)电量:物体带电的多少　　单位:库仑(C)

(3)本质:电子的转移过程

(4)方式:①摩擦带电

②感应带电

③接触带电

3. 电荷守恒定律

(1)内容:

①电荷既不会被创造也不会被消灭,它只能由一个物体转移到另一个物体,或由物体的一部分转移到另一个部分,总量不变.

②对孤立系统,电荷的代数和总量不变.

(2)电子的电量 $q=-e=-1.6\times10^{-19}$C

(3)元电荷:$e=1.6\times10^{-19}$C

二、库仑定律

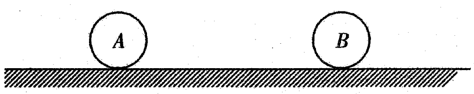
1. 相互作用力$\begin{cases}\text{同种电荷相斥}\\ \text{异种电荷相吸}\end{cases}$

2. 定律:真空中两个点电荷间的力与 q_1q_2 成正比,与 r^2 成反比的规律.

3. 表达式:$F=k\dfrac{q_1q_2}{r^2}$　　计算式:计算时 q 不带正负

4. k:静电常数:$k=9\times10^9\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}$

5. 条件:(1)在真空中　(2)点电荷

例1: 

$\begin{cases}A:6Q\\ B:Q\end{cases}$

(1)使 A、B 接触后分开,$F'=$?

(2)用一与 A、B 相同,不带电的 C 先与 A 碰,再与 B 碰,移走 C,$F'=$?

(3)(在(2)条件下)C 无数次先后与 B 接触,移走 C,$F'=$?

解:$F=k\dfrac{6Q\cdot Q}{r^2}=\dfrac{kQ^2}{r^2}\cdot6$

(1)①同种　$F'=k\cdot\dfrac{3.5Q\cdot3.5Q}{r^2}=\dfrac{49}{24}F$

②异种 $F'=k\cdot\dfrac{2.5Q\cdot 2.5Q}{r^2}=\dfrac{25}{24}F$

(2)①同种 $q_A=3Q$ $q_B=2Q$ $F'=k\cdot\dfrac{3Q\cdot 2Q}{r^2}=F$

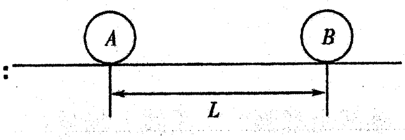
②异种 $q_A=3Q,q_B=Q,F'=k\dfrac{3Q\cdot Q}{r^2}=\dfrac{1}{2}F$

(3)$q_A=q_B=q_C$

①同种 $q_A=q_B=q_C=\dfrac{7}{3}Q$ $F'=k\cdot\dfrac{\frac{7}{3}Q\cdot\frac{7}{3}Q}{r^2}=\dfrac{49}{54}F$

②异种 $q_A=q_B=q_C=\dfrac{5}{3}Q$ $F'=k\cdot\dfrac{\frac{5}{3}Q\cdot\frac{5}{3}Q}{r^2}=\dfrac{25}{54}F$

例 2:



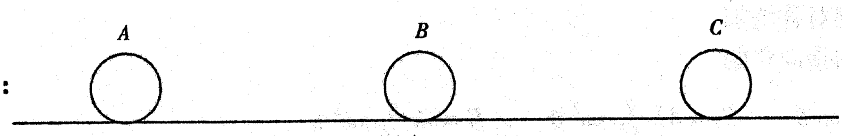
$\begin{cases}A:9Q\\B:Q\end{cases}$

引入 C 球,极性? $q_C=$? 距 $Ax=$? 时恰又平衡.

解:①A、B 同种,C 在中间某处 $k\dfrac{q_Aq_C}{x^2}=k\dfrac{q_Bq_C}{(L-x)^2}$ $3(L-x)=x\Rightarrow x=\dfrac{3}{4}L$

②A、B 异种 C 在 B 外侧 $k\dfrac{q_Aq_C}{x^2}=k\dfrac{q_Bq_C}{(x-L)^2}$

例 3:

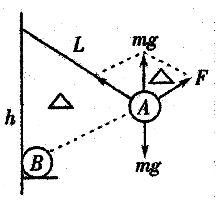


同时放 q_A、q_B、q_C,都恰好平衡

对 A:$\begin{cases}B、C\text{ 异种}\\q_C>q_B\end{cases}$ 对 C:$\begin{cases}A、B\text{ 异种}\\q_A>q_B\end{cases}$ 对 B:$\begin{cases}A、C\text{ 同种}\\q_A>q_C\text{ 不确定}\end{cases}$

(两同夹异,两大夹小)

例 4:



A、B 间距为 s,用不带电的 C 先与 B 接触后与 A 接触,移走 C 后 AB 间距 $s'=\dfrac{1}{2}s$,求 q_A、q_B 的关系.

解:$\dfrac{F}{mg}=\dfrac{s}{h}$ $\therefore F=\dfrac{s}{h}mg$

$\therefore F'=\dfrac{1}{2}F=k\dfrac{\frac{q_B}{2}\cdot\frac{1}{2}\left(\frac{q_B}{2}+q_A\right)}{\left(\frac{1}{2}s\right)^2}=\dfrac{s}{2h}mg$ $\therefore\left(q_A+\dfrac{q_B}{2}\right)q_B=\dfrac{s^3}{2kh}mg$

三、电场

1. 定义:带电体周围客观存在的看不见摸不到的特殊物质.

2. 性质

(1)力的性质

(2)能的性质

3. 力的性质

(1)影响因素$\begin{cases}\text{电场}\\\text{电量}\end{cases}$

(2)规律:q 在场中受到力与其电量的比值只随场的变化而改变,反映了场自身的属性.

4. 电场强度

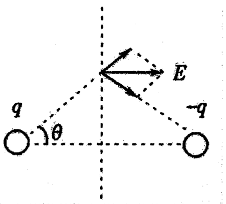
(1)定义:电荷在电场中所受到的电场力与其电量的比值.

(2)意义:表示单位电荷在电场中受力大小,描述电场自身属性,反映了电场的强弱.

(3)定义式:$E=\dfrac{F}{q}$

(4)矢量:正电荷受力方向为场强方向.具有唯一性、固定性、矢量性

(5)点电荷电场强度:$E=k\dfrac{Q}{r^2}$



例1: 等量异种电荷距离为L,$E_{中}=$? 连线上场强? 中垂线上场强?

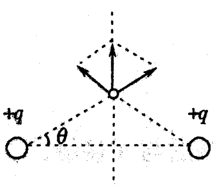
解:$E_1=k\dfrac{q}{r^2}$ $r=\dfrac{L}{2}$ $E_1=E_2$ $E_{中}=2E_1=8k\dfrac{q}{L^2}$

①在连线上 $E=E_1+E_2$

$\begin{cases}\text{大小:由中点向两侧对称增加}\\\text{方向:沿连线由正的指向负的}\end{cases}$

②中垂线上 $E=2E_1\cos\theta$ $E_1=4k\dfrac{q}{L^2}\cos^3\theta$ $\therefore E=8k\dfrac{q}{L^2}\cos^3\theta$

$\begin{cases}\text{大小:由中点向两侧对称减小}\\\text{方向:平行于连线指向负电荷一侧}\end{cases}$



例2: 等量同种电荷,距离为L,$E_{中}=$?
连线上场强?,中垂线上场强?

解:$E_{中}=0$

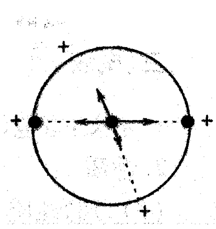
①在连线上,$E=|E_1-E_2|$

$\begin{cases}\text{大小:由中点向两侧对称增加}\\\text{方向:沿连线指向中点}\end{cases}$

②中垂线上 $E=2E_1\sin\theta$ $E_1=4k\dfrac{q}{L^2}\cos^2\theta$

$\therefore E=8k\dfrac{q}{L^2}\cos^2\theta\sin\theta$

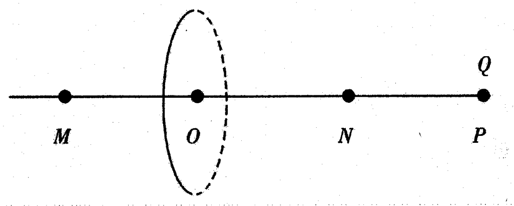
$\begin{cases}\text{大小:由中点向两侧都先大后小}\\\text{方向:沿连线背离中点向外}\end{cases}$



例3:(1)均匀带电圆环球心场强 $E_{中}=0$

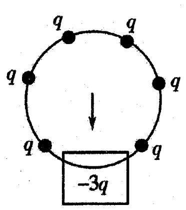
(2)均匀带电圆环轴线场强

由中点向外场强先大后小

(3) 

$QM=ON=NP=L, E_N=0$，求 E_M

$E_M=E_Q+E_0=k\dfrac{Q}{L^2}+k\dfrac{Q}{(3L)^2}=\dfrac{10kQ}{qL^2}$

(4) 

半径为 r，求 $E_{中}=?$

先将“$-3q$”看作“q”，再放“$-4q$”电荷，即 $E_{中}=4k\dfrac{q}{r^2}$

(5)均匀带电球壳，总电量 Q，半径为 R，在顶部挖去一小圆，半径为 $r(r\ll R)$，求 $E_{中}=?$

$q=\dfrac{\pi r^2}{4\pi R^2}Q$

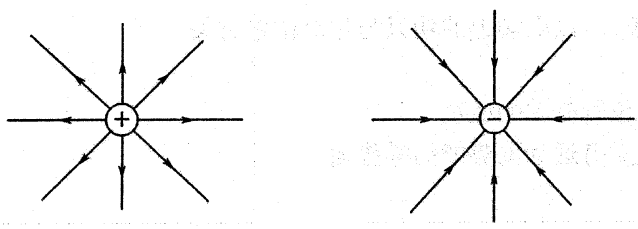
$\therefore E_{中}=k\dfrac{q}{R^2}=k\dfrac{Qr^2}{4R^4}$

5. 电场线

(1)绘制：由轻小的带电物体在电场中的分布绘制而成的线条.

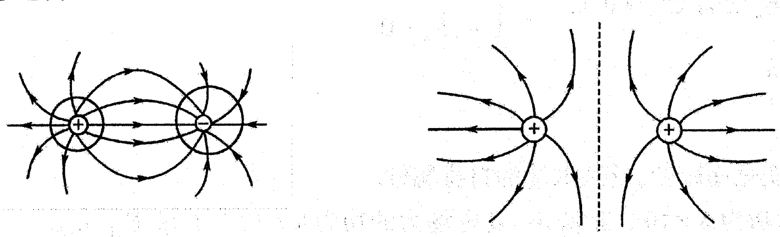
(2)几种电场的分布

①孤立的点电荷



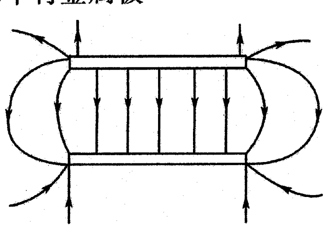
$\begin{cases}\text{疏密反映场的强弱}\\ \text{电场线的指向为 } E \text{ 方向}\end{cases}$

②电荷组



某点切线方向为 E 方向

③平行金属板



匀强电场:大小、方向处处相同的电场

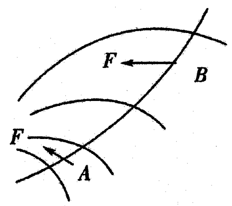
(3)特点

①假想的、有头有尾的线　头$\begin{cases}\text{“+”}\\ \infty\text{远}\end{cases}$　尾$\begin{cases}\text{“-”}\\ \infty\text{远}\end{cases}$

②$\begin{cases}\text{大小:疏密反映电场强弱}\\ \text{方向:切线方向反映电场方向}\end{cases}$

③任意两条电场线不相交,不相切.

例:



由电子轨迹比较$\begin{cases}a_A\text{ 与 }a_B\\ v_A\text{ 与 }v_B\end{cases}$

解:$F_A > F_B$　$\therefore a_A > a_B$

若 $A \to B$　E_k 减小,$v_A > v_B$

若 $B \to A$　E_k 增加,$v_A > v_B$

$\therefore v_A > v_B$

四、能量的性质

1. 电场力的功

(1)匀强场中

电场力的功与路径无关

(2)非匀强场中

非匀强场中电场力的功与路径无关,所以电场力的功只与相对位置有关

2. 电势能

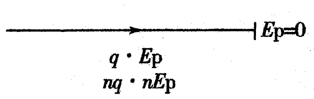
(1)定义:电荷在电场具有的只与相对位置有关的能量.

(2)具有相对性:一般情况下以大地或无穷远为电势能的零势面.

(3)电荷在场中某点具有 $E_p = ?$

$W = -\Delta E_p\begin{cases}\text{正功}:E_p \to E_{\text{其他}}\\ \text{负功}:E_{\text{其他}} \to E_p\end{cases}$

$W = -(0 - E_p) = E_p$　　E_p 是标量,有正负　$\begin{cases}+:E_p > 0\\ -:E_p < 0\end{cases}$



E_p 与 q 的比值只随场的变化而改变,反映电场的自身属性.

例:q 从 $A\to$“0”克服力的功为 6×10^{-2} J. 从 $A \to B$ 电场力的功为 8×10^{-2} J. 求 E_{pA}、E_{pB}.

$E_{pA} = W = -6\times10^{-2}$ J

$E_{pB} = W_{BO} = W_{BA} + W_{AD}$

$\therefore E_{pB} = -8\times10^{-2}\text{ J} - 6\times10^{-2}\text{ J} = -1.4\times10^{-1}$ J

3. 电势

(1)定久:电荷的电势能与电荷量的比值.

(2)表达式:$\varphi = \dfrac{E_p}{q}$

$\begin{cases}“+” & \varphi>0 \\ “-” & \varphi<0\end{cases}$

(3)意义:表示单位正电荷在场中能量大小,描述电场自身属性,反映电场给电荷能量本领.

可用正、负表示大小的物理量:势能、电势

电势、电场强度都能反映电场的自身属性,是两个平行的物理量.

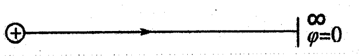
(4)单位:伏特(V)

1 V=1 J/C

(5)点电荷周围 φ 的分布

$\varphi=\dfrac{E_p}{q}$　$E_p=W$

①正场源



$+q:W>0$　$E_p>0$　$\varphi>0$

$-q:W<0$　$E_p<0$　$\varphi>0$

顺着电场线 φ 减小

②负场源

$+q:W<0$　$E_p<0$　$\varphi<0$

$-q:W>0$　$E_p>0$　$\varphi<0$

顺着电场线 φ 减小

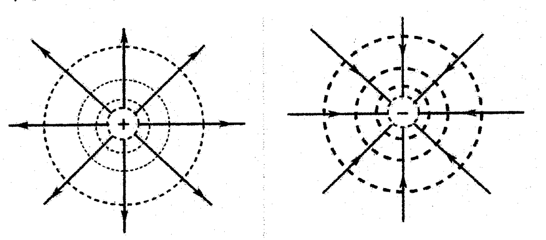
(6)等势面

①定义:电场中电势相等的点连成的面

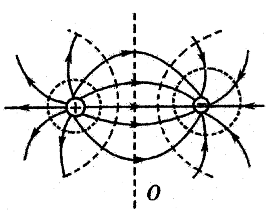
反映场的能量分布规律

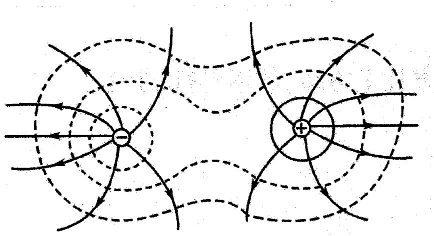
②几种特殊的场

1)孤立的点电荷

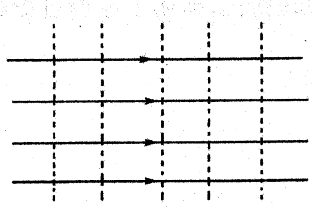


2)电荷组





3)匀强场



③特点

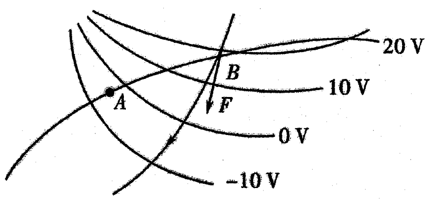
1)在等势面上移动电荷,电场力不做功.

2)场强与等势面垂直,场强方向是电势降落最快的方向.

3)等差值的等势面疏密反映电场的强弱.

4)两个不同的等势面不相交也不相切.

例 1:

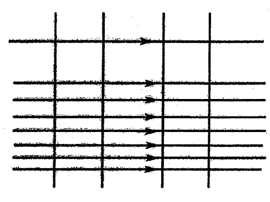


AB 为轨迹,比较 a_A 与 a_B,v_A 与 v_B,求粒子电性.

解:(正电)$E_A > E_B$　$\therefore F_A > F_B$　$\therefore a_A > a_B$

$E_{pA} < E_{pB}$　　$\therefore E_{kA} > E_{kB}$　　$\therefore v_A > v_B$

例 2:求证



不存在

解:若存在,等差等势面为平行直线,而 $E_{上} < E_{下}$,等势面上方比下方疏,故不平行,矛盾.

$\therefore$ 不存在

4. 电势差

(1)定义:电场中两点电势的差值.

(2)表达式:$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$

(3)意义:表示单位正电荷在电场中两点间移动时有多少电势能的变化,描述了电场自身属性.

(4)标量,有正负.

正负表示两点电势高低,不表示差值大小.

(5)导出式:$W_{AB} = U_{AB}q$

(6)电势是相对的,电势差是绝对的.

例1:把 $q=-2\times10^{-6}$C 从 $A\to B$,电场力的功 $W_1=4\times10^{-4}$ J,从 $A\to C$ 克服电场力的功 $W_2=6\times10^{-4}$ J.

求 U_{AB}、U_{AC}、U_{BC}.

解:$U_{AB}=\dfrac{W_1}{q}$ $\quad\therefore U_{AB}=-200$ V

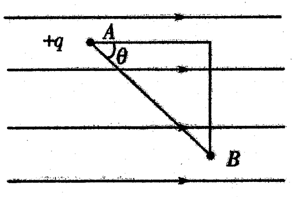
$U_{AC}=\dfrac{W_2}{q}$ $\quad\therefore U_{AC}=300$ V

$U_{BC}=\dfrac{W_{BC}}{q}=\dfrac{W_{BA}+W_{AC}}{q}$

$\therefore U_{BC}=U_{BA}+U_{AC}$

$\therefore U_{BC}=200\text{ V}+300\text{ V}=500\text{ V}$

例2:



$+q$ 从 $A\to B$,求电场力的功.

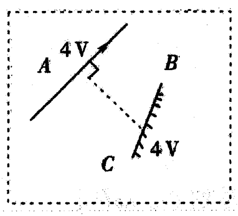
解:$W=EqL_{AB}\cos\theta$

注:$W=EqL_{AB}\cdot\cos\theta=Uq$

$\therefore U=EL_{AB}\cos\theta=Ed_{/\!/}$

(7)在匀强磁场中 $U=Ed_{/\!/}$

例3:



$\varphi_A=4$ V $\quad\varphi_B=-2$ V $\quad\varphi_C=6$ V

过 A 的一条电场线

五、电场中的导体

1. 静电感应现象:在电场力的作用下发生定向移动,重新分布的现象.
2. 静电平衡:不再定向移动,达到相对平衡.
3. 条件:内部场强处处为零. $E_{内}=E_{源}+E_{感}$
4. 特点

(1)内部场强处处为零

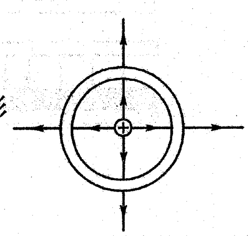
(2)导体是等势体,表面是等势面

(3)净电荷分布在导体的外表面,且尖端带电多

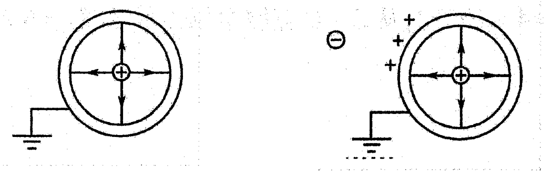
5. 应用

(1)静电屏蔽

①导体空腔或金属网罩无论是否接地,都可以屏蔽外电场,使内部不受外部影响.



②接地的导体空腔或金属网罩既可以屏蔽内电场,也可以屏蔽外电场.



(2)尖端放电

①静电除尘

②避雷针

六、电容器

1. 结构:两个相互靠近、彼此绝缘的导体

2. 特点

(1)只能带等量异种电荷

(2)一个极板电量的绝对值称为电容器所带电量

(3)当电容器所带电量不为0时,电压不为0

(4)Q与U成正比

3. 电容

(1)定义:电容器两极板带的电量与电压的比值

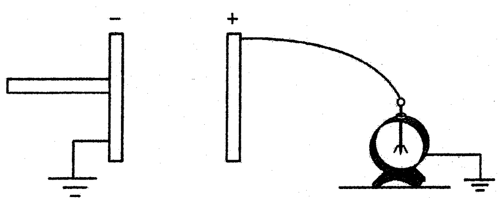
(2)定义式:$C=\dfrac{Q}{U}$　　1F = 1 C/V　　$1\text{F}=10^{6}\mu\text{F}=10^{12}\text{ pF}$

(3)意义 :表示电容器升高1 V电压时能带的电量,描述了电容器的自身属性,反映了电容器带电本领的物理量.

4. 平行金属板电容器

(1)影响因素:d、S、ε

(2)实验



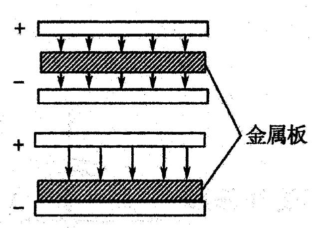
Q不变,由$c=\dfrac{Q}{U}\begin{cases}d\downarrow \text{看到}\ \theta\downarrow\Rightarrow U\downarrow\\ S\downarrow \text{看到}\ \theta\uparrow\Rightarrow U\uparrow\\ \varepsilon\uparrow \text{看到}\ \theta\downarrow\Rightarrow U\downarrow\end{cases}$

(3)决定式:$C=\dfrac{\varepsilon S}{4\pi kd}$

(4)应用:内部空间电场为匀强电场$E=\dfrac{U}{d}=\dfrac{Q}{Cd}=\dfrac{4\pi kQ}{\varepsilon S}$

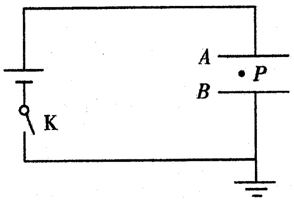
静电计:C很小的电容器

$Q'=CU$几乎为0



插入金属板:$C\uparrow(d\downarrow)$

插入绝缘板:$C\uparrow(\varepsilon\downarrow)$

例：

在 P 点固定一个带负电 q 的物体.
①K 闭合时,A 上/下或 B 上/下 E_p?
②K 闭后断开,A 上/下或 B 上/下 E_p?

解:①$E_p=\varphi_p\cdot q=EL_{pB}q \quad E=\dfrac{U}{d}$

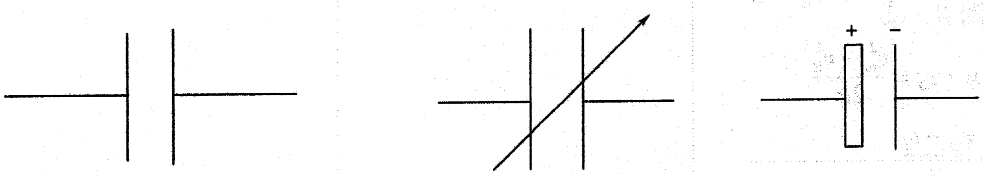
A 上 E_p 大;A 下,E_p 小　　B 电势不变,又 A、B 与电源连接,
B 上 E_p 大;B 下,E_p 小　　A 电势也不变,∴ A、B 电势差不变

②$E_p=El_{pB}q \quad E=\dfrac{4\pi kQ}{\varepsilon S}$不变

A 上 E_p 不变;A 下,E_p 不变
B 上 E_p 大;B 下,E_p 小

5. 几种常见的电容器

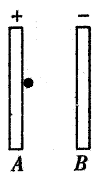
(1)符号：



(2)额定电压:超过额定电压,发生短路故障.

七、带电粒子在电场中的运动

1. 直线运动

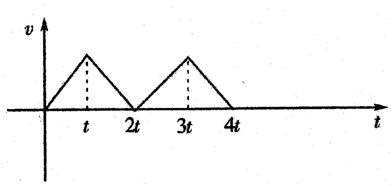
例 1：

已知 U、d、m、q 由 A 板中间静止释放,求到 B 板 $v=?\quad t=?$

解:方法一:$Eq=ma \quad E=\dfrac{U}{d} \quad \therefore a=\dfrac{qU}{md}$

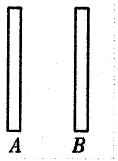
$v^2=2ad \quad \therefore v=\sqrt{\dfrac{2qU}{m}} \qquad v=at \quad \therefore t=\sqrt{\dfrac{2md^2}{qU}}$

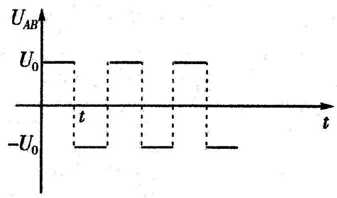
方法二:$Uq=\dfrac{1}{2}mv^2 \quad \therefore v=\sqrt{\dfrac{2qU}{m}} \qquad a=\dfrac{Uq}{md} \quad \therefore t=\dfrac{v}{a}=\sqrt{\dfrac{2md^2}{qU}}$

规律总结：

运动具有周期性
单方向的直线运动

例2：





(1)在 $t=0$ 时，A 板 $+q(m)$ 无初速度释放，**求到 B $v_B=?$ $t_{总}=?$**

解：在 $0\sim t$ 内，$a=\dfrac{qU_0}{md}$ $s_0=\dfrac{1}{2}at^2$

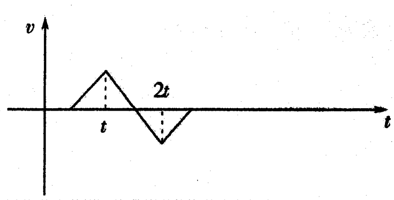
令 $n=\left[\dfrac{d}{s_0}\right]$

$\begin{cases} n\text{ 奇：减速到 }B \quad ① \\ n\text{ 偶：加速到 }B \quad ② \end{cases}$ $v_m=at$

① $\begin{cases} s_{余}=d-n\cdot s_0=\dfrac{v_m^2-v_B^2}{2a} \\ t_{总}=nt+\dfrac{v_m-v_B}{a} \end{cases}$

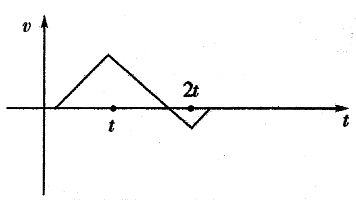
② $\begin{cases} s_{余}=d-ns_0=\dfrac{v_B^2}{2a} \\ t_{总}=nt+\dfrac{v_B}{a} \end{cases}$

(2)在 $t'=\dfrac{t}{2}$ 时，**进入电场一个周期内未到达 B.**



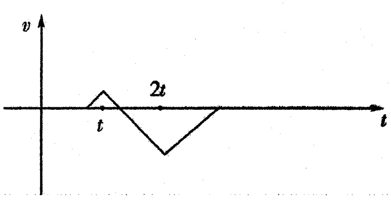
具有周期性 $v_m=a\cdot\dfrac{t_0}{2}$ $s_m=2\cdot\dfrac{1}{2}a\left(\dfrac{t_0}{2}\right)^2$

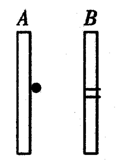
(3)在 $t'=\dfrac{t}{4}$ 时释放

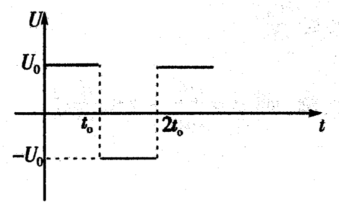


具有周期性

(4)在 $t'=\dfrac{3}{4}t$ 时释放



例3：



知 v_0、t_0、m、q，只有在 $0\sim\frac{t_0}{2}$ 时进入场中的粒子才能飞出 B 板的孔，求 d 的条件.

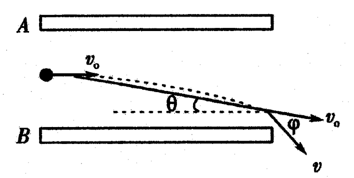
解：①$0<t<\frac{t_0}{2}$ 时，d 取任意值.

②$t=\frac{t_0}{2}$ 时，$s_m=2\times\frac{1}{2}a\left(\frac{t_0}{2}\right)^2$　　条件：$d\leqslant s_m$

③$t>\frac{t_0}{2}$ 时，$s'_m<s_m$　　条件：$d\geqslant s_m$

$\therefore d=s_m=\sqrt{\frac{qU_0t_0^2}{4m}}$

2. 粒子的偏转

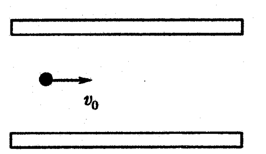
例1：

知 L、d、U，求 φ 与 θ 的关系.

解：$L=v_0t$　$\therefore t=\frac{L}{v_0}$　　$a=\frac{Uq}{md}$　$y=\frac{1}{2}at^2$　$\therefore y=\frac{UqL^2}{2mdv_0^2}$

位移偏向角 $\tan\theta=\frac{y}{L}=\frac{UqL}{2mdv_0^2}$　　速度偏向角 $\tan\varphi=\frac{at}{v_0}=\frac{UqL}{mdv_0^2}$

$\tan\varphi=2\tan\theta$

例2：

知 m、$+q$、L、d、U，求：(1)飞出电场，则 v_0 条件.

解：飞出条件：$y\leqslant\frac{d}{2}$

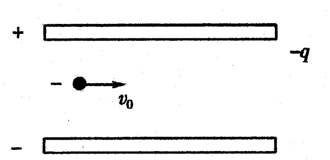
$a=\frac{qU}{md}$　$L=v_0t$　　$y=\frac{1}{2}at^2$　$\therefore y=\frac{qUL^2}{2mdv_0^2}$

$\frac{qUL^2}{2mdv_0^2}\leqslant\frac{d}{2}$　$\therefore v_0\geqslant\sqrt{\frac{qUL^2}{md^2}}$

(2)从中间射入，恰从下板边缘飞出，如 v_0 改为原来2倍，还从中间射入，从边缘飞出，则 d 的条件.

解：$y=\frac{d}{2}=\frac{1}{2}at^2$　$a=\frac{qU}{md}$

$\therefore\frac{d}{2}=\frac{qUL^2}{2mdv_0^2}$　$\therefore d^2=\frac{qUL^2}{mv_0^2}$　　$d'^2=\frac{qUL^2}{mv_0'^2}=\frac{1}{4}d^2$　$\therefore d'=\frac{1}{2}d$

(3) 

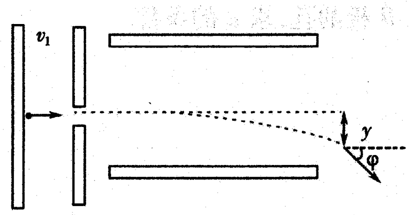
知 $-q$、m、L、d、U、v_0，让小球飞出电场，则 v 具备的条件.

解:$r \leqslant \frac{d}{2}$ $t=\frac{L}{v_0}$ $\frac{1}{2}a\cdot\left(\frac{L}{v_0}\right)^2 \leqslant \frac{d}{2}$ $\therefore a \leqslant \frac{dv_0^2}{L^2}$

①若向下偏,则 $a=g-\frac{qU}{md} \leqslant \frac{d}{L^2}v_0^2$ ②若向上偏,则 $a=\frac{qU}{md}-g \leqslant \frac{d}{L^2}v_0^2$

$\therefore \frac{md}{q}\left(g-\frac{dv_0^2}{L^2}\right) < U < \frac{md}{q}\left(g+\frac{dv_0^2}{L^2}\right)$

例 3:



在加速场中 $U_1q=\frac{1}{2}mv_0^2$

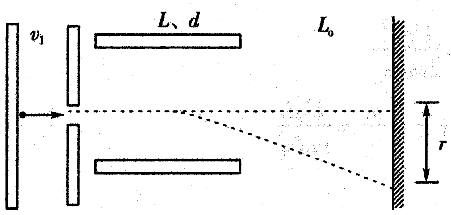
在偏转场中 $L=v_0t$ $a=\frac{qU_2}{md}$

$y=\frac{1}{2}at^2$ $\therefore y=\frac{qU_2L^2}{2mdv_0^2}=\frac{U_2L}{4U_1d}$

$\tan\varphi=\frac{at}{v_0}=\frac{qU_2L}{mdv_0^2}=\frac{U_2L}{2U_1d}$

说明:经同一电场加速、同一电场偏转的粒子轨迹相同.

例 4:



粒子打到荧光屏上:求 r 的范围.

解:在加速场中,$U_1q=\frac{1}{2}mv_0^2$

在偏转场中,$y=\frac{1}{2}at^2$

$a=\frac{U_2q}{md}$ $t=\frac{L}{v_0}$ $\therefore y=\frac{U_2qL^2}{2mdv_0^2}$ $\therefore y=\frac{U_2L_2}{4U_1d}$

$\tan\varphi=\frac{at}{v_0}=\frac{U_2La}{mdv_0^2}$ $r=y+L_0\tan\varphi$ $\therefore r=\frac{U_2L(L+2L_0)}{4U_1d}$

$y\propto\frac{U_2}{U_1}$($y\leqslant\frac{d}{2}\Rightarrow$求 U 范围)

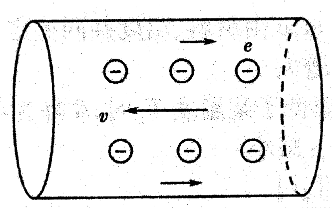
第九章　电　流

一、电流现象

1. 现象：大量电荷在电场中定向移动形成电流.
2. 条件：
(1)自由移动的电荷
(2)电场(电源)(电压)
3. 形成电流的特征
(1)电源：在非静电力作用下能把负电荷(正电荷)从正极(负极)搬到负极(正极)的装置.
(2)导线中只有平行于导线的恒定电场.
(3)对于电路中的任意截面，用电器或电源相等的时间通过的电量相等.
4. 电流强度
(1)定义：通过导体横截面的电量与所用时间的比值.
(2)定义式：$I=\frac{q}{t}$　　单位：1 A = 1 C/s
(3)标量
(4)计算：
①导体中
n：导体中自由电子的体密度只由材料确定.

$$\begin{cases} Q=n\cdot SL\cdot e \\ t=\frac{L}{v} \end{cases}$$

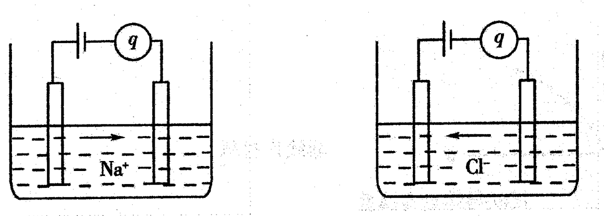
$\therefore I=neSv$



$I=\frac{Q}{t}$

v：定向移动的速度

②电解液



规定：正电荷定向移动的方向为电流的方向

$I=\frac{q_+ + q_-}{t}$

二、电源

1. 电源：
(1)通过非静电力搬电荷的装置.
(2)通过非静电力做功把其他能量转化为电能的装置.
2. 能量转化时的特点：

$\frac{\Delta E}{q}=\frac{W_{非}}{q}$ 不变

3. 电动势

(1)定义: 非静电力做功与所搬运电荷电量的比值.

(2)定义式:$E=\frac{W_{非}}{q}$　　单位:(V)

(3)意义:表示电源单位电荷量时所提供的电能,描述了电源自身的非静电力属性,反映了电源把其他能转化为电能的本领的物理量.

(4)电源的参数

①电动势 E:转化本领

②内电阻 r:阻碍作用大小

③容量:放电时可以搬运的电荷总量

三、欧姆定律

1. 影响电流的因素:导体;两端电压 U

2. 电阻

(1)意义:描述了导体对电流阻碍作用大小.

(2)定义式:$R=\frac{U}{I}$　　单位:1 Ω=1 V/A

(3)电阻定律:$R\propto\frac{L}{S}$　　$R=\rho\frac{L}{S}$

ρ 的单位:Ω·m,ρ 由材料、温度共同决定

①金属:$T\uparrow\rho$ 增大

超导现象:当温低于某温度 T_c 时,R 降为零的现象.

②半导体:$T\uparrow\rho$ 减小

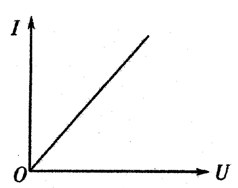
$\begin{cases}\text{热敏电阻:}T\uparrow\rho\downarrow\\\text{光敏电阻:有光照}\rho\downarrow\end{cases}$

3. 欧姆定律

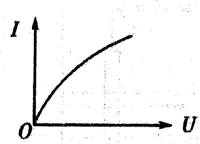
(1)表达式:$I=\frac{U}{R}$

(2)条件:纯电阻用电器

(3)伏安特性曲线



线性元件



非线性材料

反映导体自身属性

反映导体自身属性

四、电功、电热

1. 电功

(1)定义:在电路中电场力的功又叫电流做功.

(2)意义:电路中消耗的电能的总和.

(3)定义式:$W=UIt$　(普适)

(4)电功率:$P=UI$　(普适)

2. 电热

(1)定义:电流流经导体时产生的热量.

(2)意义:消耗的电能转化为内能的那部分.

(3)定义式:$Q=I^2Rt$ (普适)

(4)热功率:$P_Q=I^2R$ (普适)

3. 两种电路

(1)纯电阻 $P_W=P_Q$ $UI=I^2R=\frac{U^2}{R}$ $\Rightarrow U=IR$ 欧姆定律成立

(2)非纯电阻 $P_W=P_Q+P_{其他}$

$UI=I^2R+P_{其他}\Rightarrow U>IR$

$\begin{cases}P_W=UI\\P_Q=I^2R\end{cases}$

五、电路的串并联

1. 串联电路

(1)规律

①电流关系:$I=I_1=I_2=\cdots$

②电压关系:$U=U_1+U_2+\cdots$

$\begin{cases}经导线时 \quad U=0\\经纯电组时 \quad U=IR\end{cases}$

③电阻关系:$R=R_1+R_2+\cdots$

④功率关系:$P_{总}=P_1+P_2+\cdots$

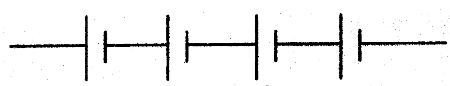
(2)电阻作用:起分压作用

①$\frac{U_1}{U_2}=\frac{R_1}{R_2}$ ②$\frac{U_1}{U}=\frac{R_1}{R}$

(3)电源的串联

①$E_{总}=E_1+E_2+\cdots$

②$r_{总}=r_1+r_2+\cdots$



$E_{总}q=E_1q+E_2q+\cdots$

$I^2r_{总}=I_1^2r+I_2^2r+\cdots$

2. 并联电路

(1)规律

①电压关系:$U=U_1=U_2=\cdots$

②电流关系:$I=I_1+I_2+\cdots$

电流守恒:电路中任一节点,用电器、电源电流流进的和等于流出的和.

③电阻关系:$\frac{1}{R}+\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\cdots$

④功率关系:$P_{总}=P_1+P_2+\cdots$

(2)并联电阻作用:起分流作用

①$\frac{I_1}{I_2}=\frac{R_2}{R_1}$ ②$\frac{I_1}{I_{总}}=\frac{R_{总}}{R_1}$

(3)并联电路总电阻及其变化特点

①$R_{总}$ 小于任意支路电阻

②如果 $R_1\ll R_2$,则 $R_{总}=R_1$

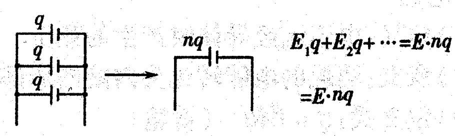
③$R_{总}$ 随支路电阻的增大而增大,减小而减小.

④电源的并联

(完全相同)

①$E_{总}=E_1=E_2=\cdots$

②$r_{总}=\dfrac{r}{n}$



$E_1q+E_2q+\cdots=E\cdot nq=E_1\cdot nq$

3. 电表的改装

(1)灵敏电流计(表头)

①表头内阻 R_g

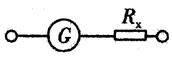
②满偏电流 I_g

③满偏电压 U_g　　$U_g=I_gR_g$

④表盘刻度均匀

(2)—Ⓖ—改为—Ⓥ—

①原理:串联电阻分压

②若把 $U_g\to nU_g$, 

则 $R_x=(n-1)R_g$　　$R_V=nR_g$

$I\cdot R_V=U$　R_V 定值

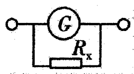
$U\propto I\cdots$均匀

③表盘刻度均匀

④误差分析:偏小

(3)—Ⓖ—改为—Ⓐ—

①原理:并联电阻分流



$$\begin{cases}IR_A=I_0R_g\\ R_A=\dfrac{1}{n}R_g\end{cases}$$

$I\propto I_0\cdots$均匀

②若把 $I_g\to nI_g$,

则 $R_x=\dfrac{1}{n-1}R_g$　　$R_A=\dfrac{1}{n}R_g$

③表盘刻度均匀

④误差分析:偏小

例:两相同的表头改成的电压表 3 V、15 V

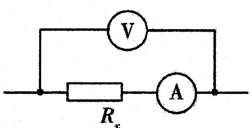
①串联,偏角 1∶1,示数 1∶5

②并联,偏角 5∶1,示数 1∶1

六、伏安法测电阻

1. 测量电路

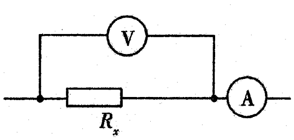
(1)电流表内接



$$\begin{cases}R_{测}=\dfrac{U}{I}=R_x+R_A\\ 偏大\quad \Delta R_1=R_A\end{cases}$$

仅取决于 R_A

(2)安培表外接



$$\begin{cases}R_{测}=\dfrac{U}{I}=\dfrac{R_V\cdot R_x}{R_V+R_x}\\ 偏小\quad \Delta R_2=\dfrac{R_x^2}{R_V+R_x}\end{cases}$$

仅取决于 R_V

(3)选择条件

①选内接法:$\Delta R_1<\Delta R_2$

$R_A < \frac{R_x^2}{R_V + R_x} \Rightarrow \frac{R_r + R_x}{R_x} < \frac{R_x}{R_A} \Rightarrow \frac{R_V}{R_x} < \frac{R_V + R_x}{R_x} < \frac{R_x}{R_A} \Rightarrow \frac{R_V}{R_x} < \frac{R_x}{R_A} \quad R_A \ll R_x$

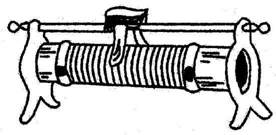
②选外接法:$\Delta R_1 > \Delta R_2$

$\frac{R_V}{R_x} > \frac{R_x}{R_A} \quad R_V \gg R_x$

2. 供电电路

(1)滑动变阻器

①结构

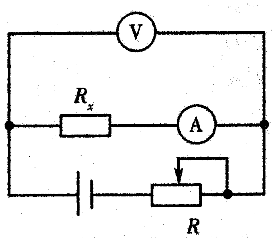


②量程$\begin{cases}\text{大量程:细丝、匝数多、单匝 } R_0 \text{ 大} \\ \text{小量程:粗丝、匝数少、单匝 } R_0 \text{ 小}\end{cases}$

量程够用时,选小量程

③作用:保护、调节

(2)限流电路



$U_{min} = \frac{1}{3}$量程

$\frac{R_x}{R + R_x}E = \frac{1}{3}E \quad \therefore R = 2R_x$

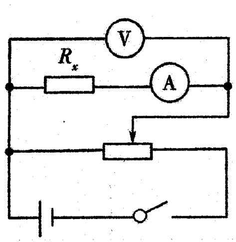
①U_x 的范围:$\frac{R_x}{R + R_x}E \sim E$

②滑动变阻器选择:$R = 2R_x$

③特点

$\begin{cases}R\text{ 不宜过大,过大时调节不方便} \\ R\text{ 不宜过小,过小没有调节作用}\end{cases}$

(3)分压电路



①U_x 的范围:$0 \sim E$

②滑动变阻器选择:R 越小,精度越高

③特点:R 不宜过大,调节不方便

④三种必选分压

$\begin{cases}1^\circ \quad U\text{ 或 } I\text{ 从“0”变化时} \\ 2^\circ \quad R\text{ 限流联入时 } I_{min} > I_g\text{ 时} \\ 3^\circ \quad R \ll R_x\text{ 时}\end{cases}$

七、测金属丝电阻率

1. 原理:(1)伏安法测电阻

(2)电阻定律 $R = \frac{U}{I} \quad R = \rho\frac{l}{S} \quad \rho = \frac{S}{l}R$

2. 测量的量:U、I、L、d

3. 测长度

(1)长度:先连入电路,后测长度

(2)测 d:使用螺旋测微器

4. 电路图

(1)测量:外接法

(2)供电

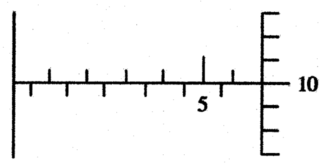
①电流变化范围不大

②最大电流不宜过大

③限流电路

5. 数据处理

6. 螺旋测微器(4 分尺)



螺距 = 0.5 mm

$\Delta d = \frac{0.5}{50}$ mm = 0.01 mm(精度)

读数:读到精度的下一位

八、闭合电路的欧姆定律

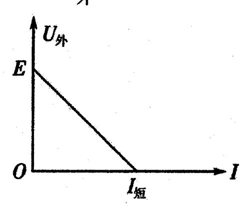
1. 闭合电路

(1)定义:电源内、外电路统称

(2)规律:$E = U_{外} + Ir$

(3)电源的伏安特性曲线

$U_{外} = E - Ir$



反映的是电源自身的特征

电源提供总电能 Eq

外电路消耗 $U_{外}q$

内电路消耗 I^2rt

$Eq = U_{外}q + I^2rt$

$\therefore E = U_{外} + Ir$

2. 闭合电路的欧姆定律

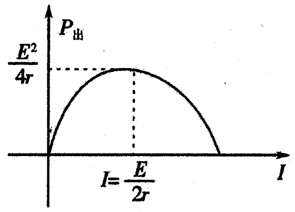
(1)内容:电路中的电流与电动势成正比,与内、外电阻之和成反比.

(2)表达式:$I = \frac{E}{R+r}$

(3)条件:纯电阻电路

3. 电源输出功率与负载关系

(1)在任意电路中 $P_{出} = U_{外}I = EI - I^2r$　　$\therefore P_{出} = -r\left(I - \frac{E}{2r}\right)^2 + \frac{E^2}{4r}$



$$\eta = \frac{P_{出}}{P_{总}} = \frac{U_{外}I}{EI} = \frac{U_{外}}{E} = 50\%$$

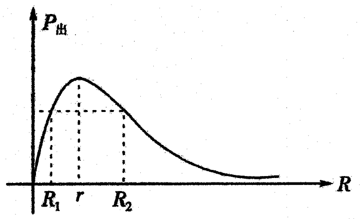
(2)纯电阻电路时,$P_{出}$ 与 R 关系

$$P_{出} = \left(\frac{E}{R+r}\right)^2 \cdot R = \frac{E^2}{\left(\sqrt{R} + \frac{r}{\sqrt{R}}\right)^2}$$

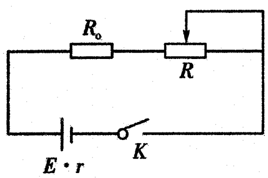
$$\sqrt{R_1} + \frac{r}{\sqrt{R_1}} = \sqrt{R_2} + \frac{r}{\sqrt{R_2}}$$

当 $R=r$ 时，$P_{出}$ 最大$\frac{E^2}{4r}$.

$$R_1+\frac{r^2}{R_1}+2r=R_2+\frac{r^2}{R_2}+2r$$
$$R_1R_2(R_1-R_2)=(R_1-R_2)r^2$$
$$R_1R_2=r^2$$



$R_1R_2=r^2$

例：

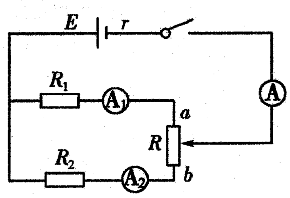
知 E、r、R_0、R 且 $R_0<r$

$$\begin{cases}(1)R=? \quad P_{出}\text{ 最大} \quad r-R_0 \\ (2)R=? \quad R_0\text{ 的 }P\text{ 最大} \quad 0 \\ (3)R=? \quad R\text{ 的 }P\text{ 最大} \quad r+R_0\end{cases}$$

1. 电势的分析：顺着电流$\begin{cases}\text{导线}:U=0 \\ \text{电阻}:U=IR\end{cases}$

2. 电流守恒定律

九、动态分析

例 1：

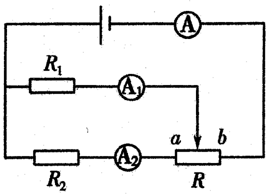
$P:a\to b$

$$R_{并}=\frac{(R_1+R_x)(R_2+R-R_x)}{R_1+R_2+R}=\frac{R_aR_b}{R_a+R_b}$$

①$R_1+R\leqslant R_2$ $\quad R_{并}\uparrow \quad I\downarrow \quad U_{并}\uparrow \quad I_2\uparrow \quad \therefore I_1\downarrow$

②$R_1\geqslant R_2+R$ $\quad R_{并}\downarrow \quad I\uparrow \quad U_{并}\downarrow \quad I_1\downarrow \quad \therefore I_2\uparrow$

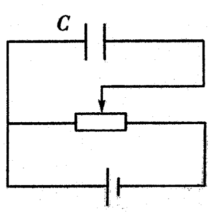
③$R>|R_1-R_2|$ $\quad I\downarrow\uparrow \quad I_1\downarrow \quad I_2\uparrow$

例 2：

$R:a\to b$

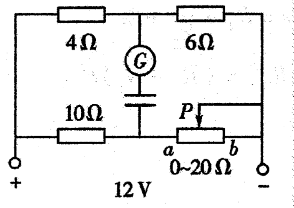
$R_{总}\downarrow \quad R_{并}\uparrow \quad I\uparrow \quad I_1\uparrow$

I_2 不确定



U_c 与接入点间的电压同步变化分析电路时，去掉含容支路

例 3：



$c=2\times10^{-6}$F

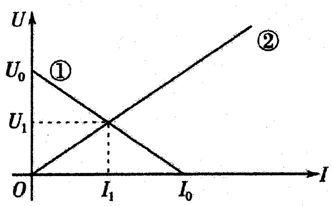
从 $a\to b$ 滑动时 I 方向？$Q=$？

解：P 在 a 时，$U_1=7.2$ V 且上板为正　　$Q_1=cU_1=1.44\times10^{-5}$C

P 在 b 时 $U_2=0.8$ V 且下板为正　　$Q_2=cU_2=1.6\times10^{-6}$ C

I 向上 $\Delta Q=Q_1+Q_2=1.6\times10^{-5}$ C

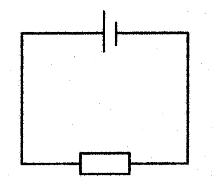
（电容器先入电后充电）



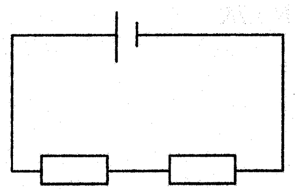
①为电源 $U_{外}-I$

②为定值电阻工作时 $U-I$

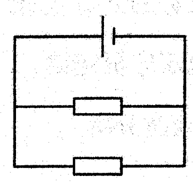
例 4：(1)



(2)



(3)

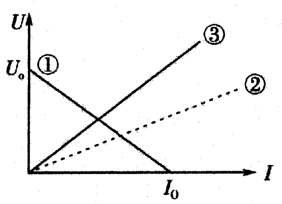


求每个电阻功率.

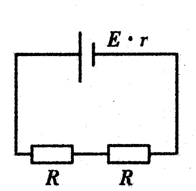
解：由①得 $E=U_0$　$r=\dfrac{U_0}{I_0}$　由②得 $R=\dfrac{U_1}{I_1}$

(1)$P=\left(\dfrac{E}{r+R}\right)^2\cdot R=U_1I_1$（两曲线交点）(2)$P=\left(\dfrac{E}{r+2R}\right)^2\cdot R$

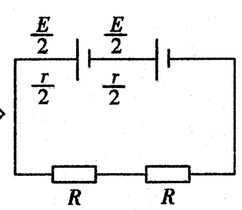
1) ⇒



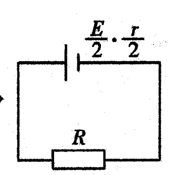
即①③交点



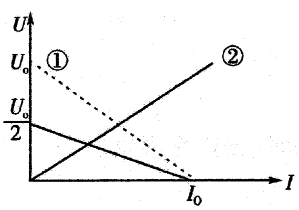
⇒



⇒

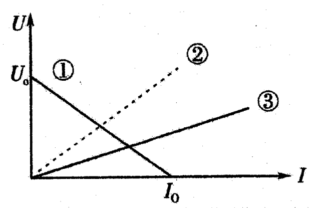


2) ⇒

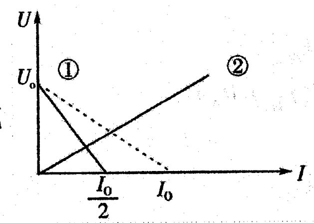


即②③交点

(3)同理



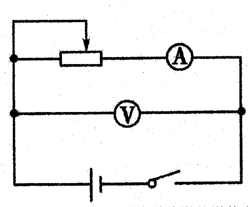
或



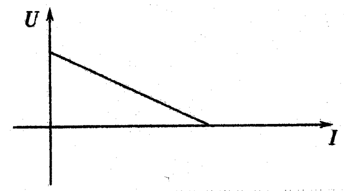
即②③交点

十、实验：测 E 和 r

1. 原理：伏安法测电阻
2. 电路图：



3. 结论：$U=E-Ir$
4. 数据处理：$U-I$ 图像



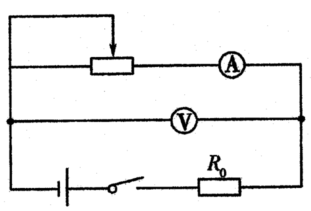
5. 误差分析

$$U=E_{测}-Ir_{测}\qquad U=E_{真}-\left(I+\frac{U}{R_V}\right)\cdot r_{真}\qquad U=\frac{R_V}{R_V+r_{真}}E_{真}-\frac{R_V}{R_V+r_{真}}r_{真}\cdot I$$

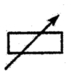
$$E_{测}=\frac{R_V}{R_V+r_{真}}E_{真}\qquad r_{测}=\frac{R_V}{R_V+r_{真}}r_{真}$$ $E_{测}$、$r_{测}$ 都偏小

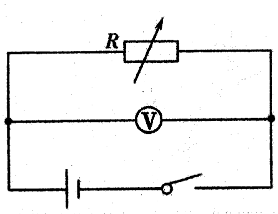
只由 R_V 决定，R_V 越大，误差越小.

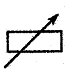
方法二：

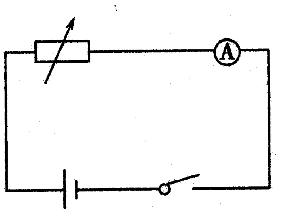


斜率 $k-R_0=r_{测}$

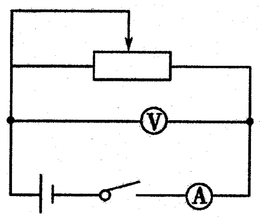
方法三： + V



方法四： + A　已知 R_A



方法五：



$$\begin{cases} U = E_{测} - Ir_{测} \\ U = E_{真} - I(r_{真} + R_A) \end{cases}$$

$$\begin{cases} E_{测} = E_{真} \\ r_{测} = r_{真} + R_A \end{cases}$$

十一、练习使用多用电表

1. —Ⓖ—⇒—Ⓥ—

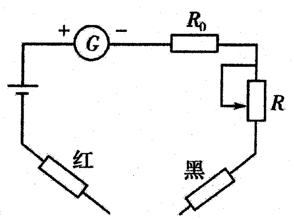
$$\begin{cases} R_x = (n-1)R_g \\ R_V = nR_g \\ \text{表盘刻度均匀} \end{cases}$$

2. —Ⓖ—⇒—Ⓐ—

$$\begin{cases} R_x = \dfrac{1}{n-1}R_g \\ R_A = \dfrac{1}{n}R_g \\ \text{表盘刻度均匀} \end{cases}$$

3. 欧姆表

(1)结构



(2)红、黑表笔

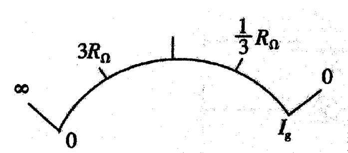
保护表头,提醒电流方向:红入黑出

(3)原理

$$\begin{cases} R_x = \infty \text{ 时}, I = 0 \quad \text{不偏} \\ R_x = 0 \text{ 时},\text{令 } I = I_g \quad \text{最大} \\ R_x \text{ 是任意值时} \end{cases}$$

$$I_g R_\Omega = E = I(R_\Omega + R_x)$$

$$R_x = \left(\frac{I_g}{I} - 1\right)R_\Omega$$



(4)表盘中值电阻等于欧姆表内阻

(5)表盘刻度不均匀

读数时,指针在表盘中间附近

第十章 磁 场

一、磁现象

1. 现象:物体具有的天然的吸引铁质物体的现象.
2. 磁石
(1)磁性:能够吸引铁质物体的性质.
(2)磁极:磁性最强的区域.

$\begin{cases}\text{N 极:指北的一极}\\\text{S 极:指南的一极}\end{cases}$

(3)相互作用

$\begin{cases}\text{同名磁极相斥}\\\text{异名磁极相吸}\end{cases}$

3. 磁的本质
(1)奥斯特
一切运动电荷都可以产生磁.
①环形电流的磁分布与小磁针相似.
②通电螺线管的磁分布与条形磁石相似.
(2)安培分子环流假说

磁石的磁起源于运动电荷.
(3)磁现象的电本质

二、磁场

1. 定义:磁体周围客观存在的特殊物质
2. 性质:力的性质(唯一性)
3. 方向:N 极受力方向为磁场方向
4. 力的性质
(1)电流元:一小段通电导线 $I \cdot L$
(2)实验 控制变量法
①影响因素:I、L、场、θ
②当 $\theta=0$ 时,$F=0$
$\theta \neq 0$ 时,$F \neq 0$
$\theta=90°$时,F 最大
③$\theta=90°$不变,F 与 IL 的比值只随场的变化而改变,描述场的特征量
(3)磁感应强度
①定义:$\theta=90°$时,F 与 IL 比值
②定义式:$B=\dfrac{F}{IL}$
单位:特斯拉(T)

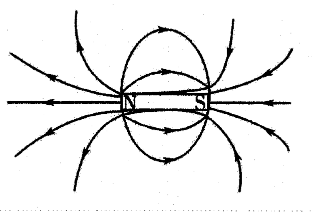
③条件:当导线垂直磁场时成立

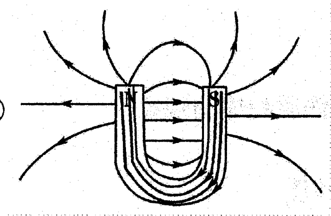
④物理意义:表示单位电流元在垂直磁场时受到的磁场力,描述了磁场的自身属性,反映了磁场强弱.

5. 磁感线

(1)绘制:由铁粉在磁场中分布的曲线绘制而成.

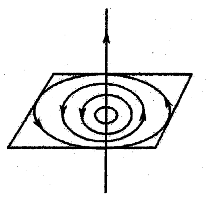
(2)几种特殊场的磁感线

①


②


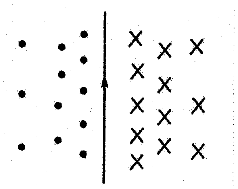
{疏密表示磁场强弱
切线表示磁场方向

大小、方向不变的磁场定义为匀强磁场.

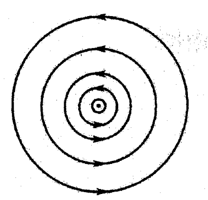
③


磁感线是闭合的曲线,没头没尾.
是无源场,N、S 极分不开

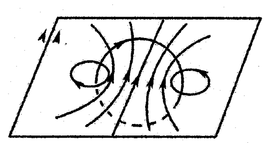
纵截面:从前向后



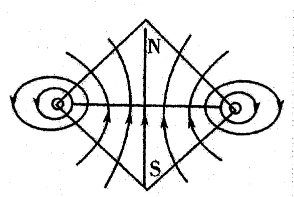
横截面:从上向下



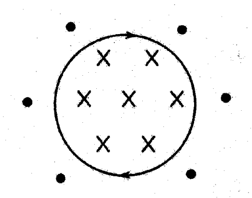
④环形电流(等效为小磁针)



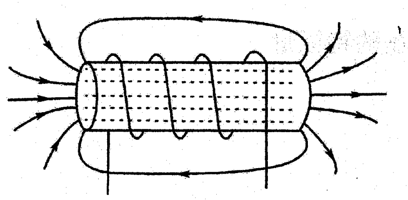
纵截面:从上向下



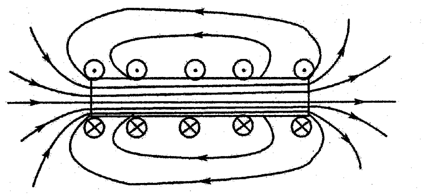
横截面:从前向后



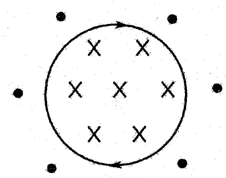
⑤螺线管(等效为条形磁石)



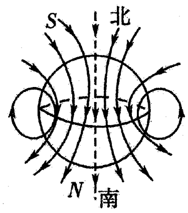
纵截面:从前向后



横截面:从左向右



⑥地磁场



(3)特点:

①假想的闭合曲线

磁石$\begin{cases}\text{外部 N→S}\\\text{内部 S→N}\end{cases}$

②疏密反映强弱:切线方向表示磁场方向

③两条磁感线不相交,不相切

6. 磁通量

(1)意义:穿过某一截面磁场的强弱.

(2)表达式:$\Phi=BS\cos\theta$,θ 是 B 与 S 方向的夹角.

(3)标量,有"+""-",正负表示 B 穿过方向与面的方向夹角.

(4)单位:韦伯(Wb)

三、安培力

1. 定义:通电导线在磁场中受到的力.

2. 表达式

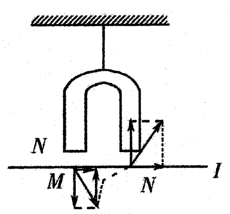
(1)导线 $\perp B$ 时:$F=BIL$

(2)导线与 B 成 θ:$F=BIL\sin\theta$　　　B 是矢量,可分解

3. 方向:左手定则　　　$F\perp$ 平面(导线与 B)

4. 应用

(1)定性分析:方向判断

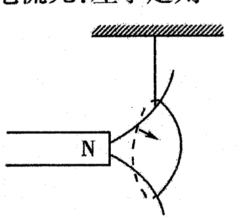


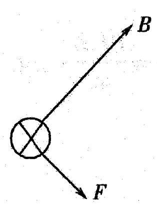
M 点:F 向里

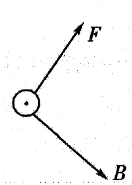
N 点:F 向外

旋转相吸

电流元:左手定则

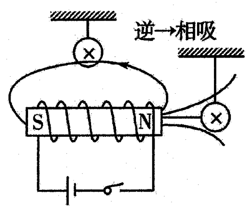




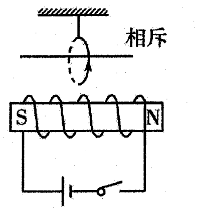


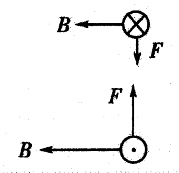
收缩排斥

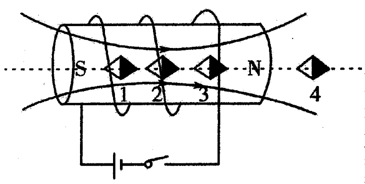
等效法$\begin{cases}\text{环流}\Leftrightarrow\text{小磁针}\\\text{螺管}\Leftrightarrow\text{条形磁石}\end{cases}$



顺→相吸

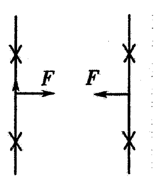


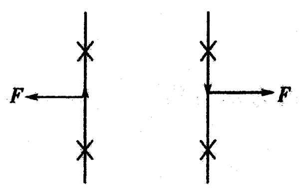




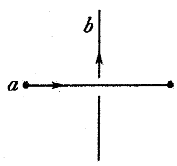
1. 向右　2. 不动　3. 向右　4. 向右

长直密绕的通电螺线管可看作匀强磁场

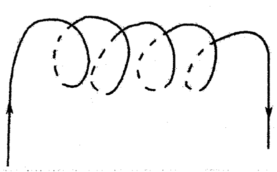




电流$\begin{cases}\text{同向相吸}\\\text{异向相斥}\end{cases}$



b 趋势:旋转相吸

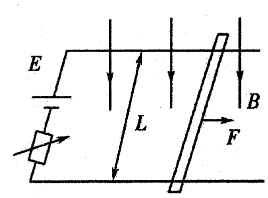


松散的弹簧

直径变大,长度变小

(2)定量计算(导线$\perp B$)

例 1:

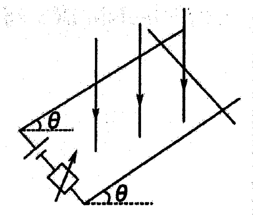


①$R=R_0$ 时,μ,$f_m=f$,求 a.

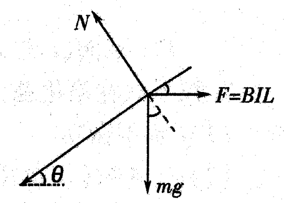
②R 条件不动.

解:①$I_0=\dfrac{E}{R_0}$　$F=BI_0L$　$BI_0L-\mu mg=ma$　$\therefore a=\dfrac{BI_0L}{m}-\mu g$

②$\begin{cases}BIL\leqslant\mu mg\\I=\dfrac{E}{R}\end{cases}$　$\therefore R\geqslant\dfrac{BLE}{\mu mg}$

例 2：

$mg\sin\theta > f = f_m$



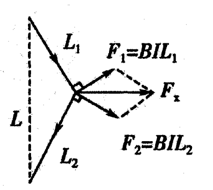
①f 向上时

$$\begin{cases} mg\sin\theta = BIL\cos\theta + f \\ f \leqslant f_m = \mu N \\ N = mg\cos\theta + BIL\sin\theta \end{cases}$$

②f 向下时

$$\begin{cases} mg\sin\theta + f = BIL\cos\theta \\ f \leqslant f_m = \mu N \\ N = mg\cos\theta + BIL\sin\theta \end{cases}$$

$$\frac{BEL}{mg\tan\theta + \mu mg} \leqslant R \leqslant \frac{BEL}{mg\tan\theta - \mu mg}$$

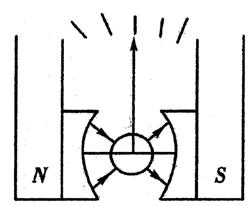
例 3：

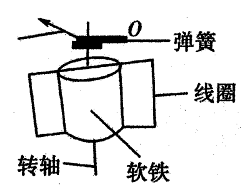
解：$\frac{F}{BIL_1} = \frac{L}{L_1}$ $\therefore F = BIL$

弯曲导线在磁场中受力可等效为端点连线通以相同电流受力.

(3)磁电式电流表

①结构





②辐向分布的场 $F = BIL$

1) $B \perp$ 导线 $\Rightarrow F = BIL$

2)磁感应强度大小不变 $F \propto I$

$Fx_1 = F'x_2 = k\theta \Rightarrow F \propto k\theta$ $\therefore I \propto \theta$

四、洛伦兹力

1. 安培力是运动电荷在磁场中受力的宏观表现.

2. 洛伦兹力

(1)定义：运动电荷在磁场中受力

(2)表达式

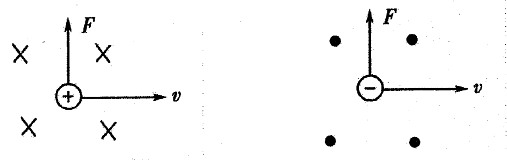
在导线中 $I = nqSv$ n：自由移动电荷的体密度

$N = nSL$ $F = Nf$ （矢量式）

①导线 $\perp B$ 时（$v \perp B$） $F = BIL = BnqSvL = Nf$ $\therefore f = qvB$ （$v \perp B$）

②导线与 B 成 θ 时(v 与 B 成 θ)　$F=BIL\sin\theta=BnqSvL\sin\theta=Nf$　$\therefore f=qvB\sin\theta$($v$ 与 B 成 θ)

(3)方向:左手定则



$F\perp$平面(v 与 B)

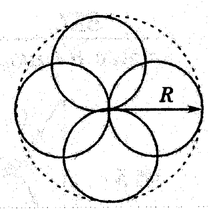
3. 粒子只在洛伦兹力作用下的运动

(1)f 永不做功

(2)$v\perp B$ 时(匀速圆周运动)　$f\perp v\perp B$

$$\begin{cases}qvB=m\dfrac{v^2}{r} & \therefore r=\dfrac{mv}{qB}\\ T=\dfrac{2\pi r}{v} & \therefore T=\dfrac{2\pi m}{qB}\end{cases}$$

例 1: 粒子源在磁场中以 $\perp B$ 的各个方向以相同速率进入场中,求粒子到达区域的面积.

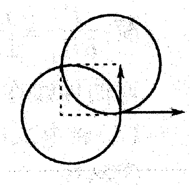


解: 分布的区域为圆形

$R=2r\quad r=\dfrac{mv}{qB}\qquad\therefore S=\pi(2r)^2=\dfrac{4\pi m^2v^2}{q^2B^2}$

$\therefore$ 相同电性的粒子在 B 中旋转方向相同,与初速度无关.

例 2: m、q、v、b,v_1、v_2 垂直,两粒子相遇,求 Δt.

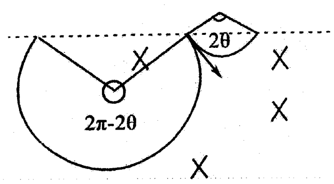


$T=\dfrac{2\pi m}{qB}\quad\Delta\theta_1=\dfrac{3}{2}\pi\quad\Delta\theta_2=\dfrac{\pi}{2}$

$t=\dfrac{\Delta\theta}{2\pi}T\quad\therefore t=\dfrac{\pi m}{qB}$

例 3: 直边界

(1)$m_1=m_2$,$q_1:q_2=2:1$,$v_1:v_2=1:2$



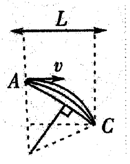
q_1 正,q_2 负,求$\dfrac{t_1}{t_2}$,$\dfrac{x_1}{x_2}$.

解: $t=\dfrac{\alpha}{2\pi}T\quad T=\dfrac{2\pi m}{qB}\qquad\dfrac{t_1}{t_2}=\dfrac{\alpha_1m_1q_1}{\alpha_2m_2q_2}=\dfrac{\theta}{2\pi-2\theta}$

$x=2r\sin\dfrac{\alpha}{2}\quad r=\dfrac{mv}{qB}\qquad\dfrac{x_1}{x_2}=\dfrac{m_1v_1q_2\sin\theta}{m_2r_2q_1\sin(\pi-\theta)}=\dfrac{1}{4}$

同边界进入与离开时与边界夹角相等,与粒子无关.

按粒子偏转方向讨论第一个交点

(3) 

E方向竖直向下，B方向竖直纸面向外，粒子带正电荷，不计重力。

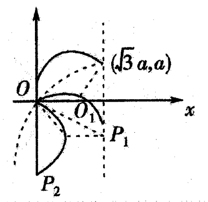
只有 E 时从 A 入 C 出，只有 B 时从 A 入 C 出，求$\frac{E}{B}=?$

解：只有 E：水平匀速 $L=v_0t$ $\quad\therefore t=\frac{L}{v_0}$

竖直匀加速 $y=\frac{1}{2}at^2$ $\quad\therefore a=\frac{Eq}{m}$ $\quad\therefore y=\frac{EqL^2}{2mv_0^2}$

只有 B：$r^2=(r-y)^2+L^2$ $\quad r=\frac{mv_0}{qB}$

$$E=\frac{2mv_0^2y}{qL^2}\quad B=\frac{mv_0}{qr}=\frac{mv_0}{q}\cdot\frac{2y}{y^2+L^2}\quad\therefore\frac{E}{B}=\frac{(y^2+L^2)\cdot v_0}{L^2}$$

(4) 

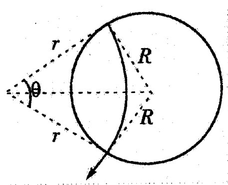
在 y 轴和虚线间有匀强磁场，在原点处粒子源以相同速率同时释放 $\perp B$ 的各个方向的粒子，某时沿 y 正进入的粒子恰好到 $P(\sqrt{3}a,a)$，则此时还在 B 内的粒子进入时 v_0 与 y 的夹角.

解：飞出点与原点所对弧圆心角为 120°

则 $OP=OP_1=OP_2$

$P_1\to\theta_1=60°$ $\quad P_2\to\theta_2=120°$ $\quad\therefore 60°<\theta<120°$

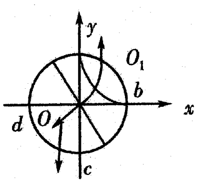
例 4：圆形边界磁场

(1) 

磁场半径为 R，粒子以 v 进入磁场，知 m、q、B，求 $t=?$

解：$r=\frac{mv}{qB}$ $\quad\therefore\theta=2\arctan\frac{qBR}{mv}$ $\quad\therefore t=\frac{\theta}{2\pi}T=\frac{2m}{qB}\arctan\frac{qBR}{mv}$

粒子沿半径飞入，也沿半径飞出.

(2) 

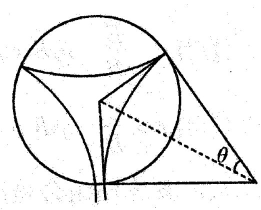
粒子从 a 点沿 av 入场，恰从 b 飞出，以不变的速率从 O 点以 $\perp B$ 的某方向入，竖直飞出，求从 x 正方向逆时针到 v_0 的方向，角 $\theta=?$

解：$r=R$，圆心在⊙O 上，逆时针旋转由几何关系得，$\theta=30°$或 210°.

(3)粒子从缝沿半径飞入场中，与挡板发生有机械能损耗的碰撞，知 m、q、R、b.

①碰两次后恰从原位置飞出.

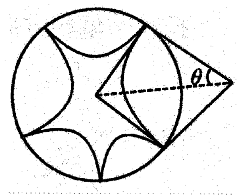
②碰四次后恰从原位置飞出，求 $v=?$ $\quad t=?$



解：$qvB=m\frac{v^2}{r}$ $\quad\therefore v=\frac{mr}{qB}$ $\quad v=\frac{2\pi r}{T}$ $\quad\therefore T=\frac{2\pi m}{qB}$

①$\theta=60°$ $\quad r=R\cot 30°$

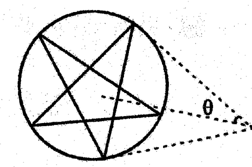
$\therefore v=\dfrac{qBR\cot 30°}{m}=\dfrac{\sqrt{3}qBr}{m}$　　$t=3\cdot\dfrac{60°}{360°}T=\dfrac{\pi m}{qB}$



②$\theta=108°$　$r=R\cot 54°$　　$\therefore v=\dfrac{qBR\cot 54°}{m}$

$t=s\cdot\dfrac{108°}{360°}T=\dfrac{3\pi m}{qB}$

$\theta=36°$　$r=R\cot 18°$



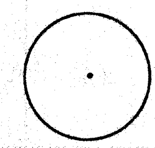
$\therefore v=\dfrac{qBR\cot 180°}{m}$　　$t=s\cdot\dfrac{36°}{360°}T=\dfrac{\pi m}{qB}$

若粒子碰撞 n 次，

$$\begin{cases}(n+1)\varphi=2k\pi \quad \varphi<\pi\\ \theta=\pi-\varphi\Rightarrow\dfrac{2k\pi}{n+1}<\pi\end{cases}\qquad(2k<n+1)$$

$t=(n+1)\dfrac{\theta}{2\pi}\cdot T$　$\tan\dfrac{\varphi}{2}=\dfrac{r}{R}$

(4)R、B、m、q 已知一束粒子



①以$(v_0\sim nv_0)$飞入磁场，$t_{min}=?$

②知 m、q、R、v_0，粒子以 v_0 沿半径进入不同场，B 从$(B_0\sim nB_0)$，$t_{min}=?$

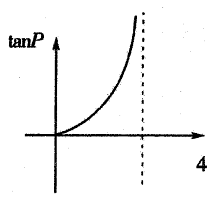
解：①$\tan\dfrac{\theta}{2}=\dfrac{R}{r}$　$r=\dfrac{mv}{qB}$　$\therefore\tan\dfrac{\theta}{2}=\dfrac{qBR}{mv}$

当 v 大时 θ 小

$t=\dfrac{\theta}{2\pi}\cdot T$　t 小　　$\therefore v=nv_0$ 时　t_{min}

②$t=\dfrac{L}{v}=\dfrac{r\theta}{v}=\dfrac{R\theta}{v\tan\dfrac{\theta}{2}}$

$\tan\dfrac{\theta}{2}=\dfrac{R}{r}$　令$\dfrac{\theta}{2}=\varphi$，$t=\dfrac{2R\varphi}{v\tan\varphi}$



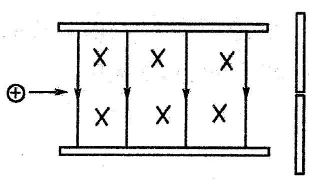
φ 大时$\dfrac{\varphi}{\tan\varphi}$小

又$\because\tan\varphi=\dfrac{qBR}{mv}$

$\therefore B$ 大时 t_{min}

4. 实际应用(电磁叠加场)

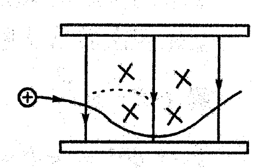
(1)速度选择器



求沿直线运动穿过小孔的粒子特征：

解：$qvB=Eq$　$\therefore v=\dfrac{E}{B}$

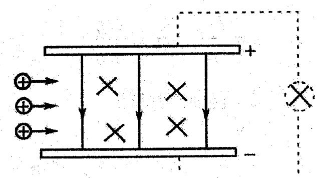
①当 $v<\dfrac{E}{B}$　$qvB<Eq$　　均在 Eq 力作用下偏转



②当 $v>\dfrac{E}{B}$　$qvB>Eq$　　均在 qvB 下偏转

v、E、B 方向组合是确定的，但不唯一.

(2)磁流体发电机

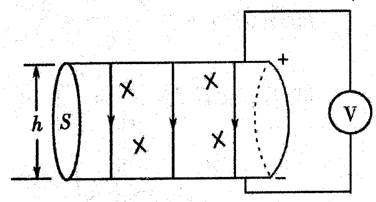


①等离子体:被电离的含有等量正负离子的高速离子流

$q_+ = q_-$　　$\frac{U}{d}q = qvB$　$\therefore U = Bdv$

②电动势　$U = Bdv$

(3)电磁流量计

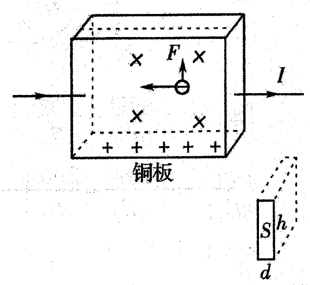


①流量:单位时间内流过某一截面的流体的体积

$\frac{U}{h}q = qvB$　$v = \frac{U}{Bh}$

②原理:$Q = vS = \frac{US}{Bh}$　　$\therefore Q \propto U$

(4)霍尔效应



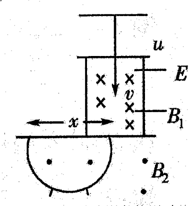
$\begin{cases}\text{前后面 } 1,2 \\ \text{左右面 } 3,4 \\ \text{上下面 } 5,6\end{cases}$　　$\varphi_1 = \varphi_2$　　$\varphi_3 > \varphi_4$　　$\varphi_5 < \varphi_6$

霍尔电压 U

$\frac{U}{h}e = evB$　$\therefore U = Bhv$

$I = neSv$　$S = dh$　　$U = Bh\frac{I}{nedh} = \frac{BI}{ned}$

(5)质谱仪

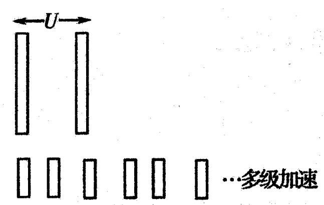


$Uq = \frac{1}{2}mv^2$　$v = \sqrt{\frac{2Uq}{m}}$　$x = \frac{2mv}{qB}$

$\therefore x = \sqrt{\frac{8Um}{qB^2}}$

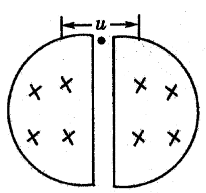
速度选择器,则 $x = \frac{2mE}{qB_2B_1}$

(6)回旋加速器



$Uq = \frac{1}{2}mv^2$

①结构



②加速电场

加速一次:$Uq = \Delta E_k$

交变电场:$T_{变} = \frac{2\pi m}{qB}$

③最大速度　$r_m = R = \frac{mv_m}{qB}$　$\therefore v_m = \frac{qBR}{m}$

④粒子加速的总时间

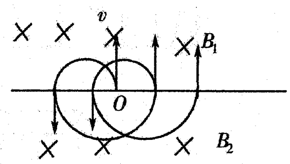
1)在电场中是完整的匀加速

$t=\frac{v_m}{a}\quad a=\frac{Uq}{md}\quad \therefore t_{电}=\frac{BdR}{U}$

2)在磁场中

加速次数 $n=\frac{\frac{1}{2}mv_m^2}{Uq}=\frac{q^2B^2R^2}{2mUq}\qquad t_{磁}=\frac{n}{2}\cdot T=\frac{\pi BR^2}{2U}$

如果 $d\ll R$ 时,$\frac{t_{电}}{t_{磁}}=\frac{2d}{\pi R}\to 0$

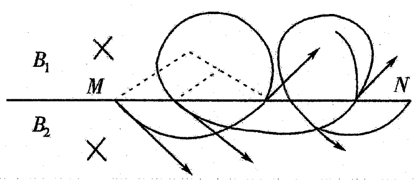
例 1: 

从 O 点垂直向上射入,B_1、B_2 满足什么关系使粒子能回到 O 点?

解:$\Delta x=\frac{2mv}{qB_2}-\frac{2mv}{qB_1}$

$\frac{2mv}{qB_1}=n\left(\frac{2mv}{qB_2}-\frac{2mv}{qB_1}\right)$

$n=1,2,3,\cdots$

例 2: 

从 M 射入经过 N,$B_1>B_2$,求 MN 距离的条件.

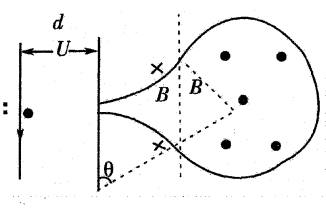
解:$T=\frac{2\theta}{2\pi}\cdot\frac{2\pi m}{qB_2}+\frac{2\pi-2\theta}{2\pi}\cdot\frac{2\pi m}{qB_1}\qquad \Delta x=2\cdot\frac{mv}{qB_2}\sin\theta-2\cdot\frac{mv}{qB_1}\sin\theta$

①$L=n\Delta x=2n\sin\theta\left(\frac{mv}{qB_2}-\frac{mv}{qB_1}\right)\quad n=1,2,3,\cdots$

②$L=2\cdot\frac{mv}{qB_2}\sin\theta+k\Delta x=\frac{2mv\sin\theta}{aB_2}+2k\sin\theta\left(\frac{mv}{qB_2}-\frac{mv}{qB_1}\right)\qquad k=0,1,2,3,\cdots$

五、磁场的组合场

1. 时间、空间变化具有周期性

例: 

经 U 加速,一段时间又回到出发点,求最短时间 t 和 d.

解:$\theta=60^\circ\quad Uq=\frac{1}{2}mv^2\quad \therefore v=\sqrt{\frac{2Uq}{m}}$

$a=\frac{qU}{md}\quad t_0=\frac{v}{a}\quad \therefore t_0=\frac{\sqrt{2m}\,d}{\sqrt{Uq}}$

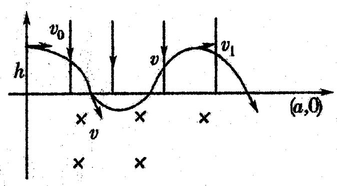
$T=\frac{2\pi m}{qB}\qquad t_{min}=\frac{T}{6}+\frac{5T}{6}+\frac{T}{6}+2t_0=\frac{7\pi m}{3qB}+2d\sqrt{\frac{2m}{Uq}}$

$L=r\sin\theta=\frac{1}{2B}\sqrt{\frac{6Um}{q}}$

2. $E+B$ 组合场

$E\begin{cases}\text{改变 } v \text{ 大小}\\ \text{改变 } v \text{ 方向}\end{cases}$ $\begin{cases}\text{轨迹变化具有周期性}\\ \text{具有临界性}\end{cases}$

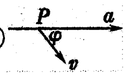
B 只改变 v 方向

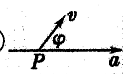
例：

经过$(a,0)$

$\begin{cases}T=2t_e+t_{磁}\\ \Delta x=2x_{电}+x_{磁}\end{cases}$ $t_{电}=\sqrt{\dfrac{2h}{a}}=\sqrt{\dfrac{2mh}{Eq}}$ $t_{磁}=\dfrac{2\varphi}{2\pi}T_0$

$\tan\varphi=\dfrac{at_{电}}{v_0}$ $x_{电}=v_0\sqrt{\dfrac{2hm}{Eq}}$ $x_{磁}=2r\sin\varphi$

①  $a=x_{电}+n\Delta x_{磁}$ $n=1,2,3,\cdots$

②  $a=x_{电}+x_{磁}+k\Delta x$ $k=0,1,2,\cdots$

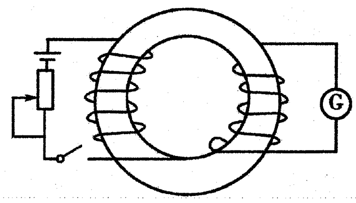
第十一章　电磁感应

一、电磁感应

1. 电磁感应现象

由磁得到电的现象

2. 实验　由磁→电



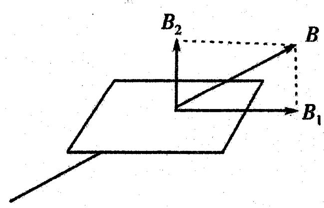
①变化的电流→$I_{感}$

②运动的磁场或线圈→$I_{感}$

③线圈内磁场在变化→$I_{感}$

④线圈面积的变化→$I_{感}$

条件:B 不能与线圈平面平行



(1)线圈内 B 变化

(2)线圈的面积变化

3. 磁通量

(1)定义:磁感应强度与垂直于磁场的截面面积的乘积.

(2)表达式:$\Phi = BS\cos\theta$

(3)标量:有正负(代表 θ)　$0° \leq \theta < 90°$　Φ 为正　$90° < \theta \leq 180°$　Φ 为负

(4)物理意义:描述穿过某一截面的磁场的强弱(在定性分析时,用线的条数反映 Φ 的大小)

4. 条件:闭合线圈中有磁通量的变化

5. 楞次定律

(1)内容:感应电流的磁场阻碍引起感应电流的磁通量变化

(2)应用:

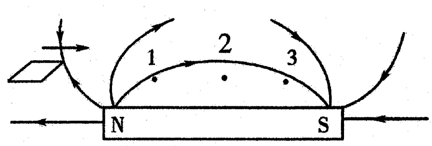
①确定原磁场的穿过方向

②确定原磁通量的变化

③确定感应磁场的穿过方向

④确定感应电流的方向

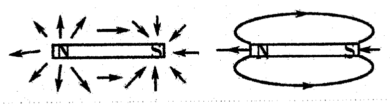
例 1:磁石的场

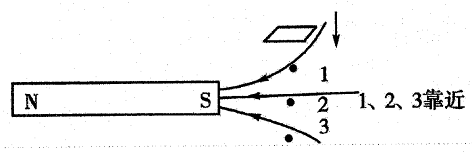
(1) 

在 1、2、3 感应电流方向.

解:1:逆　2:逆　3:逆

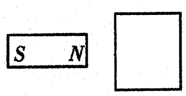
由 Φ 的极植分成 Φ 单调变化的几个过程



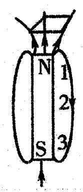
(2) 

在 1、2、3 感应电流方向

解:1:顺　2:顺　3:顺

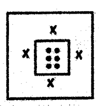
(3) 

①向右、左动　无
②向外、里动　外:逆　里:顺
③绕垂直纸面轴转动　无
④N 向外,S 向里动　逆

(4) 

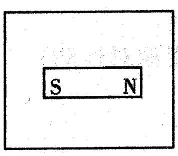
1:顺
2:无
3:逆

从上向下 $\Phi=\Phi_{里}-\Phi_{外}$



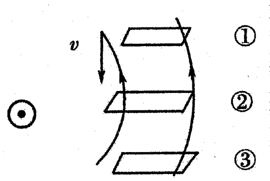
Φ"+、-"由 $\Phi_{里}$ 决定 $\begin{cases}\Phi_{里} \text{ 几乎不变} \\ \Phi_{外} \text{ 先小后大}\end{cases}$

$\therefore \Phi$ 先大后小

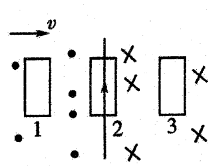
(5) 

①向外、里动　无
②绕垂直纸面轴动　无
③N 向外,S 向里动　顺

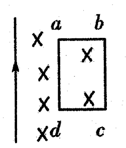
例 2:电流的磁场

(1) 

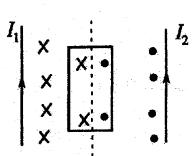
顺
无
逆

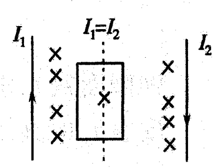
(2) 

1. 顺
2. 逆
3. 顺

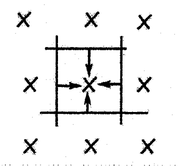
(3) 

绕　ab　顺
　　bc　顺
　　ad　顺

(4) 



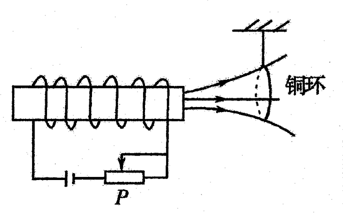
$I_1=I_2\begin{cases}①I_1、I_2\text{ 同增}\\②\text{反向同增}\end{cases}$ $\begin{cases}I_1\uparrow\quad I_2\downarrow\quad\text{逆}\\I_1\downarrow\quad I_2\uparrow\quad\text{顺}\end{cases}$

例 3： 

B 增大

①I 方向　②每个棒动？

I 逆时针　　　　S↓

例 4： 

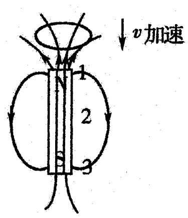
(1)P→右　(2)P←左

①I 方向(从左看)　顺　　逆

②动趋势　　　　　向左　向右

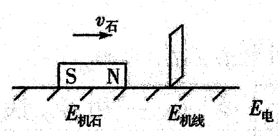
③S 变化趋势　　　变大　变小

内容 2：线圈在感应电流安培力作用下运动趋势或效果阻碍磁通量变化.

例 5： 

(1)0→1　(2)1→2

(3)2→3　(4)3→远



$\Delta E_{机石}=\Delta E_{机线}+\Delta E_{电}$

$Fv_{石}=P_{电}+Fv_{线}$

$\therefore v_{石}>v_{线}$(阻碍相对运动)

①I 方向　　②S 变化趋势

③a 与 g 大小

(1)顺　变小　$a<g$

(2)顺　变大　$a<g$

(3)逆　变小　$a<g$

(4)逆　变大　$a<g$

内容 3：由相对运动引起电磁感应时，线圈感应电流安培力阻碍线圈和磁场间的相对运动.

6. 法拉第电磁感应定律

(1)感应电源

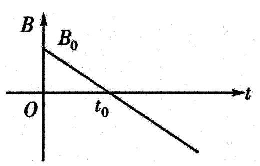
①线圈中有磁场变化的部分

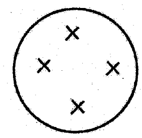
②线圈中引起磁场变化的部分

(2)法拉第电磁感应定律

①内容：$E=n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

②应用$\begin{cases}\Delta t\text{ 是一段时间，求平均值}\\\Delta t\text{ 是瞬间，}\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}\text{是变化率，对应瞬时值}\end{cases}$

例： 



线圈面积 S，求①从 $0\to t_0$. $E=?$

②在 t_0 时刻，$E=?$

解:①$\Delta\Phi=\Phi_t-\Phi_0=B_0S$　　$E=n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$　$\therefore E=\dfrac{B_0S}{t_0}$

②在 $B-t$ 图中,$\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$是斜率 $k=\dfrac{B_0}{t_0}$

在 t_0 时刻$\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}=S\cdot k=\dfrac{B_0S}{t_0}$　　$\therefore E=\dfrac{B_0S}{t_0}$

(3)两种感应电动势

①感生电动势

B 变化时会在周围产生与之垂直的涡旋电场

②动生电动势

$E=BLv$

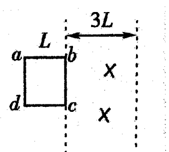
(4)切割时电动势

①公式:$E=BLv$

②条件:B、L、v 三者相互垂直,当 v 与 B 成 θ 时,$E=BLv\sin\theta$

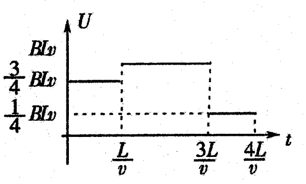
③右手定则:四指指向的是感应电动势的方向

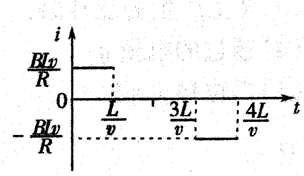
④应用

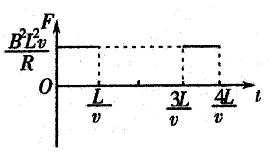
例 1:(1) 

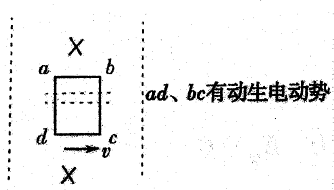
边长为L的正方形线框,$d=3L$,以水平 v 向右匀速,画出

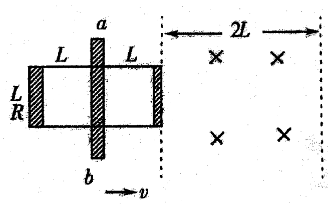
①$U_{bc}-t$　②$i—t$(逆为正)　$F—t$



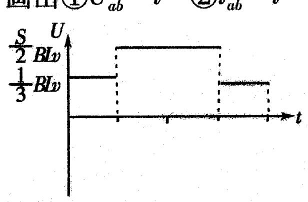


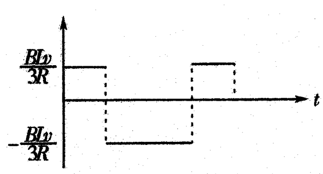


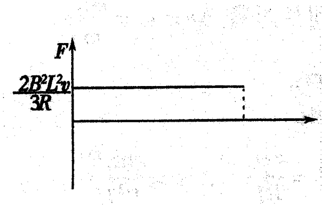


(2) 

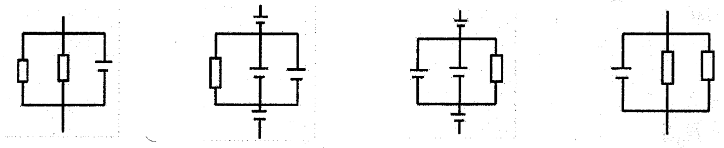
画出①$U_{ab}-t$　②$i_{ab}-t$　③$F-t$





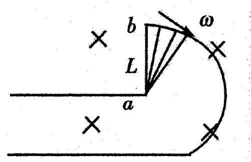


$0\sim L$ $L\sim 2L$ $2L\sim 3L$ $3L\sim 4L$



例 2：导体棒匀速转动

(1)

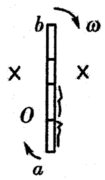


$E=B\dfrac{\Delta s}{\Delta t}=B\cdot\dfrac{1}{2}\omega tL^2\cdot\dfrac{1}{t}$ $\therefore E=\dfrac{1}{2}B\omega L^2$

$E=B\Delta lv_1+B\Delta lv_2+\cdots+B\Delta lv_n=B(\Delta lv_1+\Delta lv_2+\cdots+\Delta lv_n)=Blv_{\phi}$

$\bar{v}$：对位置的平均值

(2)



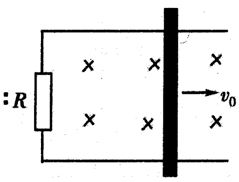
O 在 ab 下方四等分点

$E=BL\cdot\dfrac{1}{2}\omega L$

$\therefore E=\dfrac{1}{4}B\omega L^2$

7. 综合题型

例 1：



(1)分析棒怎样动？
(2)有几个力做功？
(3)R 上产生的焦耳热？
(4)通过的电量 q
(5)总位移 $x=?$

$$\begin{cases}\text{安培力做负功 } E_m\xrightarrow{W_{安}}E_{电}\xrightarrow{W_t}Q\\ \text{安培力做正功 } E_{电}\xrightarrow{W_{电}}E_{机}\neq Q\end{cases}$$

解：

(1)$a\downarrow$ $v\downarrow$

(2)安培力 $E_{机}\to E_{电}$ 电场力 $E_{电}\to Q$

(3)$Q=E_{机}=\dfrac{1}{2}mv_0^{\ 2}$

(4)$BIL=ma$ $\therefore a=\dfrac{BIL}{m}$

在一段很小 Δt 内有

$\Delta v=a\Delta t_i=\dfrac{BIL}{m}\Delta t_i=\dfrac{BL}{m}\Delta q$；

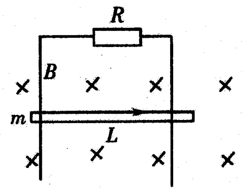
从 v_0 到 0 过程 $\Delta v=v_0=\dfrac{BL}{m}q$

$\therefore q=\dfrac{mv_0}{BL}$

$\bar{q}=\bar{I}t$ $\bar{E}=n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

$\therefore q=n\dfrac{\Delta\Phi}{R}$

(5)$q=\dfrac{BLx}{R}=\dfrac{mv_0}{BL}$ $\therefore x=\dfrac{mv_0R}{B^2L^2}$

例 2: 

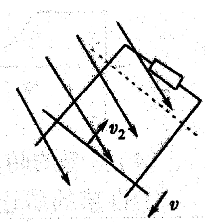
棒由静止释放,一直与导轨接触良好且水平. 已知棒经 t 时间运动稳定,求(1)$v=?$　　(2)$Q=?$

解:(1)$\begin{cases} mg-BIL=ma \\ I=\dfrac{BLv}{R} \end{cases}$　　$\therefore a=g-\dfrac{B^2L^2v}{mR}$　　当 $a=0$　$v_m=\dfrac{mgR}{B^2L^2}$

(2)$mgh-\dfrac{1}{2}mv_m{}^2=Q$

$$v_m=gt-\frac{BL}{m}\cdot\frac{BLh}{R}\qquad \therefore Q=\frac{m^2g^2Rt}{B^2L^2}-\frac{3m^3g^2R^2}{2B^4L^4}$$

例 5: 知 $m=0.1$ kg,$L=1$ m,$R=1\ \Omega$　$B=1$ T. 提升时,$U=7$ V,$I=1$ A,R 的 Q 为 2 J. $r=1\ \Omega$. 提升 $h=0.8$ m 棒速度最大. 求①$V_m=?$　　②$t=?$

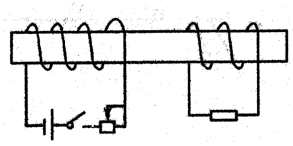


解: $P=UI-I^2r$　　$\therefore P=6$ W

$P=Fv_m$　　$\left(mg+\dfrac{B^2L^2v_m}{R}\right)v_m=P$　　$\therefore v_m=2$ m/s

$Pt=\dfrac{1}{2}mv_m{}^2+mgh+Q$　　$\therefore t=0.5$ s

二、自感涡流



1. 互感:由一个线圈中的电流变化在另外一个线圈中引起电磁感应现象

2. ①P 从左→右时　　i 小→B 小→Φ 小

$E=n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$产生同向 $I_{感}$　$I_{感}<\Delta I$

作用:阻碍减小

②P 从右→左时　　I 大→B 大→Φ 大

$E=h\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$产生反向 $I_{感}$　$I_{感}<\Delta I$

作用:阻碍增大

3. 自感

(1)两种方式$\begin{cases}阻碍 I 减小\\ 阻碍 I 增大\end{cases}$

(2)解释:通过电磁感应现象延缓电流变化的过程,没有改变电流变化的趋势

$$E_{自}=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$\Rightarrow E_{自}\propto\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\propto\frac{\Delta B}{\Delta t}\propto\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

↓　　↓　　↓

匝数　面积　有无铁芯

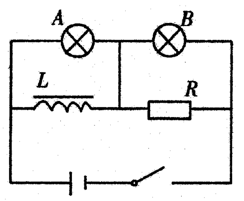
(3)自感电动势

①表达式:$E_{自}=L\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$

②自感系数:n、S、铁芯

亨(利)　1 H $=10^3$ mH $=10^6$ μH

例 1:



L 无电阻

开关闭合/断开

通　$0\longrightarrow I$　缓慢　断开 $I\to 0$ 缓慢

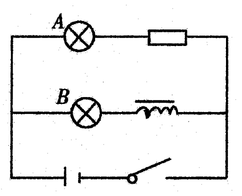
$\downarrow\qquad\downarrow$

$\infty\longrightarrow 0$

通电:A 慢慢变暗、B 慢慢变亮

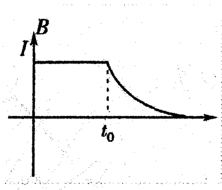
断电:A 亮、慢慢变暗、B 灭

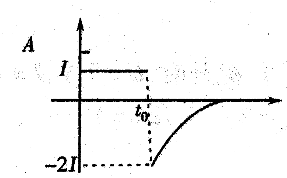
例 2:



通电:A 亮　B 慢慢变亮

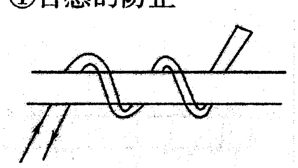
断电:A 闪慢慢变暗　B 慢慢变暗





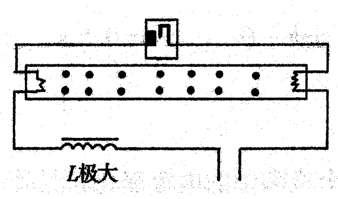
(4)自感的防止与应用

①自感的防止



双线绕法

②应用



振流器作用$\begin{cases}提供瞬时高压\\ 稳压限流\end{cases}$

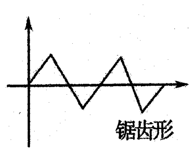
4. 涡流

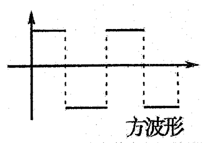
第十二章　交流电

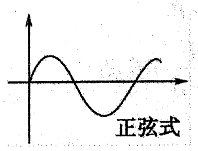
一、交流电

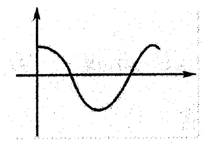
1. 交流电

(1)定义:大小、方向随时间周期性变化的电流

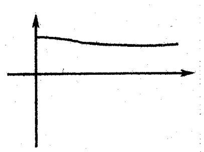
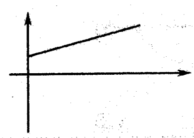
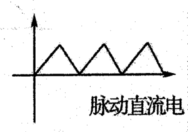


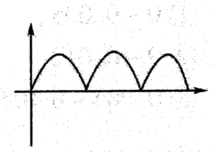






(2)直流电:方向不变化的电流



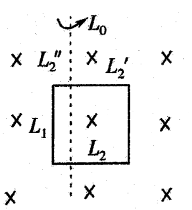
(3)发电机

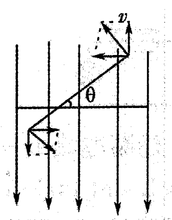
①旋转电枢式发电机

②旋转磁极式发电机

2. 正弦式交流电

(1)产生





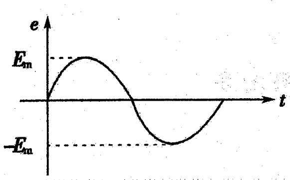
$e(t)=nBL_1\omega L_2'\sin\theta+nBL_1\omega L_2''\sin\theta$

$\therefore e(t)=nB\omega S\sin(\omega t)$

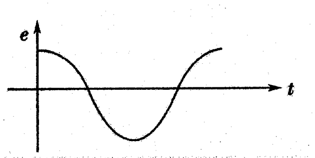
(2)中性面:与磁场垂直的平面

(3)表达式

①$t=0$ 时,线圈平面恰好在中性面　　$e(t)=nB\omega\cdot\sin(\omega t)$



②$t=0$ 时,线圈平面恰好垂直中性面　　$e(e)=nB\omega S\cdot\cos(\omega t)$



(4)条件(线圈转动)

①匀强场

②匀速转动

③轴在线圈平面内且$\perp B$

3. 正弦交流电的描述

(1)周期与频率

$$T=\frac{2\pi}{\omega} \qquad f=\frac{1}{T}$$

(2)峰值

$E_{\rm m}=nB\omega S$

$e(t)=E_{\rm m}\sin\omega t$

$i(t)=I_{\rm n}\sin\omega t \qquad I_{\rm m}=\dfrac{nB\omega S}{r+R}$

$U(t)=U_{\rm m}\sin\omega t \qquad U_{\rm m}=\dfrac{R}{r+R}nB\omega S$

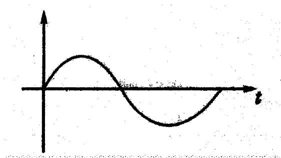
(3)平均值

例:$e(t)=311\sin(31.4t)$ V.

求 ① 0~0.005,

② 0~0.010,

③ 0.005~0.015,



求$\overline{E}$只能用$\overline{E}=n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

解:①$\dfrac{2}{\pi}nB\omega S=\dfrac{622}{\pi}$ ②$\dfrac{2}{\pi}nB\omega S=\dfrac{622}{\pi}$ ③0

(4)有效值

①定义:如果某一交流电和直流电在相等时间对同一电阻产热相同,我们把直流电的值称为该交流电的有效值. (有相同的热效应)

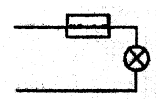
②$E_{有效}=\dfrac{E_{\rm m}}{\sqrt{2}}$

③应用

1)有关热效应

2)交流电表测的值是有效值

3)交流电器铭牌上标的值是有效值



熔断电流$I_0=6$ A

$i=6.2\sin(14t)$ A

则保险丝 <u>不会</u> 熔断

I_0是有效值

电容器的击穿电压与交流电压的最大值有关

$C=6\ \mu$F $U_0=5$ V

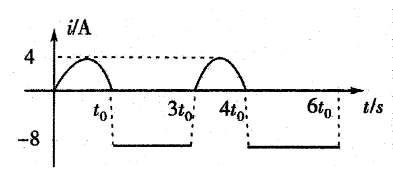
$U=5.2\sin(14t)$ V

则电容器 <u>会</u> 被击穿

与热效应无关

④计算

例:求有效值



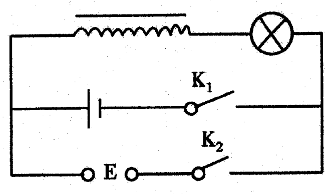
$$\left(\frac{4}{\sqrt{2}}\right)^2R\,t_0+8^2R\cdot 2t_0=I^2R\cdot 3t_0$$

$$\therefore I=\sqrt{\frac{136}{3}}\text{ A}$$

(5)相位:把$\omega t+\varphi_0$称为正弦式交流电的相位. 其φ_0称为初相.

二、电容、电感对交流电的影响

1. 电感线圈



(1)对交流电阻碍作用线圈自感分压

(2)感抗:$X_L=2\pi f\cdot L(\Omega)$　　$E_{自}=L\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$

$\begin{cases}L\text{ 大时}\quad X_L\text{ 大}\\ f\text{ 大时}\quad X_L\text{ 大}\end{cases}$

(3)应用:扼流圈

①低频扼流圈:对低频交流电有很强阻碍作用　　L 大

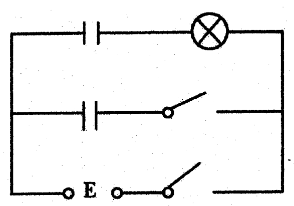
②高频扼流圈:对高频交流电有很强阻碍作用　　L 小

(4)作用

①通直流,阻交流

②通低频,阻高频

2. 电容



$Q=CU$

$C_{大}\to Q_{大}\to I>\dfrac{\Delta Q}{\Delta t}$大

$f_{大}\to u_{变化}$　$\Delta t_{小}\to I>\dfrac{\Delta Q}{\Delta t}$大

(1)通交流:交替充放电. 充放电的电流通过部分用电器

(2)阻碍:充放电分压

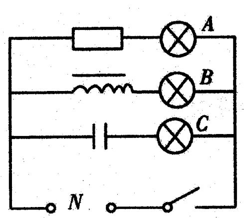
(3)容抗:$X_C=\dfrac{1}{2\pi fC}(\Omega)$

(4)作用

①通交流,隔直流

②通高频,阻低频

例:



①$f\uparrow$　②$\uparrow$

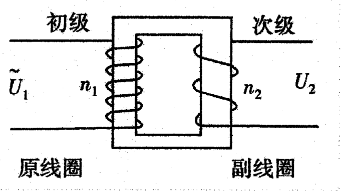
A、B、C 亮度?

①A 不变,B 变暗,C 变亮

②都变亮,同样亮

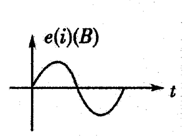
三、变压器

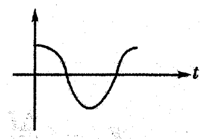
1. 结构:铁芯、线圈



2. 原理:互感原理

$e_1=E_m\sin\omega t$





$\begin{cases} e_{1自}=n_1\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} \\ e_2=n_2\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} \end{cases}$　　任意时刻$\dfrac{e_{1自}}{e_2}=\dfrac{n_1}{n_2}$

E_1:原线圈自感的有效值　　E_2:副线圈自感的有效值

$\dfrac{E_1}{E_2}=\dfrac{n_1}{n_2}$

$U_1I_1=E_1I_1$　　$\therefore U_1=E_1$

$E_2I_2=u_2I_2$　　$\therefore U_2=E_2$

$\therefore \dfrac{U_1}{U_2}=\dfrac{n_1}{n_2}$ $\begin{cases}\text{线无内阻}\\ \text{铁芯无漏磁}\\ \text{无涡流}\end{cases}$

3. 理想变压器:没有铁损、铜损

4. 规律

(1)电压关系:电压比等于匝数比 $U_1:U_2:U_3:\cdots:U_n=n_1:n_2:n_3:\cdots:n_n$

(2)功率关系:$P_1=P_2+P_1+\cdots$　　$U_1I_1=U_2I_2+U_3I_3+\cdots$

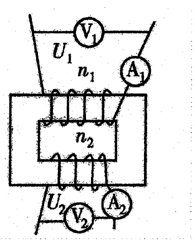
(3)电流关系:$n_1I_1=n_2I_2+n_3I_3+\cdots$

一个原线圈一个副线圈时,$\dfrac{I_1}{I_2}=\dfrac{n_2}{n_1}$

令$\dfrac{U_1}{n_1}=\dfrac{U_2}{n_2}=\cdots=k$　　$\therefore U_1=n_1k$　$U_2=n_2k\cdots$

$U_1I_1=U_2I_2+U_3I_3+\cdots$　　$\therefore n_1I_1=n_2I_2+n_3I_3+\cdots$

例



(1)输入电源恒定时,只减少 n_2,四块表怎样变化?

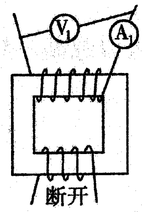
解:V_1 不变　　V_2 变小

A_1 变小　A_2 变小

决定关系:

①U_1 决定 U_2　　②P_2 决定 P_1　　③I_2 决定 I_1

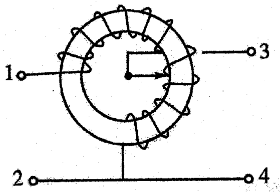
(2)

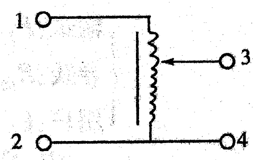


V_1、A_1 示数都不为 0

5. 几种常见的变压器

(1)调压变压器(自耦变压器)



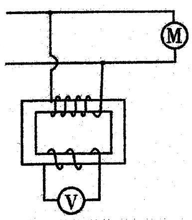


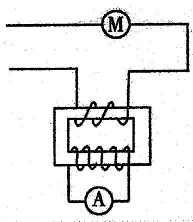
1、2 原线圈:降压

3、4 原线圈:升压

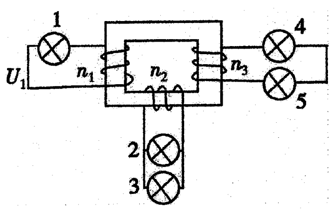
(2)互感器

①电压互感器　　　　　　②电流互感器





例 1:



灯泡　6 V,10 W,全正常工作.

求:①$n_1 : n_2 : n_3$

$U_1 I_0 = 5\ P_0$

$U_1' : U_2' : U_3' = n_1 : n_2 : n_3$

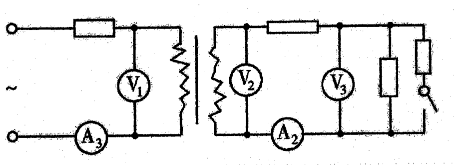
②U_1

$\therefore\ U_1 = 30\ \text{V}$

$U_1 = 24\ \text{V}\quad U_2 = u_0 = 6\ \text{V}\quad U_3 = 2U_0 = 12\ \text{V}$

$\therefore\ n_1 : n_2 : n_2 = 4 : 1 : 2$

例 2:



闭合电键,示数变化?

解: $V_1\downarrow$　$V_2\downarrow$　$V_3\downarrow$　$A_1\uparrow$　$A_2\uparrow$

输出功率变大⇒输入功率变大⇒ $A_1\uparrow \Rightarrow V_1\downarrow$

6. 电能的输送

(1)电网输电:输出功率恒定(用电客户很多时,个别用电器变化对总功率影响可以忽略不计.)

(2)$P_{出}$　$U_{出}$　$R_{线}$

①$\Delta U=\frac{P_{出}}{U_{出}}R_{线}$

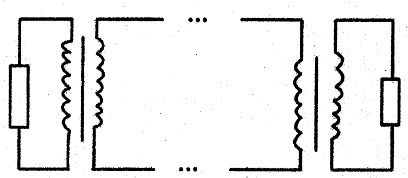
②$\Delta P=\left(\frac{P_{出}}{U_{出}}\right)^2R_{线}$

(3)降低导线 ΔP

①增大输送电压

②降低导线电阻

(4)线路图



$\begin{cases}\text{输送}:P_1、U_1\\ \text{导线}:R_{线}、\Delta P\\ \text{用户}:U_2\end{cases}$

求:升压 $n_1:n_2$　降压 $n_3:n_4$

解:输出 $I_1=\frac{P_1}{U_1}$　导线 $I_2=\sqrt{\frac{\Delta P}{R_{线}}}$　用户 $I_3=\frac{P_1-\Delta P}{U_2}$

$\therefore \frac{n_1}{n_2}=\frac{I_2}{I_1}=\frac{U_1}{P_1}\sqrt{\frac{\Delta P}{R_{线}}}$

$\frac{n_3}{n_4}=\frac{I_3}{I_2}=\frac{P_1-\Delta P}{U}\sqrt{\frac{R_{线}}{\Delta P}}$

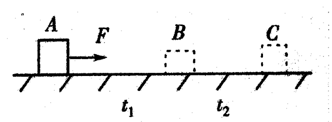
第十三章　动量守恒

一、基本概念

瞬时效果：$a=\dfrac{F}{m}$　　空间效果：$W=\Delta E$

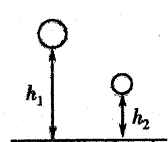
$\Delta v=\dfrac{F}{m}t$　$s=\dfrac{1}{2}at^2$　　$Ft=mat=mv_t-mv_0=\Delta p$

1. 冲量
(1)定义：把力与时间的乘积定义为冲量
(2)表达式：$I=Ft$　（N·s）
(3)矢量：恒力时与 F 同向，是过程量
(4)意义：产生动量变化的原因及量度
2. 动量
(1)定义：把质量与速度的乘积定义为动量
(2)表达式：$p=mv$（kg·m/s）
(3)矢量：与 v 同向
(4)意义：描述运动状态的量
(5)动量变化量：$\Delta p=p_t-p_0$
3. 动量定理
(1)内容：系统合力的冲量等于系统动量变化量　$\sum I_{内}=0,\sum I_{外}=\sum\Delta p$
(2)表达式：$\sum I_{外}=\sum\Delta p$
(3)应用：
　①明确对象
　②受力分析（求合力冲量）
　③明确始末状态
　④列方程求解

例1： 

拉力 F 作用 t_1，到达 B 松手，继续运动到 C，求 f.

解： $Ft_1-f(t_1+t_2)=0$　　$f=\dfrac{t_1}{t_1+t_2}F$

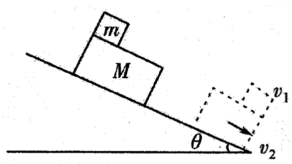
例2： 

知与地作用时间 Δt
求与地作用 $\bar{F}$.

解： 设向上为正.

$v_0^2=2gh,v_0=-\sqrt{2gh_1}$　　$v_t^2=2gh_2$　$v_t=\sqrt{2gh_2}$

$(\bar{F}-mg)\Delta t=mv_t-mv_0$　　$\bar{F}=\dfrac{m(\sqrt{2gh_2}+\sqrt{2gh_1})}{\Delta t}+mg$

例 3：

$m=1$ kg，$M=2$ kg. M 与斜面间 $\mu_1=0.2$，$\theta=37°$ 恰好一起到斜面底端，$v_1=10$ m/s，$v_2=6$ m/s.

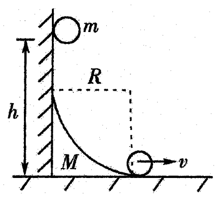
解：求 m 与 M 间 μ_2，M 长度 L.

设沿斜面的 F 为正.

$(M+m)(g\sin\theta-\mu g\cos\theta)t=Mv_2+mv_1 \qquad \therefore t=\frac{5}{3}$ s

$(mg\sin\theta-f)t=mv_3 \qquad \therefore f=0 \quad \therefore \mu_2=0$

$L=\frac{v_1}{2}t-\frac{v_2}{2}t=\frac{10}{3}$ m

例 4：

从小球开始作用到作用结束，墙对滑块的冲量？

解：在水平方向上设向右为正

$mgh=\frac{1}{2}mv^2 \qquad \therefore v=\sqrt{2gh} \qquad I=mv=m\sqrt{2gh}$

二、动量守恒

1. 内容：系统的动量只是在内部相互转化，总量保持不变.
2. 条件：系统的合力为零
3. 表达式：$m_1v_1+m_2v_2=m_1v'_1+m_2v'_2$
4. 应用：

(1) 合力为零（合外力为零）

(2) 内力远大于外力

(3) 在某方向上满足 (1) 或 (2)，则该方向上动量守恒.

$\sum I_{合}=\sum \Delta p$

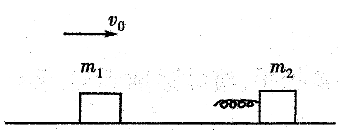
$I_{1内}+I_{1外}=\Delta p_1$

$I_{2内}+I_{2外}=\Delta p_2$

… … …

若外力和为 $0 \Rightarrow \Delta p=0$

（一）二合一类型（不同⇒相同状态）

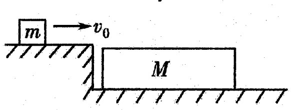
例 1：

求弹簧的最大弹性势能

解：当 m_1 与 m_2 有相同 v 时

$$\begin{cases} m_1v_0=(m_1+m_2)v \\ E_p=\frac{1}{2}m_1v_0^2-\frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2 \end{cases} \qquad \therefore E_p=\frac{m_1m_2}{2(m_1+m_2)}v_0^2$$

例 2：m，M 间 μ，平面光滑，m 不会掉下，则 M 的长度至少是多少？

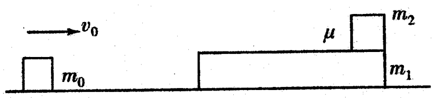


解：$\mu mgL=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}(m+M)v^2$

由动量守恒 $mv_0=(m+M)v$ 不掉下去：$L\leqslant L_0$

$\therefore L_{0\min}=\dfrac{mv_0^2}{2\mu g(m+M)}$

共速:有最大动能损失.

例3: 

m_0 与 m_1 作用时瞬间粘一起. 求 m_2 不会掉下来, m_1 长度至少多少?

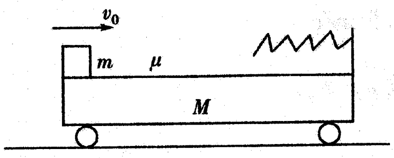
解: 对 m_0 与 m_1 有: $m_0v_0=(m_0+m_1)v_1$, 对 (m_0+m_1) 与 m_2 有:

$(m_0+m_1)v_1=(m_0+m_1+m_2)v_2$

$\mu m_2gs=\dfrac{1}{2}(m_0+m_1)v_1^2-\dfrac{1}{2}(m_0+m_1+m_2)v_2^2$

不掉下来, $s\leqslant L$

$\therefore L_{\min}=\dfrac{1}{2\mu m_2g}\left(\dfrac{m_0^2v_0^2}{m_0+m_1}-\dfrac{m_0^2v_0^2}{m_0+m_1+m_2}\right)$

例4: 

m 与弹簧作用后恰好停在小车最左端. 求①$E_{p\max}$; ②向右滑行最大距离.

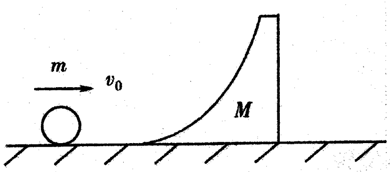
解: 当弹簧被压缩最短, E_p 最大.

$$\begin{cases} mv_0=(m+M)v_1 \\ \dfrac{1}{2}mv_0^2-\dfrac{1}{2}(m+M)v_1^2=\mu mgL+E_{p\max} \end{cases}$$

从开始到停在左端

$$\begin{cases} mv_0=(m+M)v_2 \\ \dfrac{1}{2}mv_0^2-\dfrac{1}{2}(m+M)v_2^2=2\mu mgL \end{cases}$$

$$\therefore \begin{cases} E_{p\max}=\dfrac{mMv_0^2}{4(m+M)} \\ L=\dfrac{Mv_0^2}{4\mu g(m+M)} \end{cases}$$

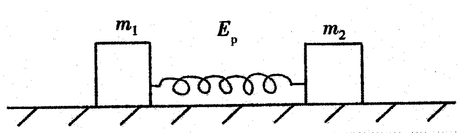
例5: 

本圆弧光滑,求上升的最大 h.

解: 当 m 与 M 有相同速度时, m 上升最高(是否冲出 M 均成立)系统水平动量守恒

$$\begin{cases} mv_0=(m+M)v \\ \dfrac{1}{2}mv_0^2-\dfrac{1}{2}(m+M)v^2=mgh \end{cases} \qquad \therefore h=\dfrac{Mv_0^2}{2g(m+M)}$$

(二)一分为二(反冲)

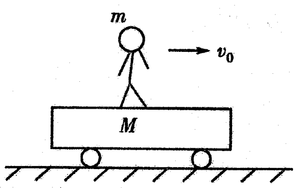
例1: 

m_1 与 m_2 被弹开,求 v_1-v_2.

解: 设向右为正

$$\begin{cases} m_2v_2 - m_1v_1 = 0 \\ E_p = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 \end{cases} \qquad \therefore \begin{cases} v_1 = \sqrt{\frac{2m_2E_p}{m_1m_2 - m_1^2}} \\ v_2 = \sqrt{\frac{2m_1E_p}{m_2^2 - m_1m_2}} \end{cases}$$

例 2:



知 $m = 30\ \text{kg}, M = 10\ \text{kg}, v_0 = 5\ \text{m/s}$.

(1)人以相对跳后的车速大小为 2 m/s 向右跳出,求 $v_人$、$v_车$.

解:$v_相 = v_人 - v_车$

设向右为正

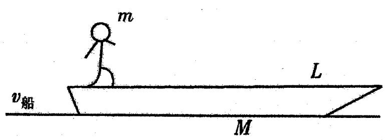
$$\begin{cases} (m+M)v_0 = mv_人 + Mv_车 \\ v_相 = v_人 - v_车 \end{cases} \qquad \therefore v_人 = 5.5\ \text{m/s} \quad v_车 = 3.5\ \text{m/s}$$

(2)人以相对于跳后的车速大小为 5 m/s 向左跳出,求 $v_人$、$v_车$.

解:设向右为正

$$\begin{cases} (m+M)v_0 = mv_人 + Mv_车 \\ -v_相 = v_人 - v_车 \end{cases} \qquad \therefore \begin{cases} v_人 = 3.75\ \text{m/s} \\ v_车 = 8.75\ \text{m/s} \end{cases}$$

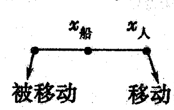
例 3:(1)



人从船尾走到船头,
①船怎样动? ②船位移 x?

解:设向右为正

$Mv_人 - Mv_船 = 0$　人动船动,人停船停.　　人、船重心不动



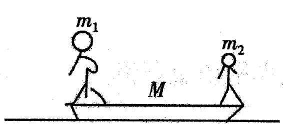
$Mx_船 = mx_人$

$\overline{t_人} = \overline{t_船}$　$\overline{p}_人 = \overline{p}_船$

$m\overline{v}_人 = M\overline{v}_船$　$\begin{cases} mx_人 = mx_船 \\ x_人 + x_船 = L \end{cases}$

$$\therefore \begin{cases} x_人 = \frac{M}{m+M}L \\ x_船 = \frac{m}{m+M}L \end{cases}$$

(2)



$m_1 > m_2$, m_1 与 m_2 交换位置
①初始时船动方向
②船的位移

解:①不确定

$$\begin{cases} m_1v_1 > m_2v_2 & \text{向左} \\ m_1v_1 < m_2v_2 & \text{向右} \\ m_1v_1 = m_2v_2 & \text{不动} \end{cases}$$

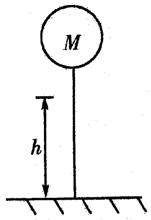
②m_1 动时 m_2 不动

$x_1 = \frac{m_1}{m_1 + m_2 + M}L$(向左)

m_2 动时 m_1 不动

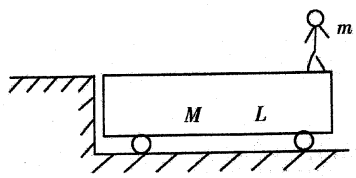
$x_{放} = \frac{m_{迁}}{m_{总}} L_{相}$

$x_2 = \frac{m_2}{m_1 + m_2 + M} L$ （向右） $x = x_1 - x_2 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2 + M} L$

（3）

人安全爬下来，求绳子至少是？

解：$h = \frac{M}{m + M} L$ $\therefore L = \frac{m + M}{M} h$

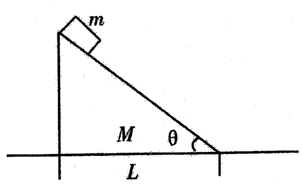
例 4：

人沿车向前走

①当恰好走到车头时车与台阶距离 $x_1 = ?$
②跳到台阶右端时，车与台阶距离 $x_2 = ?$

解：①$m(L - x_1) = Mx_1$ $\therefore x_1 = \frac{m}{m + M} L$

②$mx_1 = M(x_2 - x_1)$ $\therefore x_2 = \frac{m + M}{M} x_1 = \frac{m}{M} L$

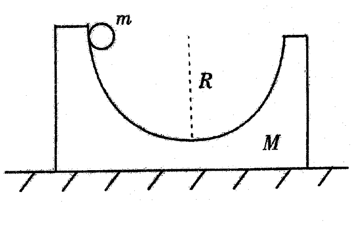
例 5：

由静止释放
①动量、机械能是否守恒？
②m 滑到底端，求 M 位移.
解：①动量不守恒，机械能守恒
②水平动量守恒

$$\begin{cases} p_{m水} - p_{M水} = 0 \\ t_m = t_M \end{cases}$$

$m\bar{v}_{m水} = M\bar{v}_{M水}$ $m\bar{x}_{m水} = M\bar{x}_{M水}$ $x_{m水} + x_{M水} = L$

$$\therefore \begin{cases} x_{m水} = \frac{M}{m + M} L \\ x_{M水} = \frac{m}{m + M} L \end{cases}$$

例 6：

在水平方向上动量守恒

①小球滑到最低点，槽 $x_1=?$

②球右侧最高点，槽 $x_2=?$

解：① $x_1=\frac{m}{m+M}R$　② $x_2=\frac{2m}{m+M}R$

（三）碰撞

1. 定义：时间短、作用复杂

2. 分类：

（1）弹性碰撞

（2）完全非弹性

（3）非完全弹性

3. 弹性碰撞 $\begin{cases} m_1v_1+m_2v_2=m_1v'_1+m_2v'_2 \\ \frac{1}{2}m_1v_1^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2=\frac{1}{2}m_1v'^2_1+\frac{1}{2}m_2v'^2_2 \end{cases}$

$v_1+v'_1=v_2+v'_2 \Rightarrow v_1-v_2=-(v'_1-v'_2)$

（1）碰撞前后相对速度大小相等，方向相反 $\begin{cases} v'_1=\dfrac{(m_1-m_2)v_1+2m_2v_2}{m_1+m_2} \\ v'_2=\dfrac{(m_2-m_1)v_2+2m_1v_1}{m_1+m_2} \end{cases}$

（2）当 $m_1=m_2$ 时，碰后交换速度 $\begin{cases} v'_1=v_2 \\ v'_2=v_1 \end{cases}$

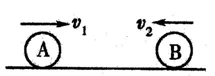
（3）当 $v_2=0$ 时，$\begin{cases} v'_1=\dfrac{m_1-m_2}{m_1+m_2}v_1 \\ v'_2=\dfrac{2m_1}{m_1+m_2}v_1 \end{cases}$

判断速度方向

4. 完全非弹性碰撞

有共同速度，E_k 损失最大

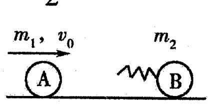
$$\begin{cases} m_1v_1+m_2v_2=(m_1+m_2)v \\ \Delta E_k=\frac{1}{2}m_1v_1^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2-\frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2 \end{cases}$$

例1：

A、B 两物总 $E_k=100$ J，$m_1=2$ kg. $E_k=\frac{P^2}{2m}$，$m_2=4$ kg，有最大的 $E_{k损}$，求 v_1，v_2.

解：有共同速度且 v 越小，ΔE_k 越大.

$$\begin{cases} m_Av_1=m_Bv_2 \\ \frac{1}{2}m_1v_1^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2=E_k \end{cases}$$

例2：

（1）$m_2=m$，$m_1=2m$. 求 A 速度最小时 $E_p=?$

（2）$m_1=m$，$m_2=3m$. 求 A 速度最小时 $E_p=?$

解：（1）A 速度一直向右，v_A 一直减小　$\therefore E_p=0$ 时，v_A 最小.

(2)碰撞后 A 反向

$\therefore v_A=0$ 时,A 速度最小

$mv_0=3mv \quad v=\dfrac{v_0}{3} \qquad E_p=\dfrac{1}{2}mv_0^2-\dfrac{1}{2}\cdot 3m\cdot v^2=\dfrac{1}{3}mv_0^2$

例3: 

$p_{A_0}=6\ \mathrm{kg\cdot m/s}$,$p_{B_0}=4\ \mathrm{kg\cdot m/s}$

碰撞后可能(ABD)

A. $p'_A=5\ \mathrm{kg\cdot m/s} \quad p'_B=5\ \mathrm{kg\cdot m/s}$

B. $p'_A=2\ \mathrm{kg\cdot m/s} \quad p'_B=8\ \mathrm{kg\cdot m/s}$

C. $p'_A=7\ \mathrm{kg\cdot m/s} \quad p'_B=3\ \mathrm{kg\cdot m/s}$

D. $p'_A=-2\ \mathrm{kg\cdot m/s} \quad p'_B=12\ \mathrm{kg\cdot m/s}$

E. $p'_A=-7\ \mathrm{kg\cdot m/s} \quad p'_B=17\ \mathrm{kg\cdot m/s}$

F. $p'_A=4\ \mathrm{kg\cdot m/s} \quad p'_B=11\ \mathrm{kg\cdot m/s}$

解:设向右为正

(1)则 $p'_A<p_A$

(2)p 总和守恒

(3)$\dfrac{p_A^2}{2m_A}+\dfrac{p_B^2}{2m_B}\geqslant\dfrac{p_A'^2}{2m_A}+\dfrac{p_B'^2}{2m_B}$

(4)$v_A>v_B \quad v'_A\leqslant v'_B$

第十四章　原子物理

一、波粒二象性(光)

光是电磁波$\begin{cases}\text{干涉}\\\text{衍射}\end{cases}$

电磁波:无线电波、微波、红外线、可见光、紫外线、X 射线、γ 射线

1. 热辐射

(1)现象:一切与温度有关的电磁辐射都称为热辐射

(2)电磁波

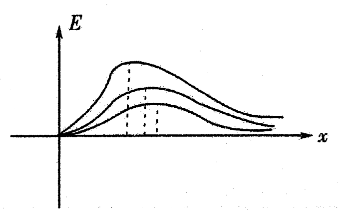
①定义:电场、磁场相互激励,由近处向远处传播形成的.

②周期(频率):$E(B)$变化周期是电磁波传播周期 T

③波速:波向前传播的速率　$v=c=3.0\times10^8$ m/s

④波长:一个周期内电磁波向前传播的距离(λ)　$\lambda=cT=\frac{c}{v}$

(3)黑体:能够吸收全部电磁辐射而不反射



(4)能量子:$E=h\nu$

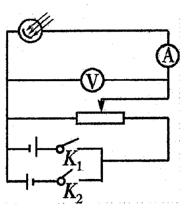
热辐射的能量是不连续的,每一份称为一个能量子. $h=6.63\times10^{-34}$ J·s

2. 光电效应

(1)现象:光照在金属上,打出电子,使金属带正电的现象.

(2)实验

①电路图



②现象

1)存在极限频率 ν_0:使金属发生光电效应最小的入射光频率. ν_0 反映金属的属性

2)发生是瞬时的:10^{-9} s

3)存在饱和的光电流:发生光电效应时光电流的最大值

$I_{光}\propto$光强

4)存在遏止电压 U_c:

存在最大初动能:$E_{km}=eU_c$

E_{km}只与 v 有关　$v\uparrow$　$E_{km}\uparrow$

(3)解释

①光子:光的传播是不连续的,是一份一份的,每一份称为一个光量子,简称为光子.

②假设:一对一的作用

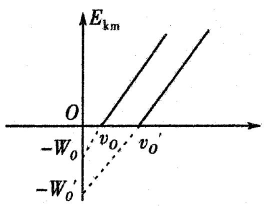
③逸出功:金属表面的电子克服金属板束缚所需要做的最小的功

W_0 反映金属自身属性

$E_{km}=h\nu-W_0$

$h\nu\geqslant W_0$　$\nu\geqslant\dfrac{W_0}{h}=\nu_0$

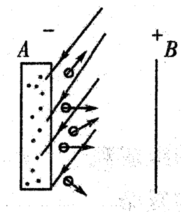
$E_{km}=h\nu-W_0$



横轴截距:ν_0

纵轴截距:W_0

斜率:h



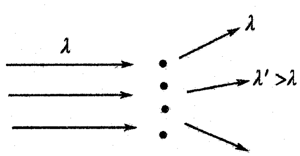
电压大到一定程度,电子全从 $A\to B$,形成饱和电流.

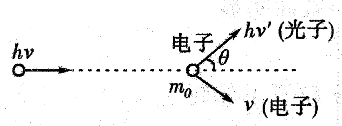
令光强 $=\dfrac{N\cdot h\nu}{t\cdot S}=n\cdot h\nu$

$I=\dfrac{Q}{t}=\dfrac{N\cdot e}{t}$　($\dfrac{N}{t}\propto$光强)

$\therefore I$ 为定值　$I\propto$光强

(4)康普顿效应





$$\Delta\lambda=\frac{h}{m_0c}\sin^2\frac{\theta}{2}$$

$E_光\to$颗粒　$\therefore E_光\searrow$

结果 λ $\nwarrow\to\nu\searrow$

颗粒有动量→说明光子有动量

$p=mc=m\lambda\cdot\nu=\dfrac{h\nu}{c}=\dfrac{h}{\lambda}$

3. 光的波粒二象性

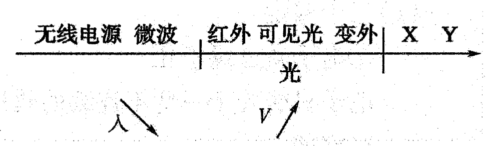
(1)概率波:光传播时的概率表现为波动性.

(大量光子运动时的统计规律表现为波动性)

(2)粒子:能量子

(少量光子运动时的偶然性表现为粒子性)

$\left\{\begin{array}{l}\text{波长长}\to\text{波动性强}(E_p\text{ 小})\\\text{动量大}\to\text{粒子性强}(\lambda\text{ 小})\end{array}\right.$



(3)物质波(德布罗意波)

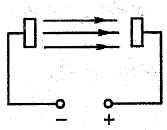
①定义:一切运动的物体都有一种波与其对应

②波长：$\lambda = \frac{h}{p}$

③电子的衍射证明了物质波的存在

二、原子结构

1. 阴极射线



(1)实验

两种观点$\begin{cases}\text{实物粒子}\\\text{电磁辐射}\end{cases}$

(2)汤姆逊：电子是阴极射线的组成粒子　$e = -1.6 \times 10^{-19}\text{C}$

(3)电子发现的意义：原子结构复杂

2. 枣糕式模型(汤姆逊)

(1)正电荷、质量均匀分布在球体内

(2)电子镶嵌其中

3. α 粒子散射实验

(1)金靶核

$\left.\begin{matrix}\text{①电荷数大}\\\text{②质量大}\end{matrix}\right\}$作用力大，效果明显

③延展性好→规律明显

(2)现象

①绝大多数 α 粒子不偏转

②极少数 α 粒子发生偏转

③极个别的 α 粒子发生较大偏转，甚至反弹

(3)核式结构(卢瑟福)

①正电荷，几乎全部的质量集中在一个很小的核内，电子在核外绕核做高速圆周运动

②发光：电子运动时有加速度，所以向外辐射能量

③原子直径：10^{-10}m　　原子核：10^{-15}m

(4)核式结构的缺陷

①原子不稳定(事实上稳定)

②发射连续光(事实上不连续)

4. 玻尔理论

(1)三个假设

①电子轨道量子化

电子只能处于一些不连续的轨道上，在每个轨道上电子虽有加速度但不向外辐射能量，原子是稳定的.

②能量的量子化

原子的能量是不连续的，电子的每一个轨道对应原子的一个能级，在每个能级上原子是稳定的

$E_n = E_{kn} + E_{pn}$

$E_1 = -13.6\ \text{eV}$ $r_1 = 0.53\ \text{Å}$ $1\ \text{Å}$(埃)$=10^{-10}\text{m}$

$E_n = \dfrac{E_1}{n^2}$ $r_n = n^2 \cdot r_1$

③跃进理论

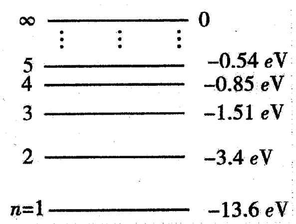
当原子吸收能量时,低能级→高能级 $r_{小} \to r_{大}$

当原子释放能量时,高能级→低能级 $r_{大} \to r_{小}$

r_1:基态(稳定)

$r > r_1$:激发态(不稳定)

(2)能级图



(3)对氢原子发光的解释

①一群处于 n 能级状态的氢原子发光

$C_n^2 = \dfrac{n(n-1)}{2}$

②吸收能量

$\begin{cases}吸收能量子: E = \Delta E \\ 吸收实物粒子: E \geqslant \Delta E\end{cases}$

氢:$\begin{cases} n=3\to 2 & 红 \\ n=4\to 2 & 蓝 \\ n=5\to 2 & 紫 \\ n=6\to 2 & 紫 \end{cases}$

若氢原子吸收一个光子 $E > 13.6\ \text{eV}$,则氢原子发生电离.

三、原子核

1. 天然放射现象

(1)放射现象:自发地向外放出射线

(2)贝克勒尔

(3)放射线

①α 射线:${}_2^4\text{He}$ $\frac{1}{10}c$ 特点:电离本领强,穿透本领弱

②β 射线 ${}_{-1}^{0}\text{e}$ c 特点:电离本领弱,穿透本领较强

与阴极射线有本质的区别

③γ 线:光子 c 特点:穿透本领极强

作用:工业透视、放射性疗法、r 刀、改良育种

(4)意义:原子核结构复杂

2. 原子核的组成

(1)质子:卢瑟福

${}_2^4\text{He} + {}_7^{14}\text{N} \to {}_8^{17}\text{O} + {}_1^1\text{H}$

(2)中子:查德威克

${}_2^4\text{He} + {}_4^9\text{Be} \to {}_6^{12}\text{C} + {}_0^1\text{n}$ ${}_Z^A\text{X}$ $\begin{cases}\text{A}:质量数 \\ \text{Z}:电荷数\end{cases}$

3. 衰变(Z > 82)

(1)α 衰变

$^{238}_{92}U \to ^{234}_{90}Th + ^{4}_{2}He$

$\begin{cases} 2^{1}_{0}n + 2^{1}_{1}H \to ^{4}_{2}He \\ \Delta E \text{ 使} ^{234}_{90}Th \text{ 处于较高的能级} \\ \text{伴随 } \gamma \text{ 射线释放} \end{cases}$

(2)β 衰变

$^{234}_{90}Th \to ^{234}_{91}Pa + ^{0}_{-1}e$

$\begin{cases} ^{1}_{0}n \to ^{1}_{1}H + ^{0}_{-1}e \\ \Delta E \text{ 使} ^{234}_{91}Pa \text{ 处于较高的能级} \\ \text{伴随 } \gamma \text{ 射线释放} \end{cases}$

(3)半衰期:放射性元素有一半的质量或一半数目的原子核发生衰变的时间.

①$m_{余} = \frac{1}{2^{\frac{t}{T}}} \cdot m_0$

②反映元素本身属性的统计规律,与元素的物理、化学性质无关.

4. 放射性同位素

(1)居里夫妇

(2)放射性同位素

$^{4}_{2}He + ^{27}_{13}Al \to ^{30}_{15}P + ^{1}_{0}n$　　$^{30}_{15}P \to ^{30}_{14}Si + ^{0}_{1}e$

优点:①可控制　②半衰期短

5. 核力与核能

(1)核力:核子间的相互作用力

①强相互作用　②近程力

(相邻的核子间才有)

(2)核能:核反应中吸收或释放的能量

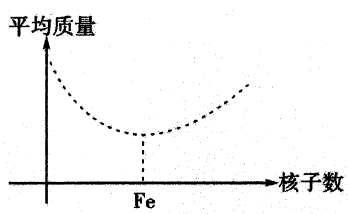
(3)质能方程:$E = mc^2$

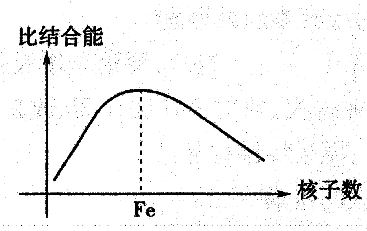
(4)质量亏损:核反应中质量的减少量　$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$

(5)结合能:把原子核拆成核子吸收的能量或把核子聚合为原子核释放的能量

(6)比结合能 $= \frac{\text{结合能}}{\text{核子数}}$

比结合能越大,原子核越稳定





放能$\begin{cases} \text{①衰变　②单个核子聚成核} \\ \text{③轻核聚变　④重核裂变} \end{cases}$

(7)原子质量单位 u

$1\ u = \frac{1}{12}(^{12}_{6}C)$　　1 u 对应 $E = 931.5$ MeV

6. 重核裂变

(1)裂变方程(链式反应)

$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{144}_{56}Ba + ^{89}_{36}Kr + 3^{1}_{0}n$

(2)条件:①中子轰击 ②大于临界体积

(3)核反应堆

①铀棒 ②减速剂 ③控制棒:镉 ④循环系统 ⑤水泥防护层

7. 氢核聚变

(1)聚变方程(热核反应) $^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n$

(2)太阳内部