

# 普通物理总复习

## 一、基本概念

### (一) 力学

- 1) 物理学研究的对象是物质，存在两种类型的物质，一种叫做实物物质，另一种叫做场物质。
- 2) 物质的最基本特征是能量和动量。
- 3) 物理学研究的内容是物质运动的最基本和最普遍的形式和规律。
- 4) 一切物质都在不断地运动着、变化着，绝对不动的物质是不存在的。
- 5) 运动的载体是物质，气体运动的载体是气体分子，化学反应的载体是原子和电子，机械运动的载体是物体等等，不存在没有物质载体的运动。
- 6) 物质运动的形式具有多样性，物质运动的形式既有共同的普遍形式，又有其各自独特的特殊形式，对不同物质运动形式的研究，形成了自然科学的各个分科。
- 7) 物理学是除数学以外一切自然科学的基础。
- 8) 物理学是一门实验科学，物理理论是以物质为基础的理论，它必须以实际观测为基础，对物理现象进行分析、抽象和概括，从而建立物理定律，进而形成物理理论，再回到实践中去经受检验。
- 9) 物体的机械运动是一个物体相对于另一个物体的位置随时间变化的过程，或者是一个物体的某些部分相对于其他部分的位置随时间变化的过程。
- 10) 物体的机械运动可分为平动、转动和形变三类。物体相对于另一个物体的运动是平动，物体的某些部分相对于其他部分的运动是转动和形变。
- 11) 力学是研究物体机械运动的科学，力学分为运动学、动力学和静力学。运动学是研究物体运动的描述以及各个运动学物理量之间的关系，不涉及引起和改变运动的原因；动力学是研究物体运动与物体之间相互作用的内在联系；静力学是研究物体在相互作用下的平衡问题。
- 12) 空间反映的是物质的广延性，空间是一切不同位置的概括和抽象，空间概念起源于物体的体积，位置和运动区域。
- 13) 时间反映的是物理事件的顺序性和持续性，时间是一切不同时刻的概括和抽象，时间概念起源于物体运动的先后顺序和快慢比较。

- 14) 绝对时空观认为空间和时间是客观存在的,是恒定不变的,它与物质的存在和运动无关。经典力学的时空观是绝对时空观。
- 15) 相对时空观认为空间和时间是客观存在的,但它不是恒定不变的,它与物质的存在和运动有关。相对论的时空观是相对时空观。
- 16) 空间长度和时间间隔都有下限,它们分别是普朗克长度和普朗克时间,当小于普朗克时空间隔时,现有的时空概念可能不再适用。
- 17) 运动是绝对的,自然界中的一切物质都处在永恒运动之中,物质和运动是不可分的,运动是物质存在的形式、是物质的固有属性,物质的运动存大于人们意识之外。
- 18) 描述运动是相对的,谈论一个物体的运动是相对于某个参照物而言的,一个物体相对某个参照物存在位置的变化,我们就说这个物体是运动的,一个物体相对某个参照物不存在位置的变化,我们就说这个物体是静止的,所以关于物体的运动和静止描述是相对的,要描述一个物体的机械运动,总得选择另一物体或几个彼此之间相对静止的物体作为参照物。
- 19) 参照系是描述物体运动所选择的参照物以及与该参照物固连的整个空间和时钟。
- 20) 参照系的选择可以是任意的,所选参照系不同,物体运动外在表现形式是不同的,但物体运动内在遵循规律是相同的,即物体运动的外在表现形式与参照系选择有关,物体运动的内在遵循规律与参照系选择无关。
- 21) 坐标系是定量描述物体运动的参照基准,为了从数量上确定物体相对于参照系的位置,需要在参照系上选用一个固定的坐标系。坐标系是对参照系连接的整个时空进行定标。
- 22) 在一个参照系上可以同时建立直角坐标系、球坐标系、柱坐标系、极坐标系、自然坐标系等等不同的坐标系。
- 23) 质点是具有一定质量,没有大小的几何点。质点是物体作机械运动的物理模型。
- 24) 不考虑物体的大小、形状和内部结构时,物体可以看成是一个质点。
- 25) 考虑物体的大小、形状和内部结构时,物体可以看成是一个由若干质点组成的质点系。
- 26) 质点运动是物体运动的基础,物体的运动可以看成是一个质点的运动,这时没有考虑物体的转动和形变。物体的运动也可以看成是一个质点系的运动,这时考虑了物体转动和形变。
- 27) 质点的运动过程,在空间形成一确定的轨道,每时每刻,质点在这轨道上具有确定的位置,质点在轨道上的位置随时间连续变化,这是质点运动的基本特征。
- 28) 路程是质点在轨道上运动的距离。
- 29) 位矢是用于描述质点运动基本特征的最基本力学量,它是从参照系原点指向质点所在位置

的矢量。

- 30) 位矢的大小是原点到质点之间的距离。
- 31) 位矢的方向是原点指向质点的单位矢量。
- 32) 位移是质点位矢的变化量或增量。
- 33) 位移是矢量，路程是标量，位移不等于路程，但微位移的大小等于微路程。
- 34) 轨道方程描述的是位矢随路程的变化。
- 35) 运动方程描述的是位矢随时间的变化。
- 36) 质点运动时，在不同时刻质点运动的快慢不同，其运动方向也不同，速度是用于描述这一特性的力学量。
- 37) 速度是位矢的时间变化率。
- 38) 速度的大小叫速率，它描述了质点运动的快慢。
- 39) 速度的方向，它描述了质点运动的方向，它是运动轨道的切线方向。
- 40) 质点运动时，其运动的快慢和方向是不断变化的，加速度是用于描述这一特性的力学量。
- 41) 加速度是速度的时间变化率。
- 42) 加速度不但描述了速度大小（速率）的变化，同时还描述了速度方向的变化：
- 43) 加速度可以分解成切线加速度与法向加速度之和。
- 44) 切向加速度描述的是速度大小变化的快慢。
- 45) 法向加速度描述的是速度方向变化的快慢。
- 46) 加速度方向与速度方向成锐角时，物体的速率将增加。
- 47) 加速度方向与速度方向成钝角时，物体的速率将减小。
- 48) 物体的加速度总是指向物体运动轨迹曲线凹的一边。
- 49) 质点运动时，其位矢会绕参照系原点不断转动，角速度是用于描述这一特性的力学量。
- 50) 角速度为不但与质点运动速度有关，还与质点的位矢有关。
- 51) 角速度的大小是位矢绕参照系原点转动角度的时间变化率。
- 52) 角速度的方向是位矢绕参照系原点转动的右手螺旋方向。
- 53) 质点运动时，质点绕原点转动的快慢和方向是不断变化的，角加速度是用于描述这一特性的力学量。
- 54) 角加速度是角速度的时间变化率。
- 55) 直角坐标系的基矢  $(i, j, k)$  在空间各点相同，即基矢微分为零  $di = dj = dk = 0$

- 56) 位矢、速度、加速度、角速度和角加速度在直角坐标系中都具有  $(i, j, k)$  三个方向的分量。
- 57) 矢量方程等号两边的各个分量分别相等。
- 58) 运动方程可以用一个矢量方程描述，也可以用三个分量方程描述。
- 59) 物体运动是绝对的，描述物体运动是相对的，描述质点运动的许多物理量如位矢、速度和加速度，都具有相对性，是对特定参照系而言的。
- 60) 经典力学的时空观是绝对时空观，一个物体的大小站在任何参照系中看都是一样的，两个物理事件发生的时间间隔站在任何参照系中看都是一样的。经典力学参照系之间的时空变换关系是在绝对时空观基础上建立起来的。
- 61) 典力学的坐标变换为伽利略坐标变换。
- 62) 典力学，在所有相对作匀速直线运动的参照系中，质点的加速度是个绝对量，与所选择的参照系无关。
- 63) 典力学，在所有相对作匀速直线运动的参照系中，时间是个绝对量，与所选择的参照系无关。
- 64) 质点的速度是个相对量，与所选择的参照系有关。
- 65) 任何物体都与其周围物体存在相互作用，使物体运动状态发生改变的根本原因正是这种相互作用。
- 66) 相互作用无处不在，行星受到太阳的作用才能绕日运行，苹果受到地球作用才能下落，电子受到原子核的作用才能和原子核结合成原子。
- 67) 物体间各种不同的相互作用，构成了千变万化的物质世界，没有相互作用就没有世界。
- 68) 动力学的基本问题是研究物体间的相互作用，以及由此引起物体运动状态变化的规律。
- 69) 一个物体与其周围物体的相互作用有两个方面，一个方面是周围物体对该物体的作用，另一个方面是该物体对周围物体的作用，这两个方面的作用，分别用作用力和反作用力来描述。
- 70) 力的表现是改变物体的运动状态和改变物体的形状。反之，物体运动状态和物体形状的改变的根本原因是作用在该物体上的力。
- 71) 作用在一个物体上的力，具有大小不同的表现，也有方向不同的表现，所以力是矢量。
- 72) 几个物体同时对一个物体的总作用力，是这几个物体分别对该物体作用力的矢量和，这叫做力的独立性原理或力的叠加原理。
- 73) 基本力只有四种，它们分别是万有引力、电磁力、强力、弱力。

- 74) 任何两个物体之间都存在万有引力, 万有引力是长程力。
- 75) 两个电荷之间存在电场力, 两个运动电荷之间存在磁场力, 总称为电磁力, 它既有引力的也有斥力, 电磁力为长程力。电磁力是万有引力的 $10^{36}$  倍。
- 76) 在亚微观领域, 在核子、介子和超子之间存在一种强力, 强力是短程力, 其作用范围很短, 粒子之间距离超过 $10^{-15}m$  时, 强力小得可以忽略, 小于 $10^{-15}m$  时, 强力占主要支配地位, 而且距离大约为 $0.4 \times 10^{-15}m$  时, 它都表现为引力, 距离再减小, 强力就表现为斥力。强力比电磁力大 $10^2$  倍。两个相邻质子之间的强力可达 $10^4 N$  。
- 77) 在亚微观领域, 在 $\beta$  衰变放出电子和中微子过程中存在一种弱力, 弱力是短程力。两个相邻质子之间的弱力只有 $10^{-2} N$  左右。
- 78) 两个物体之间的万有引力与这两物体的引力质量成正比, 与这两个物体之间的距离平方成反比, 方向在这两个物体的连线上, 且为吸引力。
- 79) 两个电荷之间的静电力与这两个电荷的电荷量成正比, 与这两个电荷之间的距离平方成反比, 方向在这两个电荷的连线上, 且同性电荷相斥, 异性电荷相吸。
- 80) 重力是地球对其表面附近物体的作用力, 忽略地球自转的影响(其误差不超过 0.4%), 物体所受的重力就等于它所受的万有引力。重力方向指向地心。
- 81) 发生形变的物体, 由于要恢复原状, 它对其接触的物体将产弹力。弹簧对其两端物体的弹力大小与弹簧长度的变化量成正比, 方向在两端点的连线上, 弹簧被拉长时弹力为拉力, 弹簧被压缩时弹力为推力。
- 82) 两个相互接触的物体在沿接触面相对运动时, 或者有相对运动的趋势时, 在接触面之间产生一对阻止相对运动的力, 叫做摩擦力。最大静摩擦力正比于正压力  $N$ 。
- 83) 最大静摩擦力的大小与相互接触两物体的材料和表面情况有关, 当外力超过最大静摩擦力时, 物体间产相对运动, 这时也有摩擦力, 叫做滑动摩擦力, 滑动摩擦力也与正压力  $N$  成正比。
- 84) 滑动摩擦力的大小与相互接触两物体的材料和表面情况有关, 而且还和物体的相对速度有关, 但在通常的速率范围内, 可认为它与速率无关。
- 85) 任何物体都保持静止状态或沿一直线作匀速运动状态, 直到作用在它上面的力迫使它改变这种状态为止。该规律称为牛顿第一定律。

- 86) 惯性是物体具有保持其原有运动状态不变的特性，牛顿第一定律反映的就是物体的惯性。
- 87) 要使物体运动状态发生改变，必须使物体受力作用，所以力是改变物体运动状态的根本原因。物体所受的力处于平衡时，第一定律成立。
- 88) 物体受到外力作用时，它所获得的加速度的大小与外力的大小成正比，并与物体的质量成反比，加速度的方向与外力的方向相同。该规律称为牛顿第二定律。
- 89) 惯性质量是对物体惯性大小的量度。物体的惯性越大，要使它改变运动状态就越难，它所获得的加速度也越小；物体的惯性越小，要使它改变运动状态就越容易，它所获得的加速度也越大。
- 90) 力是改变物体运动状态的原因，没有力就没有加速度。
- 91) 当几个力同是作用在一个物体上时，这几个力的合力所产生的加速度，等于每个力单独作用时产生的加速度的叠加。该原理称为牛顿第二定律的叠加原理。
- 92) 力是相互作用的一个方面，一物体如对另一物体有作用力，则该物体也同时受另一物体的反作用力，真实力是成对出现的，它不可能孤立存在。
- 93) 作用力和反作用力总是同时出现，同时消失，没有主次之分。
- 94) 两个物体之间的作用力和反作用力，在同一直线上，大小相等而方向相反。该规律称为牛顿第三定律。
- 95) 系统的内力总是成对出现的，任何系统的内力之和都为零。
- 96) 牛顿第一定律定义了一类参考系，第一定律成立的参照系叫惯性参照系。
- 97) 相对于惯性参照系作匀速直线运动的参照系也是惯性参照系，惯性参照系有无数个。
- 98) 就理论的协调一致性来说，牛顿定律只有在惯性参照系中才成立。
- 99) 凡是对一个惯性参照系作加速运动的参照系都是非惯性参照系。
- 100) 就理论的协调一致性来说，牛顿定律在非惯性参照系中不成立，在引入惯性力后，在非惯性参照系中，牛顿定律也只是形式上成立。因为惯性力不是一个真实力。
- 101) 在非惯性参照系中，任何物体都将受到一个惯性力的作用，惯性力是非真实力，它没有施力物体存在。
- 102) 非惯性参照系与牛顿定律：在非惯性参照系中，物体所受的力加入惯性力后，牛顿第二定律在形式上成立。
- 103) 列车上的小车以列车为参照系时，将受到一惯性力作用，它的方向与列车的加速度相反，小车所受的合力是外力与惯性力的矢量和。

- 104) 转盘上的小球以转盘为参照系时, 将受到一惯性力作用, 它的方向与转盘的向心加速度相反, 小球所受的合力是外力与惯性力的矢量和。
- 105) 在导弹和舰艇的惯性导航系统中安装的加速度计, 就是利用导弹和舰艇在加速移动时, 通过作用于加速度计质量  $m$  上的惯性力的大小来确定导弹和舰艇的加速度。
- 106) 牛顿第一定律是牛顿力学的思想基础, 它定义了惯性参照系。
- 107) 牛顿第二定律是牛顿力学的灵魂, 它是定量计算力学问题的根本。
- 108) 牛顿第三定律是牛顿力学的相互作用联系, 它是物体受力分析的依据。
- 109) 惯性参照系中牛顿定律的应用方法是, 建立惯性参照系, 分析力学对象, 分析物体受力, 建立物体运动方程, 解物体运动方程, 由初始条件确定物体运动方程的解
- 110) 非惯性参照系中牛顿定律的应用方法是, 建立惯性坐标系和非惯性坐标系, 在非惯性坐标系中分析力学对象, 分析物体受力, 建立物体运动方程, 解物体运动方程, 由初始条件确定物体运动方程的解, 根据坐标变换, 将运动方程从非惯性坐标系变换到惯性坐标系中。
- 111) 冲量是力在一定时间内, 对物体作用的积累量。冲量是矢量, 它既有大小, 还有方向。
- 112) 动量是物体的质量和速度之积, 它是物体运动状态的定量描述, 物体的运动状态由其动量确定。动量是矢量, 它既有大小, 还有方向。
- 113) 动量形式的牛顿第二定律更有普遍性, 即物体动量的时间变化率是力的瞬时作用效果。
- 114) 物体在运动过程中所受力的冲量, 等于该物体动量的增量。它称为动量定理。
- 115) 物体在力作用下将立即产生瞬时动量变化, 而改变物体的运动状态。当力对物体的作用持续一段时间, 物体的运动状态将从一种状态变成另一种状态, 这就是力的时间积累效果。
- 116) 力在一段时间内的累积效果, 是使物体产生动量增量。要产生同样的动量增量, 力大力小都可以, 但是力大的需要时间短些, 力小的需要时间长些, 只要力的时间累积量即冲量一样, 就能产生同样的动量增量。
- 117) 冲量反映力的时间累积, 其值取决于力作用时间的整个过程, 与过程有关, 是个过程量。
- 118) 动量表示物体的运动状态, 其值只取决于物体运动当时的状态, 与过程无关, 是个状态。
- 119) 量动量定理描述了冲量过程量与动量状态量之间的关系。
- 120) 当物体在一段时间内, 外界对物体的总冲量为零时, 该物体在这段时间内其动量可能变化, 但初末态动量保持不变。当物体在一段时间内, 外界对物体的冲量始终为零 (作用力为零), 该物体在这段时间内, 其动量始终保持不变。它称为动量守恒定律。
- 121) 一个复杂的随时间变化的力, 当它的作用时间很短时, 可由动量定理求出其时间平均力。



- 122) 功是力在一定空间路径内,对质点作用的积累量。功是一个过程量,一般它与做功的过程路径有关。
- 123) 功不是矢量,它没有方向,但有正负。
- 124) 当力的方向与运动方向的夹角小于  $90^\circ$  度时,力对物体作正功。
- 125) 当力的方向与运动方向的夹角等于  $90^\circ$  度时时,力对物体不作功。
- 126) 当力的方向与运动方向的夹角大于  $90^\circ$  度时,力对物体作负功。
- 127) 功率是力在单位时间内作的功,它被用来表明力作功的快慢程度,功率愈大,作同样的功所花费的时间就愈少,效率也愈高
- 128) 动能是物体的质量和速度平方之积的二分之一,它是物体运动状态的一种定量描述。动能是一个状态量,它只与物体当时所出的状态有关,与过程无关。
- 129) 动能不是矢量,它只有大小,而且它只有正没有负。
- 130) 动能和动量都是物体运动状态的定量描述,不过,动能只包含了物体运动状态的部分信息,而动量包含了物体运动状态的全部信息。
- 131) 物体在运动过程中所受力作的功,等于该物体动能的增量,力做正功时,动能增加,力做负功是动能减少。动能定理描述了过程量与状态量之间的关系。它称为动能定理。
- 132) 在不同的参照系中,由于位移和速度是不同的,使得功和动能也不同,即功和动能在不同的参照系中是不同的。但是,在不同的参照系中,功与动能的关系是不变的,即动能定理在任何惯性参照系中都成立,这就是动能定理的相对性原理。
- 133) 对物体所做的功与过程的路径无关的力称为保守力,保守力所做的功只与路径的始末端点的空间位置有关,与始末端点之间的路径无关,不同的路径具有相同的功。
- 134) 对物体所做的功与过程的路径有关的力称为非保守力,非保守力所做的功不但与路径的始末端点的空间位置有关,还与始末端点之间的路径有关,不同的路径具有不同的功。
- 135) 重力、弹性力、万有引力和静电力等都是保守力,它们所作的功只与物体的始末位置有关,而与所经历的路径无关。
- 136) 摩擦力、时变电磁力是非保守力,它们作的功与路径有关。
- 137) 只有保守力才可以定义势能,非保守力不能定义势能。
- 138) 势能的参考点可任意选择,不同的参考点,势能的大小不同,但空间两点之间的势能差不变。
- 139) 由于保守力所作的功只与运动物体的位置有关,所以势能是状态量,它只与物体当前所处



的位置有关，与过程无关。

- 140) 物体的势能与动能都是状态量，并且它具有相同的性质，因此物体的势能与动能之和定义为物体的机械能。毫无疑问，机械能也是状态量，它反映了物体的运动状态。
- 141) 物体所受力做的功，等于运动物体机械能的增量，它称为功能原理。
- 142) 当物体所受力为零时，物体在运动过程中保持其机械能不变，它称为机械能守恒定律：
- 143) 功能原理说明物体在运动过程中，机械能中的动能和势能之间可以互相转化。
- 144) 能量是各种物质运动形式互相转化的度量：
- 145) 能量是物体状态的单值函数，物体作机械运动，它的状态用位置和速度描述，我们把位置和速度叫做状态参量。这样，量度机械运动的机械能应是位置和速度的单值函数。
- 146) 功能原理适用于一切物理过程，而限于物体的机械运动。
- 147) 势能曲线是物体的势能与物体位置的关系曲线。
- 148) 重力、弹力、引力的势能曲线，它们分别为斜直线、抛物线、双曲线。
- 149) 保守力所做的功它等于其保守力势能的减少。
- 150) 保守力的小等于其势能的空间变化率，它的方向指向势能下降最大的方向。即保守力等于其势能的负梯度。
- 151) 根据势能曲线的形状可以讨论物体的运动。
- 152) 力矩是物体的位矢叉乘其所受的力，它是矢量。物体绕原点的转动，只与力的横向作用有关，而与力的径向作用无关，力矩描述的就是力对物体横向运动的作用，即对转动的作用。力矩的方向是促使物体转动的右手螺旋方向。
- 153) 有心力场相对力心的力矩为零。
- 154) 角冲量是力矩在一定时间内，对物体作用的积累量。角冲量是矢量，它既有大小，还有方向。
- 155) 角动量是物体的位矢叉乘其动量，它描述的是物体的横向运动状态，即转动状态，不考虑物体的径向运动，它是物体运动的部分运动描述。
- 156) 物体所受的力矩等于物体角动量的时间变化率。物体在运动过程中所受力矩的冲量，等于该物体角动量的增量。它称为角动量定理。
- 157) 物体在外力矩作用下将立即产生瞬时角动量变化，改变物体的转动状态。当力矩对物体的作用持续一段时间，物体的转动状态将从一种状态变成另一种状态，这就是力矩的时间积累效果。

- 158) 力矩在一段时间内的累积效果, 是使物体产生角动量增量。要产生同样的角动量增量, 力矩大小都可以, 但是力矩大的需要时间短些, 力矩小的需要时间长些, 只要力矩的时间积累量即角冲量一样, 就能产生同样的角动量增量。
- 159) 角冲量反映力矩的时间积累, 其值取决于力矩作用时间的整个过程, 与过程有关, 是个过程量。
- 160) 角动量表示物体的转动状态, 其值只取决于物体转动当时的状态, 与过程无关, 是个状态。
- 161) 角量动量定理描述了角冲量过程量与角动量状态量之间的关系。
- 162) 当物体在一段时间内, 外界对物体的总角冲量为零时, 该物体在这段时间内其角动量可能变化, 但初末态角动量保持不变。当物体在一段时间内, 外界对物体的角冲量始终为零 (作用力矩为零), 该物体在这段时间内, 其角动量始终保持不变。它称为角动量守恒定律。
- 163) 质点系是由有限个或无限个质点组成的系统。
- 164) 质点系的各个质点不但受到来自质点系外部的作用力 (外力), 它们之间还具有相互作用力 (内力)。
- 165) 质点系的各个质点不但相对参照系有各自的运动, 它们之间还具有相对运动。
- 166) 质点系的运动是质点系的整体运动, 是质点系中所有质点运动的总效果。
- 167) 质点系的整体运动, 它可分为质点系的整体平动和转动两部分。质点系的整体运动由质点系内各个质点的运动规律所决定。
- 168) 任何一个物体都是一个质点系, 物体的质量是质点系的质量。
- 169) 物体的运动是质点系的整体运动, 物体的平动是质点系的整体平动, 物体的转动是质点系的整体转动。
- 170) 往往把一个物体看成是一个质点, 这时, 只考虑了物体这个质点系的平动, 没有考虑物体这个质点系的转动。
- 171) 质点系的质心是整个质点系平动的一个等效代表质点, 质心的运动代表了质点系的平动, 即质点系跟随质心做整体平动。
- 172) 质心质量是质点系的总质量。
- 173) 质心动量是质点系的总动量。
- 174) 质心位矢等于各个质点位矢的质量加权平均。
- 175) 质心速度等于各个质点速度的质量加权平均。
- 176) 质心加速度等于各个质点加速度的质量加权平均。

- 177) 质点系所受的内力之和等于零。
- 178) 质点系平动状态的改变, 其根本原因是外力对质点系的作用, 内力不可能改变质点系的平动状态, 即内力不能使质点系加速平动, 它只可能改变质点系各个质点之间的相对运动状态。
- 179) 质点系的角动量是质点系各个质点角动量之和, 它代表质点系整体绕参照系原点转动的角动量。
- 180) 质点系所受的内力矩之和等于零。
- 181) 质点系转动状态的改变, 其根本原因是外力矩对质点系的作用, 内力矩不可能改变质点系的转动状态, 即内力不能使质点系加速转动。
- 182) 在质心非惯性参照系中, 各个质点惯性力相对质心的力矩之和等于零。
- 183) 质点系的整体运动可以分解为质点系跟随质心的平动, 和质点系统质心的转动。
- 184) 质点系的动量是质点系中所有质点动量之和, 它等于质心的动量, 所以质心是质点系的动量中心。
- 185) 质点系的冲量是质点系中所有质点所受冲量之和, 它等于质点系所受外力的冲量, 与质点所受内力无关。
- 186) 质点系动量的变化, 其根本原因是质点系所受外力的冲量, 与内力无关。
- 187) 在一定时间内, 当外界对质点系的总冲量贡献为零时, 则质点系的始末动量不变。特别是, 在一定时间内, 当外界对质点系的外力为零时, 质点系的动量始终不变。
- 188) 对于没有外界的动量输入输出的条件下, 质点系的动量不变, 但质点系的动量可以在质点系内部的质点之间相互交换, 并且不会被耗散。
- 189) 质点系的角动量是质点系中所有质点角动量之和。
- 190) 质点系的角冲量是质点系中所有质点的角冲量之和, 它等于质点系外力矩的角冲量, 与质点系质点所受内力无关。
- 191) 质点系角动量的变化, 其根本原因是质点系所受的外力矩的角冲量, 与内力无关。
- 192) 在一定时间内, 当外界对质点系的总角冲量贡献为零时, 质点系的始末角动量不变。特别是, 在一定时间内, 当外界对质点系作用的外力矩为零时, 质点系的角动量始终不变。
- 193) 对于没有外界的角动量输入输出的条件下, 质点系的角动量不变, 但质点系的角动量可以在质点系内部质点之间相互交换, 并且不会被耗散。
- 194) 质点系的动能是质点系中所有质点的动能之和。

- 195) 力对质点系所做的功：它是质点系中所有质点所受力做的功之和，它包含所受外力做的功之和以及所受内力做的功之和，特别指出，所受内力做的功之和不为零。
- 196) 质点系动能的变化，其根本原因是质点系所受力做的功，它不但与外力做的功有关，还与内力做的功有关，因为内力做的功并不为零。
- 197) 质点系的势能，是质点系各个质点处在当前位置形成的结构，通过任意路径变化到，质点系各个质点处在各自参考位置形成的参考结构时，保守内力所做的功。质点系的势能只与质点系各个质点的相对位置有关，与绝对位置无关。
- 198) 质点系的机械能是质点系动能和质点系势能之和。
- 199) 保守内力做负功，质点系的势能增加，做正功，势能减少。
- 200) 质点系外力所做的功等于质点系内部机械能的增加与克服非保守内力所做的功之和。
- 201) 当质点系不受外力作用时，质点系的机械能加上克服非保守内力所做的功守恒：
- 202) 当质点系不受外力作用，同时质点系无非保守内力时，质点系的机械能守恒：
- 203) 系统内部其它形式的能量加上系统的机械能，总称系统的内能，当系统是封闭的，外部无外力作用，也没有其它能量输入时，系统内能守恒。
- 204) 火箭飞行是减质量问题，而滚雪球是增质量问题。
- 205) 如果两个或几个物体在相遇中，物体之间的相互作用仅持续一个极为短暂的时间，这些现象就是碰撞，所以，“碰撞”的含义比较广泛。
- 206) 在碰撞过程中，由于相互作用的时间极短，相互作用的冲力又极大，碰撞物体所受的其他作用力相对说来都很小，可以忽略不计，因此，在处理碰撞问题时，常将相互碰撞的物体作为一系统来考虑，可以认为系统内仅有内力的相互作用，这一系统应该遵从动量守恒定律。
- 207) 如果两球在碰撞前的速度在两球的中心连线上，那么，碰撞后的速度也都在这一连线上，这种碰撞称为对心碰撞(或称正碰撞)。
- 208) 恢复系数是分离速度比接近速度。
- 209) 恢复系数等于 1 的碰撞叫完全弹性碰撞。
- 210) 恢复系数等于 0 的碰撞叫完全非弹性碰撞。
- 211) 刚体是在受力和运动过程中，其形状和大小都始终保持不变的物体。
- 212) 固体在受力和运动过程中，其形变一般都很小，基本保持原来的形状和大小不变可以近似于刚体。

- 213) 刚体在受力和运动过程中, 所有质点之间的距离始终保持不变。
- 214) 刚体在运动过程中, 所有质点之间的相互作用内力不起作用, 可以不考虑, 只需考虑外力的作用。
- 215) 刚体在运动过程中, 如果刚体中任意两个质点之间的连线方向始终保持不变, 则这种运动称为刚体的平动。
- 216) 刚体在平动时, 刚体中所有质点的运动都完全相同, 刚体中任意质点的运动都可以代表整个刚体的运动。
- 217) 刚体在运动过程中, 如果刚体中所有质点都绕同一直线作圆周运动, 则这种运动称为刚体的转动, 而该直线称为刚体的转轴。在一般情况下, 刚体的转轴是不断运动变化的。
- 218) 如果刚体在转动过程中, 其转轴固定不动, 则这种转动称为刚体的定轴转动。例如机器上的齿轮运动等。
- 219) 如果刚体在转动过程中, 其转轴上只有一个点固定不动, 则这种转动称为刚体绕固定点的转动。例如陀螺的运动等。
- 220) 刚体的基点是为了描述刚体一般运动所选择的一个特定质点, 刚体中的任何一个质点都可以选为基点。
- 221) 平动和转动是刚体的两种基本运动形式, 一个自由刚体的一般运动, 可以看成是刚体随基点平动与刚体绕基点转动的复合运动。
- 222) 刚体定轴转动时, 刚体上所有质点的角位移相同。
- 223) 刚体定轴转动时, 刚体上所有质点的角速度相同。
- 224) 刚体定轴转动时, 刚体上各个质点的速度一般不相同。
- 225) 物体的质量分布一样, 转轴位置一样, 但材质不同, 其转动惯量不相同。
- 226) 物体的材质一样, 转轴位置一样, 但质量分布不同, 其转动惯量不相同。
- 227) 物体的材质一样, 质量分布一样, 但转轴的位置不同, 其转动惯量不相同。
- 228) 力矩是刚体转动状态改变的源泉, 没有力矩, 刚体的转动状态不会改变。
- 229) 当刚体所受力矩一定时, 转动惯量愈大, 角加速度就愈小, 即转动惯量越大的刚体其角速度越难改变, 刚体保持原有转动状态的能力越强,
- 230) 当刚体所受力矩一定时, 转动惯量愈小, 角加速度就愈大, 即转动惯量越小的刚体其角速度越容易改变, 刚体保持原有转动状态的能力越差。
- 231) 转动惯量是量度刚体转动惯性的物理量。

- 232) 刚体定轴转动的动能是组成刚体的各个质点的动能之和。
- 233) 在摩擦力矩或阻力矩的作用下, 刚体的转动将逐渐变慢, 这时, 阻力矩与角位移反向, 阻力矩作负功, 转动动能的增量为负值, 转动动能将逐渐减小。
- 234) 为了储能, 许多机器都配置飞轮, 转动的飞轮因转动惯量很大, 可以把能量以转动动能的形式储存起来。在需要作功的时候再予以释放。
- 235) 例如冲床在冲孔时, 电动机通过减速箱带动飞轮转动, 使飞轮储有动能, 在冲孔时, 由飞轮带动冲头对钢板冲孔作功, 该功来源于飞轮转动动能的减少。
- 236) 陀螺是绕支点作高速转动的刚体, 一般陀螺是质量均匀分布轴对称刚体, 且以其对称轴为自转轴。
- 237) 陀螺的运动: 除了它绕对称轴的自转外, 其对称轴还有进动和章动。
- 238) 陀螺进动的特点是自转角速度越大, 进动角速度越小。当自转角速度很大, 作用力矩比较小时, 则章动很小。
- 239) 子弹的进动保证了子弹运动过程中不翻转 (章动很小)。
- 240) 不管船身如何振动, 方向如何改变, 船上的陀螺方向不变 (章动很小)
- 241) 当刚体运动时, 如果存在一个特定的平面, 刚体的各个质点的运动都始终与该平面平行, 则这种运动称为刚体的平面平行运动。平面平行运动是平动和转动的复合运动。
- 242) 桌面上一块三角板的运动是平面平行运动, 它既不是单纯的平动, 也不是单纯的转动, 它是平动与转动的合成运动。
- 243) 直线运动的车辆, 其轮子的运动是平面平行运动, 它既有轴的平动, 也有绕轴的转动。
- 244) 平面平行运动可以分解为刚体随质心的平动和刚体绕质心转轴的转动, 其转轴方向始终不变。
- 245)  $(\text{刚体的总动能}) = (\text{刚体质心的平动动能}) + (\text{刚体关于质心转轴的转动动能})$
- 246) 自由度是描述一个力学系统的位置所需要的独立坐标变量数。独立坐标变量随时间的变化, 是该力学系统的运动方程, 其独立方程的数目等于它的自由度。
- 247) 一个质点的自由度是 3。
- 248) 两个质点组成的刚体的自由度是 5。
- 249) 三个质点和三个以上质点组成的刚体的自由度是 6, 其中 3 个平动自由度, 3 个转动自由度。
- 250) 定轴转动刚体的自由度是 1。

- 251) 绕固定点转动刚体（陀螺）的自由度是 3。
- 252) 平面平行运动刚体的自由度是 3，其中 2 个平动自由度，1 个转动自由度。

## (二) 振动与波动

- 253) 无阻尼自由谐振子的振动是简谐振动。
- 254) 谐振子的固有频率只取决于谐振子本身的内在特性。
- 255) 简谐振动的特征量是频率、振幅、相位。
- 256) 简谐振动的特征量与谐振子参数和初始条件有关。
- 257) 欠阻尼谐振子的振动是减幅振动。
- 258) 过阻尼和临界阻尼谐振子的振动都是非周期衰减运动。
- 259) 欠阻尼谐振子的受迫振动具有暂态和稳态两部分。
- 260) 欠阻尼谐振子受迫振动的共振特性是指稳态部分的特性。
- 261) 品质因数越大共振越强
- 262) 品质因数越大带宽越小
- 263) 物理量在某个定植附近反复变化称为该物理量的振动。
- 264) 品质因数是系统存储的能量与系统一个周期消耗的能量之比。
- 265) 系统存储的能量越大品质因数越高
- 266) 系统一个周期消耗的能量越大品质因数低。
- 267) 同方向同频率简谐振动合成的幅度对相位差很敏感
- 268) 两频率之比为有理数的垂直方向简谐振动合成图像为闭合曲线。
- 269) 两频率之比为无理数的垂直方向简谐振动合成图像为非闭合曲线。
- 270) 简谐振动是基本振动，任意振动的分析可以通过简谐振动的分析来进行，也就是说，简谐振动是振动的基本振动，是振动的基本元素。
- 271) 波是一群质点的同频率振动，各个质点的振动相位不相同，但相互之间有关联。波动是由相邻质点之间的相互作用产生的振动传播。
- 272) 机械波的波速由波的传播介质特性所决定。
- 273) 波中各个质元振动频率都相同，它由波源振动频率决定。
- 274) 波长由波源和介质共同决定。
- 275) 单个质点振动时，质点的动能最大时，其势能最小，动能最小时势能最大，它的总机械能



为一常数不变，其振动是质点本身动能与势能的不断交换产生的。

- 276) 波中质元在振动时，每个质元的动能最大时其势能也最大，动能最小时其势能也最小，它的总机械能是变化的，其振动是质元与相邻质元之间的能量不断交换产生的，所以波动有能量随波传播。
- 277) 波中质元在振动时，每个质元的动能与势能相等。
- 278) 波的强度是波的平均能量流密度，它正比于波幅度的平方。
- 279) 波在传播过程中是指数衰减的。
- 280) 平面波在传播过程中幅度不变。
- 281) 球面波在传播过程中幅度是衰减的。
- 282) 球面波在小的空间范围可以看成平面波。
- 283) 波阵面（波面）是相位相同的点连成的曲面
- 284) 波前是波的最前面的波阵面
- 285) 波射线是波的传播方向
- 286) 横波是振动方向与波的传播方向垂直的波。
- 287) 纵波是振动方向与波的传播方向平行的波。
- 288) 声波是弹性介质中的机械波，它是频率为  $10^3$ - $10^{11}$ Hz 的纵波。
- 289) 声压是介质中有声波时的压强  $p'$  与无声波时的压强  $p_0$  差  $p = p' - p_0$ 。声压波比位移波滞后  $\frac{\pi}{2}$ ，位移最大时，声压为零，位移为零时，声压最大。
- 290) 声强是声波的平均能流密度。
- 291) 听觉阈是能听到声音的最低声强。
- 292) 声波质元的加速度正比于声波频率的平方，还正比于声波幅度。
- 293) 超声波波长很短，频率很大，并且超声波有聚焦作用，使得超声波幅度很大，在很小的范围内，质元与质元之间的拉扯力很大，因此它具有很强的粉碎作用。
- 294) 次声波波长很长，具有很强的绕射能力，只有遇到很大的物体才会反射。
- 295) 次声波衰减很小，可以传播很远的距离。
- 296) 次声波无反射，衰减很小，因此次声波最适合于海洋通信。
- 297) 多列波在同一个介质空间里传播时，各列波都将保持其原有的频率、波长、振动方向、传播方向等特性不变，不受任何影响地传播。
- 298) 两列波在介质空间同一点相遇，该点处的波是这两列波的矢量叠加。

- 299) 在波的传播过程中,波阵面(波前)上的每一点都可以看成是发射子波的波源,在其后的任一时刻,这些子波的包迹就成为新的波阵面。
- 300) 行波是有能量传播的波
- 301) 驻波是没有能量传播的波
- 302) 驻波波节永远不动,波节之间相距为  $\lambda/2$ 。
- 303) 机械波从波密介质传播到波疏介质表面被反射时,或光波从光密介质传播到光疏介质表面被反射时,在界面处,反射波与入射波的相位相同。
- 304) 机械波从波疏介质传播到波密介质表面被反射时,或光波从光疏介质传播到光密介质表面被反射时,在界面处,反射波与入射波的相位相反-半波损失。
- 305) 反射定律可由惠更斯原理证明。
- 306) 折射定律可由惠更斯原理证明。
- 307) 两列同频率、同振动方向、同相位或固定相位差波叫相干波,相干波的叠加叫干涉。
- 308) 干涉使波的能量在空间重新分布,分布强弱变化的条纹叫干涉条纹。
- 309) 根据惠更斯原理,从一个波源可获得两相干波。
- 310) 当波在传播过程中遇到障碍物时,波的传播方向将发生改变,它可以绕过障碍物进行传播,这种现象叫波的衍射或绕射。波的衍射可以用惠更斯原理进行解释。
- 311) 接收器(观测者)接收的频率与波源发射的频率不一样的现象叫多普勒效应。
- 312) 机械波的四个要素是波源、波、传播介质、接收器(观测者),这四者都可以运动。
- 313) 机械波只有纵向多普勒效应。
- 314) 电磁波除了纵向多普勒效应,还有横向多普勒效应。
- 315) 波源和接收器(观测者)相向运动频率变大,相背运动频率变小
- 316) 冲击波:在  $u_s > u$  时,空间的波是多个波的叠加,从而产生冲击波。冲击波是锥形波,锥形的两边随着波源的前进不断向外扩展。
- 317) 马赫数是  $\frac{u}{u_s}$ , 马赫角为  $\sin \alpha = \frac{u}{u_s}$
- 318) 相速是波包内部相位移动的快慢,它不具有实在性,所以相速可以超光速。群速是波包包络移动的快慢,它具有实在性,它是能量和信息的载体,能量和信息的传播速度不可能超光速,所以群速不可能超光速。

### (三) 热力学与统计物理

- 319) 宏观物体是由大量分子所组成, 这些分子在永不停息地作无规则运动, 这种大量分子的无规则运动称为分子热运动。
- 320) 当大量分子作热运动时, 每个分子都要受到大量其它分子的复杂作用, 其运动状态瞬息万变, 具有很大的偶然性, 即分子热运动具有无序性。
- 321) 布朗运动是液体中微小花粉的运动, 微小花粉的运动是液体分子不断碰撞产生的, 花粉的运动反映液体分子的运动。观察实验发现, 花粉永不停息地作无规则的复杂运动, 它证实了分子热运动的存在, 也证实了分子热运动的无序性。
- 322) 当大量分子作热运动时, 虽然每个分子的运动是无序的, 但这些分子在宏观上的集体表现却存在一定的规律性。这种由大量偶然事件在宏观上表现出的集体规律性称为统计规律性。
- 323) 宏观物体表现出的各种与温度有关的现象, 统称为热现象。布朗运动、热传导、气体的热胀冷缩以及物质固、液、气三态的互相转化等等都是热现象。
- 324) 宏观物体表现出的各种热现象, 是宏观物体中的大量分子热运动的集体表现。
- 325) 气体状态参量是描述气体宏观特性的物理量。气体状态参量分为几何参量、力学参量、化学参量、电磁参量四类。
- 326) 常见的气体状态参量有体积 $V$ 、压强 $p$ 、温度 $T$ 或 $t$ 、浓度 $n$ 、分子数 $N$ 、摩尔分子数 $N_A$ 、质量 $M$ 、摩尔质量 $M_{mol}$ 等等。
- 327) 气体的体积 $V$ 是气体分子所能达到的空间体积, 不是气体分子体积的总和, 表示气体占有的空间大小, 单位为 $m^3$ 。
- 328) 气体的压强 $p$ 是气体分子碰撞容器壁时, 碰撞作用在容器壁单位面积上产生的正压力, 表示气体对外界的作用力大小, 单位为 $P_a = N/m^2$ 。(1atm标准大气压=101325 $P_a$ 帕斯卡)
- 329) 气体的温度 $T$ 或 $t$ 是气体分子运动快慢程度的表现。温度的热力学温标 $T$ 的单位为 $K$ , 摄氏温标 $t$ 的单位为 $^{\circ}C$ ,  $t = T - 273.15$ 。
- 330) 气体的摩尔质量 $M_{mol} = N_A m$ , 其中 $N_A \approx 6.022 \times 10^{23}$ 个分子, 它是阿伏伽德罗常数, 即摩尔分子数,  $m$ 是气体分子质量。

- 331) 一定质量的气体, 其温度  $T$  处处相等的状态, 即温度均匀的状态叫做气体的热平衡状态。条件是它与外界没有能量交换, 内部没有任何形式的能量转换, 包括化学反应和核反应等, 也没有外场作用。
- 332) 一定质量的气体, 其压强  $p$  处处相等的状态, 即压强均匀的状态叫做气体的力学平衡状态。条件是它与外界没有能量交换, 内部没有任何形式的能量转换, 包括化学反应和核反应等, 也没有外场作用。
- 333) 一定质量的气体, 其化学成分  $n$  处处一样的状态, 即化学成分均匀的状态叫做气体的化学平衡状态。条件是它与外界没有能量交换, 内部没有任何形式的能量转换, 包括化学反应和核反应等, 也没有外场作用。
- 334) 当气体同时处于热平衡状态  $T$ 、力学平衡状态  $p$  和化学平衡状态  $n$  时, 称气体处于热力学平衡状态。即热力学平衡状态是气体的  $T$ 、 $p$  和  $n$  都是均匀确定的状态。
- 335) 一定质量的气体, 在一定的容积内, 不管气体内部各个部分原有温度、压强和化学成分如何, 经过足够长的时间, 气体内部各个部分的温度、压强和化学成分将趋于一致, 而达到热力学平衡状态, 这是由于气体分子热运动的结果, 气体达到热力学平衡状态时, 气体分子的热运动并不会停止, 气体分子的热运动是永远不会停息的, 所以热力学平衡状态也叫热动平衡状态。
- 336) 如果气体的外界条件不改变, 比如气体与外界没有任何能量交换, 气体内部没有任何物理或化学等形式的能量转换, 这时, 气体将保持热力学平衡状态不变, 否则气体的热力学平衡状态将被打破。
- 337) 当气体的外界条件改变, 比如气体与外界有能量交换, 气体内部有物理或化学等形式的能量转换等, 这时, 气体的热力学平衡状态将被打破, 气体将从一种热力学平衡状态变化到另一种热力学平衡状态, 这个过程就是气体状态变化过程。
- 338) 气体状态变化过程一般很复杂, 也有快有慢, 如果气体状态变化过程很缓慢, 并且所经历的一序列中间状态, 都无限接近热力学平衡状态, 这个过程叫热力学平衡过程。即热力学平衡过程是气体的  $T$ 、 $p$  和  $n$  每时每刻都是均匀确定的过程。
- 339) 热力学平衡过程是一种理想过程, 但许多实际过程可以近似用热力学平衡过程来分析, 只要气体达到热力学平衡状态的速度快于气体外界条件改变的速度, 这种近似就足够准确。
- 340) 气体分子分布很稀疏, 分子之间的作用力非常微小, 除了在碰撞的瞬间以外, 分子的运动

为惯性运动。

341) 气体分子的热运动速率很大, 约为  $500\text{m/s} = 1800\text{km/h}$ 。

342) 分子的平均自由程是气体分子在连续两次碰撞之间所经历的平均路程, 约为:  $10^{-7}\text{m}$ 。

343) 分子的碰撞非常频繁, 平均碰撞次数对碰撞频繁程度的描述

344) 气体分子碰撞非常频繁, 分子的运动速率不断跳跃变化, 方向也不断突变, 连续两次碰撞之间所经历的路程也或长或短, 参差不齐, 气体分子的运动呈现出一幅纷繁多变的图像。

345) 表征个别分子性质的物理量叫做微观量, 如分子的大小、质量、速度、能量等。表征大量分子集体特征的物理量叫做宏观量, 如温度、压强、热容等。宏观量是微观量的统计平均值。

346) 一次测量值不一定等于统计平均值, 多次测量的平均值接近统计平均值, 测量次数越多, 接近程度越高。每次测量值与统计平均值的偏差叫起伏现象, 布朗运动是一种起伏现象, 在测量电信号中出现的噪音也是一种起伏现象。

347) 凡是大量出现又不能预测的事件, 叫做偶然事件。偶然事件虽然具有不可预知性, 但它出现的可能性存在确定的分布规律。

348) 气体中存在大量热运动的气体分子每个气体分子的热运动是无序的, 其运动速度的大小和方向是不可预测的, 所以气体分子的热运动是偶然事件。

349) 虽然气体分子运动的方向和速率不可预知, 但其运动方向为上下、左右、前后, 其速率为  $v$  的可能性是确定, 即存在确定的分布规律。分布规律可以通过实验和理论分析得到。

350) 对于任何一个偶然事件  $x$  都存在一个确定的分布函数  $f(x)$ , 它完全由该偶然事件  $x$  决定, 它反映了该偶然事件的统计规律, 它满足归一化条件

351) 偶然事件的任意物理量  $A(x)$  的平均值  $\bar{A}(x)$  与分布函数  $f(x)$  有确定的关系

352) 分子平均速率: 
$$\bar{v} = \int_0^{+\infty} v f(v) dv$$

353) 分子方均根速率: 
$$\sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\int_0^{+\infty} v^2 f(v) dv}$$

354) 分子平均动能: 
$$\bar{w} = \int_0^{+\infty} \left( \frac{1}{2} m v^2 \right) f(v) dv = \frac{1}{2} m \int_0^{+\infty} v^2 f(v) dv = \frac{1}{2} m \overline{v^2}$$

355) 在理想气体中, 只有大量的气体分子, 除此之外没有任何其他东西。

- 356) 理想气体分子永不停息地作无规则热运动。
- 357) 理想气体分子运动服从经典力学规律。
- 358) 理想气体分子的大小远远小于分子之间的距离。可以认为理想气体分子是无大小的几何点，但是，它除了具有平动外，仍然具有转动和分子内部原子的振动。
- 359) 理想气体分子的碰撞过程为完全弹性碰撞过程。
- 360) 理想气体分子与器壁和其他分子之间的能量和动量等的交换都是通过频繁的相互碰撞得以实现。
- 361) 理想气体分子除了与器壁和其他分子碰撞的瞬间外，不受任何力作用。
- 362) 理想气体在热力学平衡状态下，分子的分布是均匀的，分子沿各个方向的平动，沿各种角度的转动和分子内部的各种振动的机会是均等的。
- 363) 理想气体在热力学平衡状态下，分子热运动速率存在确定的分布函数。
- 364) 一般气体，在密度不太高，压强不太大（与大气压相比），温度不太低（与室温相比）时，可以近似看成理想气体。
- 365) 理想气体在热力学平衡状态下，分子沿各个方向的平动机会是均等的，即沿各个方向运动的分子数相等。
- 366) 理想气体分子的运动速度沿任何方向的分量方均根值相等。
- 367) 气体的冷热状态由气体温度所描述，因此，气体温度与气体其他状态参量的关系称为气体状态方程。
- 368) 根据玻意耳定律、盖-吕萨克定律、查理定律，通过归纳总结，可得理想气体状态方程。
- 369) 描述气体冷热状态的温度  $T$ ，由其压强  $p$  和体积  $V$  完全决定。因此，气体的压强  $p$  和体积  $V$  是理想气体的独立参量。这也是一般称气体状态参量是  $p, V, T$  的原因。
- 370) 描述理想气体冷热状态的温度  $T$ ，由其压强  $p$  和体积  $V$  完全决定，所以一定质量的气体，其平衡状态可以用其气体的压强  $p$  和体积  $V$  完全描述。
- 371) 一定质量的气体，都可以用  $p-V$  图来描述其平衡状态和平衡过程， $p-V$  图上每一点都表示一种平衡状态， $p-V$  图上每一条曲线都表示一种平衡过程。
- 372) 理想气体压强公式： $p(\text{宏观量}) = \frac{2}{3} n \overline{w_{\text{平动}}}$  (微观量平均值)
- 373) 理想气体温度公式： $\overline{w_{\text{平动}}} = \frac{3}{2} kT$

- 374) 理想气体温度  $T$  只与气体分子平均动能  $\overline{w_{\text{平动}}}$  有关, 且与其成正比, 这说明, 气体温度是大量气体分子热运动的集体表现, 而不是个别分子热运动的表现, 是统计意义上的物理量, 即可以用气体温度  $T$  来量度气体分子的平均动能  $\overline{w_{\text{平动}}}$ 。
- 375) 当两种气体有相同的温度时, 这两种气体的分子具有相同的平均动能;
- 376) 当一种气体的温度高于另一种气体的温度时, 则该种气体的分子平均动能就高于另一种分子的平均动能;
- 377) 当两种同温度气体混合在一起时, 两种气体的分子的平均动能仍然相等, 并保持不变;
- 378) 皮兰经过对布朗运动的研究, 证实悬浮在温度均匀的液体中的不同微粒, 不论其质量大小如何, 它们各自的平均动能都相等。这证实了同一温度下各种气体分子的平均动能都相等的结论, 即证实了温度公式的正确性。
- 379) 在温度不太低的条件下, 温度与固体等物质粒子平均动能的正比关系基本成立, 但比例系数不再是  $2k/3$ 。
- 380) 在温度很低的条件下, 由于气体将不再是理想气体, 甚至气体将变成液体或固体, 这时温度公式不再成立。
- 381) 当温度接近  $0K$  时, 温度与物质粒子平均动能的正比关系更不成立, 因为根据量子理论, 温度为  $0K$  时, 粒子的平均动能也不为  $0$ , 称为粒子的零点能量, 即粒子在任何情况下都是运动的, 没有静止不动的粒子存在。
- 382) 在同一温度下, 分子平均动能相等, 但方均根速率不相等, 方均根速率与分子质量有关, 质量越小, 方均根速率越大, 方均根速率是分子运动快慢的一种描述。
- 383) 分子热运动包括分子的平动、转动和分子内部原子的振动三部分。分子的运动是多个独立运动形式的合成运动, 一种独立的运动形式就是一个自由度, 所以分子热运动具有多个自由度。
- 384) 因为原子很小, 所以单原子分子可以看成是一个没有大小的质点, 它只有  $3$  个平动自由度。
- 385) 因为原子很小, 所以双原子分子可以看成是距离保持不变, 且没有大小的两个质点组成的刚体, 它有  $3$  个平动自由度和  $2$  个转动自由度, 共  $5$  个自由度。
- 386)  $3$  原子和  $3$  原子以上分子可以看成是一个有大小的自由刚体, 它有  $3$  个平动自由度和  $3$  个转动自由度, 共  $6$  个自由度。
- 387) 振动自由度: 对于气体, 由于分子内部原子的振动很小, 一般不考虑, 如果要考虑, 则分



子还存在多个振动自由度。

388) 一种自由度是一种运动形式,分子的整体运动是有各个自由度运动的合成运动,分子运动的能量,是其各个自由度运动能量之和,各个自由度运动的能量一般是不同的。但是,由于大量气体分子无序的热运动,各个分子频繁地相互碰撞,分子各个自由度的运动机会又是均等的,所以各个自由度运动的能量不断相互交换与传递,最终使得分子各个自由度运动的平均能量趋于一致,即分子运动的平均能量平均分配在各个自由度上。

389) 在热力学平衡条件下,气体分子热运动的平均能量平均分配在各个自由度上,每个自由度上的平均能量为  $\frac{1}{2}kT$ , 如果气体分子的自由都为  $i$ , 则可得气体分子热运动的平均能量  $\bar{w}$  公式, 即理想气体的温度公式  $\bar{w} = \frac{i}{2}kT$ 。

390) 理想气体的温度公式可以写成  $\bar{w} = \frac{i}{2}kT$ , 也可以写成  $\bar{w}_{\text{平动}} = \frac{3}{2}kT$ , 它们是等价的。

391) 振动自由度的平均能量: 对于振动自由度的平均能量, 由于振动既有动能也有势能, 除了有  $\frac{1}{2}kT$  的平均动能, 还有  $\frac{1}{2}kT$  的平均势能, 所以每个振动自由度的能量是  $kT$ , 如果将一个振动自由度看做两个自由度, 则能量均分定理也成立。

392) 理想气体的内能: 理想气体分子之间没有相互作用, 其内能就是气体中所有分子的能量 (平动动能+转动动能+振动动能与势能) 之和。

393) 一定量的气体 (其气体的分子数也就一定), 其内能只与气体的自由度和温度有关  $E = N \frac{i}{2}kT$ , 与其压强和体积无关, 气体内能是温度的单值函数。

394) 只要保持一定量气体的温度不变, 无论其压强和体积怎么变, 其内能将保持不变, 即气体与外界无能量交换; 如果气体的温度改变, 气体的内能只跟温度的改变量有关, 与压强和体积改变的过程如何无关 (与  $p, V$  改变有关, 与  $p, V$  改变过程形式无关)。

395) 麦克斯韦分布率是  $f(v) = \frac{1}{N} \frac{dN(v)}{dv} = 4\pi \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{mv^2}{2kT}}$ 。

396) 气体分子统计速率有三个: 最概然速率  $v_p$ 、平均速率  $\bar{v}$ 、方均根速率  $\sqrt{v^2}$ , 在麦克斯韦速率分布律下,  $v_p < \bar{v} < \sqrt{v^2}$ 。

397) 不同的温度  $T$ , 麦克斯韦速率分布曲线形状不同, 低温时曲线狭窄尖锐, 表示分子热运动速率比较一致, 高温时, 曲线宽广平坦, 表示分子热运动速率很不一致。

398) 玻尔兹曼分布律是:  $f(v_x, v_y, v_z, x, y, z) = n_0 \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{E_k(v_x, v_y, v_z) + E_p(x, y, z)}{kT}}$

399) 分子数的空间分布是:  $n(x, y, z) = n_0 e^{-\frac{E_p}{kT}}$

400) 对于气体、液体和固体分子和布朗运动粒子等实物粒子玻尔兹曼分布律普遍成立。

401) 重力场中粒子按高度的分布:  $n = n_0 e^{-\frac{mgh}{kT}}$

402) 重力场中气体压强随高度的变化:  $p = p_0 e^{-\frac{M_{mol}g}{RT}h}$

403) 描述气体分子碰撞频繁程度的物理量为气体分子单位时间的平均碰撞次数  $\bar{Z}$ 。

404) 因为气体分子在运动过程中不断与其它分子碰撞, 因此气体分子的热运动轨道是无规则的折线。

405) 分子在碰撞过程中, 分子可以看成是一个小球, 小球的直径称为分子的有效碰撞直径  $d$ 。

406) 考察一个分子的碰撞过程, 可以认为只有被考察的分子是运动的, 而其他所有分子是静止的, 这时被考察分子的平均速率称平均相对速率  $\bar{v}_r = \sqrt{2}\bar{v}$ 。

407) 平均自由程与温度和压强的关系:  $\bar{\lambda} = \left( \frac{kT}{\pi d^2 \sqrt{2}} \right) \left( \frac{1}{p} \right) \quad p \uparrow \Rightarrow \bar{\lambda} \downarrow$ 。

408) 温度对分子平均自由程的影响: 气体密度一定时, 分子平均运动速率越大, 分子碰撞时, 克服分子之间的作用力的能力越强, 两分子越接近, 分子的有效碰撞直径也就略有减小, 所以当  $T$  与  $p$  比例一定时, 温度增加, 分子平均运动速率增加, 分子的有效碰撞直径略有减小,  $\bar{\lambda}$  略有增加。

409) 气体内的平衡状态是气体的流速、温度、分子密度等状态参量在空间上均匀的状态。

410) 气体内的非平衡状态是气体的流速、温度、分子密度等状态参量在空间上不均匀的状态。

411) 气体内的平衡过程是气体从一个平衡状态过渡另一个平衡状态的过程, 并在这一过程中的所有中间状态都是平衡状态。

412) 气体内的迁移过程是气体从非平衡状态走向平衡状态的过程。即它是气体的流速、温度、分子密度等状态参量从空间不均匀状态走向均匀状态的过程。

413) 迁移现象是迁移过程表现出的现象, 迁移现象有粘滞现象、热传导现象、扩散现象三种。

414) 迁移现象是分子热运动的结果。气体分子的热运动, 造成气体分子的动量、能量和质量等不断相互交换传递, 使得气体的各种状态参量从不均匀自动走向均匀。

- 415) 流动的气体, 如果各气层的流速不相等, 那么, 在相邻两个气层之间的接触面上, 形成一对阻碍两气层相对运动的等值而反向的摩擦力, 叫粘性力, 气体的这种性质叫做粘性。
- 416) 气体粘性力  $f$  与气层流速梯度  $du/dx$  成正比, 与气层面积  $\Delta S$  成正比, 比例系数叫粘度  $\eta$ 。
- 417) 粘滞现象是气体分子动量净迁移的结果。
- 418) 动量净迁移过程是自发过程, 该自发过程的方向总是从动量大的一边迁移到动量小的一边。因此, 粘性力, 对动量大的一边总是阻力, 对动量小的一边总是拉力。
- 419) 如果气体内各部分的温度不同, 从温度较高处向温度较低处将有热量传递, 这一现象叫热传导现象。
- 420) 气体单位时间传递的热量  $\Delta Q/\Delta t$  与温度梯度  $dT/dx$  和气层面积  $\Delta S$  成正比, 比例系数叫导热系数  $\kappa$ 。
- 421) 热传导现象是气体分子动能净迁移的结果。
- 422) 动能净迁移过程是自发过程, 该自发过程的方向总是从动能大的一边迁移到动能小的一边。因此, 热量总是从高温一边传导到温度低一边。
- 423) 如果容器中各部分的气体种类不同, 或同一种气体在容器中各部分的密度不同, 经过一段时间后, 容器中各部分气体的成分以及气体的密度都将趋向均匀一致, 这种现象叫做扩散现象。
- 424) 气体单位时间扩散的质量与密度梯度和与垂直于密度梯度的面积成正比, 比例系数叫扩散系数  $D$ , 扩散系数单位为  $m^2/s$ 。
- 425) 扩散现象是气体分子质量净迁移的结果
- 426) 质量净迁移过程是自发过程, 该自发过程的方向总是从质量密度大的一边迁移到质量密度小的一边。气体体积自发变化过程也总是膨胀过程。
- 427) 物理量  $T_k$ 、 $p_k$ 、 $v_k$  叫气体的临界常量, 不同的气体具有不同的临界常量。
- 428) 气体温度高于临界温度时, 气体不可能液化。
- 429) 气体状态的分区: 气体状态完全由  $(p, v)$  决定, 由临界等温线, 等温液化过程, 可以将气体状态  $(p, v)$  划分成 4 个区, 它们分别是气区、汽区、液汽共存区、液区。气体的状态方程一般指气区的状态方程。
- 430) 真实气体分子是有大小的球, 气体分子之间除碰撞以外, 有相互作用力存在。

- 431) 真实气体分子是有大小的球, 所以, 两个气体分子不能无限接近, 即两个分子接近到一定程度 ( $r \leq r_0 \approx 10^{-10} m$ ), 表现出排斥力, 排斥力随距离的减小而急剧增加;
- 432) 除碰撞以外, 真实气体分子之间还有相互作用力, 当两个分子远离到一定程度, 表现出吸引力, 吸引力随距离的增加而很快变为零。在低气压下, 分子之间的距离很大, 所以这时, 其吸引力可以忽略不计;
- 433) 范德瓦耳斯状态方程是对理想气体状态方程的修正。
- 434) 物质是由原子和分子等大量微观粒子构成, 在一定温度和压强下形成的具有某种稳定结构的粒子聚集态叫做物态。
- 435) 气态、液态、固态是常见的三种物态。
- 436) 物态的形式还有, 晶态、非晶态、液晶态、等离子态、超导态、超固态、中子态等等。
- 437) 物质从一种物态到另一种物态的转变叫做相变。
- 438) 液体中的分子逸出液体表面向空间扩散的过程叫做汽化。
- 439) 具有足够大动能的液体表面分子, 可以克服液体表面势能和液体表面外的气压的阻碍作用, 而逸出液体表面, 这一过程就是汽化过程。
- 440) 在汽化过程中, 液体表面的分子逸出液体表面带走了一定的动能, 从而使液体内能减小, 温度下降。要维持液体的温度不变, 必须给液体提供能量。
- 441)  $1kg$  液体在给定温度下, 完全汽化时, 给液体所提供的能量叫汽化热。
- 442) 液体温度越高, 汽化热越小。
- 443) 液体表面气压越大, 汽化热越大。
- 444) 液化的汽化的逆过程。液化将放出能量, 液化热等于汽化热
- 445) 汽化和液化过程总是同时进行的, 在一个密闭的容器中, 在一定温度下, 开始时, 汽化比液化强, 随着汽化的进行, 容器中的蒸汽压增加, 汽化变弱, 而液化增强, 最后汽化与液化达到动态平衡, 容器中的蒸汽压不变。
- 446) 在一定温度下, 当密闭容器中的汽化与液化达到动态平衡时, 容器中的蒸汽达到饱和, 蒸汽压不变, 这时的蒸汽压叫做饱和蒸汽压。
- 447) 在一定的温度和压强下, 固体从固态变为液态的过程叫熔解。
- 448) 固体在熔解过程中, 分子之间的势能将增加, 所以固体熔解时, 固体要从外界吸收能量, 熔解单位质量固体所需要的热量叫熔解热。
- 449) 在一定的压强下, 固体的熔解温度叫做熔点。

- 450) 固体的熔解热和熔点与固体的特性和压强都有关。
- 451) 凝固是熔解的逆过程，液体凝固时，液体将向外界放出热量，凝固热等于熔解热。
- 452) 在一定的温度和压强下，固体可以从固态直接变为气态，这一过程叫升华。
- 453) 蒸汽也可以直接结晶成固体。
- 454) 升华和结晶达到动态平衡时的蒸汽压也叫饱和蒸汽压。
- 455) 物质在相变时的汽化热、熔解热等统称为潜热。
- 456) 物质在相变时所需要的潜热产生了两个作用，第一个作用是，改变物质内部分子的运动状态，从而改变物质的内能。第二个作用是，改变其体积大小，从而反抗外界压强做功。
- 457) 在潜热中，改变物质内能所需的热量叫内潜热。
- 458) 在潜热中，改变物质体积做功所需的热量叫外潜热。
- 459) 物质的汽化曲线、熔解曲线、升华曲线的交汇点叫三相点，三相点表示物质三相平衡共存的压强和温度的条件。
- 460) 不同的物质具有不同的三相点。
- 461) 热力学不考虑物质的微观结构和过程，而是以观测和实验事实作根据，从能量观点出发，在宏观上分析和研究物质热现象与热运动的规律。
- 462) 热力学的理论基础主要是热力学第一定律与第二定律。第一定律是关于能量转换与守恒的定律。第二定律是热力学过程进行的方向与条件的定律。
- 463) 热力学系统（简称系统或体系）是指，在给定的范围内，由大量的微观粒子所组成的宏观物体。这些粒子在永不停息地作无规则的热运动。
- 464) 外界或环境是指，与所研究的热力学系统发生相互作用的其他物体。
- 465) 孤立系统是指，与外界没有任何质量、能量和动量等交换的系统。它是一个理想极限的概念。
- 466) 开放系统是指，与外界有质量、能量和动量等交换的系统。
- 467) 封闭系统是指，与外界没有质量交换，但可以有能量和动量等交换的系统。
- 468) 平衡状态是指，在系统内部，宏观上没有粒子迁移、没有能量迁移和没有动量迁移等的状态。也可以定义为，孤立系统经过足够长时间最终达到的状态。它是一个理想极限的概念。
- 469) 平衡状态的特征是系统的各种宏观性质都不随时间变化。但是，对于一般系统，它处在宏观性质都不随时间变化的状态不一定是平衡状态，只有孤立系统，它处在宏观性质都不随时间变化的状态才是平衡状态。

- 470) 定常态是指,系统宏观性质都不随时间变化的状态。定常态不是平衡状态,它是非平衡状态。
- 471) 弛豫时间是指,系统某一宏观特性从初始非平衡状态达到平衡状态所经历的时间。弛豫时间与系统的特性有关,也与所讨论的宏观特性有关。对于同一个孤立系统,所讨论的宏观特性不同,弛豫时间也不同,例如压强的弛豫时间小,密度的弛豫时间大。
- 472) 热力学过程是指,热力学系统状态随时间变化的过程。在一个热力学过程中,存在许多中间状态,每个中间状态可能是平衡状态,也可能是非平衡状态。中间状态不同,热力学过程也不同。
- 473) 非静态过程(非平衡过程)是指,中间状态为非平衡状态的热力学过程。当外界对系统作用时,系统的平衡状态将被打破,系统需要一定的弛豫时间才能达到新的平衡状态。如果新的平衡状态达到之前,外界对系统又有新的作用,这就是非静态过程。
- 474) 准静态过程(平衡过程)是指,中间状态都为平衡状态(实际是准平衡状态)的热力学过程。当外界对系统作用时,系统的平衡状态将被打破,系统需要一定的弛豫时间才能达到新的平衡状态。如果新的平衡状态(准平衡状态)基本达到之后,外界对系统的新作用才开始,这就是准静态过程。
- 475) 如果活塞拉得很慢,气缸中气体的压缩或膨胀过程是准静态过程。
- 476) 如果活塞拉得很快,气缸中气体的压缩或膨胀过程是非静态过程。
- 477) 准静态过程,一定是进行得无限缓慢的过程,它好像是平衡状态的不断延续,热力学的研究是以准静态过程的研究为基础的,把准静态过程弄清楚了,将有助于对实际非静态过程的探讨。
- 478) 功、热量、内能其根本都是能量,它们是能量的不同表现和存在形式,是能量的不同交换和变化过程。它们的单位都为 J。
- 479) 系统所作的功是指,系统与外界通过有规则宏观运动相互作用所做的功,它包括通过机械运动,电流等方式做的功。
- 480) 系统对外界做功为正,外界对系统做功为负。
- 481) 系统所作的功是外界物体有规则宏观运动与系统内部分子无规则微观热运动之间能量交换的一种方式,它也称为宏观功。
- 482) 系统对外所做的功,它不但与系统的始末状态有关,还与过程有关,它是个过程量。
- 483) 系统的热量传递是指,系统与外界通过无规则微观热运动相互作用所做的功。

- 484) 系统吸热为正, 系统放热为负。
- 485) 系统的热量传递是外界物体分子无规则微观热运动与系统内部分子无规则微观热运动之间能量交换的一种方式, 它也称为微观功。
- 486) 系统吸收的热量, 它不但与系统的始末状态有关, 还与过程有关, 它是个过程量。
- 487) 系统的内能是指, 系统内部各种形式能量总能量。系统在任何状态都有唯一的内能, 因此系统的内能是系统状态的单值函数, 它是状态量, 与系统如何达到该状态的过程无关。
- 488) 气体的内能是气体所有分子热运动的机械能, 包括动能和势能, 它只与气体的状态有关。
- 489) 理想气体的内能是气体所有分子热运动的机械能, 包括动能和势能, 它只与气体的状态有关, 并且它只与气体温度有关。
- 490) 理想气体对外所做的功是气体体积变化所做的功。
- 491) 外界对系统传递的热量, 一部分是使系统的内能增加, 另一部分是用于系统对外做功, 所以热力学第一定律就是包括热量在内的能量守恒定律。
- 492) 在系统的状态变化过程中, 功与热之间的转换不可能是直接的, 而是通过物质系统来完成的。
- 493) 热到功转换过程是通过外界向系统传递热量使系统的内能增加, 再由系统内能减少而对外做功。
- 494) 功到热转换过程是通过外界对系统做功, 使系统的内能增加, 再由内能的减少, 系统向外界传递热量。
- 495) 气体等值过程有等体过程、等压过程和等温过程等多种形式。在过程中, 它们的特征分别是  $dV = 0$ 、 $dp = 0$  和  $dT = 0$ 。
- 496) 在一个气体过程中, 气体吸收的热量, 一般总是有一部分热量转化称为气体的内能, 虽然气体的内能很复杂, 它有动能, 也可能有势能, 还可能有其他能, 但是, 气体内能的增加, 总是会使气体的温度上升。
- 497) 气体摩尔热容  $C$  是 1 摩尔气体, 温度上升  $1K$ 。气体所吸收的热量。气体摩尔热容不但与气体的特性有关, 还与气体经历的过程有关。
- 498) 在气体等体过程中, 气体对外不做功, 气体吸收的热量, 全部转化成为气体的内能。
- 499) 气体定体摩尔热容是气体等体过程的摩尔热容。气体等体过程, 气体对外不做功, 气体吸收的热量, 全部转化成为气体的内能。



500) 理想气体定体摩尔热容:  $C_V = \frac{i}{2} R$

501) 在气体等压过程中, 气体对外要做功, 气体吸收的热量, 一部分转化成为气体的内能, 一部分转化成为气体对外做功。

502) 气体定压摩尔热容是气体等压过程的摩尔热容。气体等压过程, 气体对外要做功, 气体吸收的热量, 部分转化成为气体的内能。因此, 温度上升  $1K$ , 气体等压过程比等体过程所吸收的热量要多, 即定压摩尔热容要大于定体摩尔热容。

503) 理想气体定压摩尔热容(迈耶公式):  $C_p = C_V + R = \frac{i+2}{2} R$

504) 理想气体温度升高  $1K$  时, 在等压过程中比在等体过程中要多吸收  $R$  的热量, 该热量转化为膨胀时对外所作的功。由此可见, 摩尔气体常量  $R$  等于  $1mol$  理想气体在等压过程中温度升高  $1K$  时对外所作的功。

505) 气体比热容比:  $\gamma = \frac{C_p}{C_V}$

506) 理想气体的比热容比:  $\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i}$

507) 在气体等温压过程中, 气体对外要做功, 气体吸收的热量, 一部分转化成为气体对外做功, 一部分转化成为气体的内能, 不过转化成为内能的能量一般很少, 理想气体基本没有。

508) 在理想气体等温过程中, 气体吸收的热量全部转化成为气体对外做功, 气体内能不变。

509) 理想气体在等温膨胀过程中, 气体所吸取的热量全部转化为对外所作的功, 反之, 在等温压缩时, 外界对气体所作的功, 将全部转化为传给恒温热源的热量。

510) 绝热过程是指, 不与外界有热量交换的过程, 它的特征是  $dQ = 0$ 。在绝热过程中, 系统对外所做功的能量全部来源于系统内能的减少。

511) 理想气体绝热过程状态方程:  $pV^\gamma = C$

512) 理想气体等温过程状态方程:  $pV = C'$

513) 压缩相同的体积, 绝热过程的压强的增加, 比等温过程压强的增加大, 由于绝热过程的压强的增加不但来源与体积的压缩, 还来源于温度的上升, 而等温过程的压强的增加只来源与体积的压缩。

- 514) 理想气体多方过程：理想气体的实际过程，既不是等温过程，也不是绝热过程，但是可以将等温过程和绝热过程方程  $pV = \text{常数}$  和  $pV^\gamma = \text{常数}$ ，而是  $pV^n = \text{常数}$ ， $n$  是多方指数。
- 515) 等值过程和绝热过程都可归纳为指数不同的多方过程。
- 516) 焦耳-汤姆孙节流过程是气体和外界没有热交换条件下进行的节流过程。它是另一类型的绝热过程，因为气体在节流过程中从初状态到末状态所经历的一系列中间状态都是不平衡状态。
- 517) 在焦耳-汤姆孙节流过程中，凡气体膨胀后温度降低者叫做正焦耳-汤姆孙效应，温度升高者叫做负焦耳-汤姆孙效应。
- 518) 气体温度低于反转温度是将产生正焦耳-汤姆孙效应，高于反转温度是将产生负焦耳-汤姆孙效应。
- 519) 不同的气体有不同是反转温度。氢反转温度特别低，为  $192.5K$ 。空气、氮及氧等的反转温度高于室温。
- 520) 理想气体无焦耳-汤姆孙效应。这是理想气体与真实气体的根本差别。
- 521) 一定量理想气体，绝热膨胀，不对外做功时，内能不变。理想气体无焦耳-汤姆孙效应，说明理想气体的内能是温度的单值函数，理想气体无气体分子间的相互作用势能。
- 522) 一定量的真实气体，绝热膨胀，不对外做功时，内能不变。真实气体有焦耳-汤姆孙效应，说明真实气体的内能不是温度的单值函数，真实气体有气体分子间的相互作用势能。
- 523) 利用气体膨胀时产生的正焦耳-汤姆孙效应，可使气体温度降到临界温度以下，从而使气体液化。
- 524) 高压二氧化碳(约  $3 \times 10^6 Pa$  左右)从钢瓶的阀口喷向拴在阀上的布袋中时，这种小孔喷射也是节流过程，因膨胀而使气体温度从室温下降到  $-78^\circ C$  以下，于是成为干冰。
- 525) 循环过程（循环）是指，系统经历一系列的变化又回到初始状态，这样周而复始的过程。循环所包括的每个过程叫做分过程。系统中的物质称为工作物。
- 526) 循环过程在  $P-V$  图上是一条闭合的曲线。
- 527) 循环过程循环一周其内能不变。
- 528) 热机是利用工作物的循环过程，持续不断地将热转换为对外做功的装置。
- 529) 致冷机是利用工作物的循环过程，持续不断地将外界对系统做的功转换为热，并可获得低温的装置。致冷机工作物的循环过程与热机工作物的循环过程恰恰相反。

- 530) 卡诺循环是在两个温度恒定的热源(一个高温热源, 一个低温热源)之间工作的循环过程。  
在整个循环中, 工作物只和高温热源或低温热源交换能量, 没有散热和漏气等因素存在。
- 531) 卡诺循环热机过程有高温  $T_1$  等温膨胀过程, 绝热膨胀过程, 低温  $T_2$  等温压缩过程, 绝热压缩过程 4 个分过程。其反过程是卡诺循环制冷机过程。
- 532) 理想气体卡诺循环过程满足关系:  $\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$
- 533) 理想气体卡诺循环热机的热效率:  $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} < 1$ 。
- 534) 理想气体卡诺循环制冷机的制冷系数:  $w_c = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$
- 535) 两个热源温差越大, 热效率越高。
- 536) 两个热源温差越大, 制冷系数越低。
- 537) 第一类永动机违反能量守恒定律, 第二类永动机不违反能量守恒定律。
- 538) 热力学第二定律的开尔文叙述是, 不可能制成一种循环动作的热机, 只从一个热源吸取热量, 使之全部为有用的功, 而其他物体不发生任何变化。
- 539) 热力学第二定律克劳修斯叙述是, 热量不可能自动地从低温物体传向高温物体。
- 540) 第二类永动机不违反能量守恒定律, 违反热力学第二定律。
- 541) 热力学第一定律说明在任何过程中能量必须守恒, 热力学第二定律却说明并非所有能量守恒的过程均能实现。热力学第二定律是反映自然界过程进行的方向和条件的一个规律。
- 542) 热力学第二定律的两种表述, 乍看似乎毫不相干, 其实, 二者是等价的。
- 543) 对于一个过程, 系统从状态 A 变为状态 B, 如果存在另一个过程, 系统从状态 B 返回状态 A, 并且周围一切也同时回复到原状态, 则系统从状态 A 变为状态 B 的过程是可逆过程。
- 544) 无耗散单摆的摆动是可逆过程。
- 545) 气体非常缓慢(平衡)的膨胀和压缩过程都是可逆过程。
- 546) 无耗散平衡过程都是可逆过程。
- 547) 对于一个过程, 系统从状态 A 变为状态 B, 如果不存在任何一个过程, 当系统从状态 B 返回状态 A 时, 周围一切不能同时回复到原状态, 则系统从状态 A 变为状态 B 的过程是不可逆过程。不可逆过程的逆过程并不是不能实现, 只是周围一切不能同时回复到原状态。

- 548) 摩擦过程是不可逆过程。
- 549) 热量传递过程是不可逆过程。
- 550) 气体在真空的自由膨胀过程是不可逆过程。
- 551) 气体非常迅速的膨胀和压缩过程是不可逆的。
- 552) 非平衡过程是不可逆过程。
- 553) 有耗散平衡过程都是不可逆过程。
- 554) 实际过程都是不可逆过程。
- 555) 卡诺循环中每个过程都是平衡过程，并且，过程中无机械耗散，所以卡诺循环是理想的可逆循环。由可逆循环组成的热机叫做可逆机。其他为不可逆机。
- 556) 在同样高低温热源(高温热源的温度为  $T_1$ ，低温热源的温度为  $T_2$ )之间工作的一切可逆机，不论用什么工作物，效率都等于  $(1 - T_2/T_1)$ 。
- 557) 在同样高低温热源之间工作的一切不可逆机的效率，不可能高于(实际上是小于)可逆机，即： $\eta \leq 1 - T_2/T_1$ 。
- 558) 自发过程是指，在无外部干预的条件下所进行的过程。
- 559) 自发过程是不可逆过程，一切自发过程都具有单向性。
- 560) 气体可以自发自由膨胀，气体不可以自发自由压缩。
- 561) 热量可以自发从高温传到低温，热量不可以自发从低温传到高温。
- 562) 非平衡态可以自发走向平衡态，平衡态不可以自发走向非平衡态。
- 563) 系统分子的每一个可能分布状态称为系统的一个微观态
- 564) 包含若干个微观态的系统状态称为宏观态。
- 565) 宏观态所包含的微观态数称为宏观态的微观态数  $W$ 。
- 566) 观状态的微观态数越多，其观状态实现的概率越大。
- 567) 孤立系统总是自发地从概率小的宏观态走向概率高的宏观态。
- 568) 气体自由膨胀过程总是自发地从概率小的初态走向概率大的终态。
- 569) 熵的定义是： $S = k \ln W$ ，任何宏观态，不管是平衡态还是非平衡态，其微观态数  $W$  总是确定的，所以熵是状态量。
- 570) 不可逆过程的熵也总是增加的。
- 571) 等压膨胀过程的熵增。

- 572) 等温膨胀过程的熵增。
- 573) 等体降温过程的熵减。
- 574) 可逆绝热膨胀过程的熵不变
- 575) 任意可逆循环（包括卡诺可逆循环）都可以看作由许多很小的卡诺循环组成。
- 576) 两个平衡状态的熵差： $S_2 - S_1 = k \ln \frac{W_2}{W_1} = \int_1^2 \left( \frac{dQ}{T} \right)_{\text{可逆}}$  与过程无关。
- 577) 任意可逆循环系统的熵变化等于零。
- 578) 自由膨胀不可逆过程的熵是增加的。
- 579) 可逆的绝热过程是等熵过程，而自由膨胀的绝热过程熵是增加的。
- 580) 热传导系统的熵是增加的。
- 581) 在孤立系统中发生的任何不可逆过程，都将导致整个系统的熵增加，在孤立系统中发生的任何可逆过程，整个系统的熵不变。
- 582) 孤立系统的自由膨胀、热传导，摩擦等不可逆过程的熵都是增加的，但是非孤立系统的等温、等压、等体等可逆过程的熵也都是增加。
- 583) 熵增加原理是热力学第二定律的另一叙述形式。
- 584) 在孤立系统中，可逆过程的总熵保持不变，不可逆过程的总熵一定增加，因此，我们可以根据总熵的变化判断实际过程进行的方向和限度。
- 585) 热力学第二定律的数学表达： $dS \geq \frac{dQ}{T}$   $S = k \ln W$ ，其中等号适用于可逆过程，不等号适用于不可逆过程。
- 586) 热力学第二定律在本质上是一条统计性的规律，一个不受外界影响的孤立系统系统，其内部发生的过程，总是由概率小的状态向概率大的状态进行，由包含微观态数目少的宏观态向包含微观态数目多的宏观态进行。这就是熵增加原理的实质，也是热力学第二定律的统计意义。
- 587) 无序能量不可能被全部利用。
- 588) “能”是运动转化能力的量度。能愈大，运动转化的能力愈大。
- 589) “熵”却是运动不能转化的量度，熵愈大，系统的能量将有越来越多的部分不再可供利用。所以熵表示系统内部能量的“退化”或“贬值”，或者说，熵是能量不可用程度的量度。

#### (四) 波动光学

590) 光是波长较短的电磁波, 可见光波长为:  $\lambda = 400(\text{紫色}) \sim 700(\text{红色}) \text{ nm}$ 。

591) 单色光;  $\lambda = \lambda_0$ 。

592) 准单色光:  $\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda$ ,  $\Delta\lambda$  越小单色性越好。

593) 光源的光谱: 一个光源的光通过光谱仪在光谱仪屏幕上形成的明暗条纹叫光谱, 每一条明条纹叫谱线, 每一条谱线和谱线的位置表示一种波长  $\lambda_0$  的光, 谱线的宽度表示这种光的单色性  $\Delta\lambda$ 。

594) 自然光源的每一点发出的光是准单色光  $\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda$ , 光是不连续发出的, 即光是一列一列发出的, 发光的平均持续的时间叫发光持续时间  $t_0$ , 光在真空中走的距离叫波列长度  $L_0 = ct_0$ , 波列长度越长光的单色性越好, 即有:  $L_0 = \lambda_0^2 / \Delta\lambda$ , 同一点发出的各列光之间的相位是随机的, 即它们之间没有固定的相位差, 不同点发出的各列光之间的相位更是随机的, 即它们之间没有固定的相位差。

595) 折射率:  $n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \approx \sqrt{\epsilon_r}$ 。

596) 在真空中:

折射率:  $n = 1$

光速:  $c = 1 / \sqrt{\epsilon_0 \mu_0} = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ 。

波长:  $\lambda = c / \nu$ 。

频率:  $\nu$

597) 在介质中:

折射率:  $n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \approx \sqrt{\epsilon_r}$

光速:  $u = c / n$ 。

波长:  $\lambda' = u / \nu = \lambda / n < \lambda$ 。

频率:  $\nu = \text{在真空中的 } \nu$

598) 光的作用主要是其电场强度起作用, 其磁场强度起的作用非常小, 因此光用其电场强度矢量  $\vec{E}$  描述, 叫  $\vec{E}$  为光矢量,  $\vec{E}$  的振动叫光振动,  $\vec{E}$  的方向叫光的偏振方向。

599) 光的强度:

绝对强度:  $I \propto E_0^2$ ,  $E_0$  是  $E$  的振幅。

相对强度:  $I = E_0^2 = A^2$ ,  $A$  是  $E$  的振幅。

600) 光的复振幅和光强:

光矢量的实数表示:  $\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{A}(\vec{r}) \cos[\omega t - \varphi(\vec{r})]$

光矢量的复数表示:  $\tilde{E}(\vec{r}, t) = \tilde{E}(\vec{r}) e^{-i\omega t}$

光的复振幅:  $\tilde{E}(\vec{r}) = \vec{A}(\vec{r}) e^{i\varphi(\vec{r})}$

光强:  $I = \tilde{E}^*(\vec{r}) \cdot \tilde{E}(\vec{r})$

601) 常见光波的复振幅:

平面波:  $\tilde{E}(\vec{r}) = \vec{A} e^{i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \varphi_0)}$

平面波:  $\tilde{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{A}}{r} e^{i(kr - \varphi_0)}$

602) 光程是光在介质中所走的路程等效于在真空中所走的路程数, 它为  $L = \sum_i n_i s_i$ 。

603) 衍射系统由光源, 衍射屏和接收屏组成。

604) 衍射屏对光在某个方向限制越厉害, 衍射图样就在该方向越扩展, 衍射效应也在该方向越显著。

605) 衍射屏与光源或接收屏之间的距离为有限的衍射叫菲涅耳衍射。

606) 衍射屏与光源和接收屏之间的距离都为无限的衍射叫夫琅禾费衍射。

607) 无限远用透镜实现有限距离。

## (五) 电磁学

608) 真空是没有介质的空间。

609) 电荷是物质的一种特性。

610) 存在正负两种电荷, 绸子摩擦过的玻璃棒所带电荷定义为正电荷, 毛皮摩擦过的硬橡胶棒所带电荷定义为负电荷。

611) 带电体是具有电荷特性的物体。



- 612) 电荷之间存在力的相互作用。
- 613) 电荷量是电荷的多少，它是由相互作用力的大小来衡量，单位为库仑 (C)。
- 614) 电荷守恒定律是：任何封闭系统中的任何物理和化学过程都不改变其中电荷的代数和。
- 615) 电荷中和是正负电荷中心的重合。
- 616) 电荷湮灭是正负电荷的消失。
- 617) 起电是正负电荷中心的移动。
- 618) 电荷的量子性是能够自由存在的最小电荷是有限小。
- 619) 电荷的连续性是在宏观上电荷可以看成是连续非量子性的。
- 620) 电荷的不变性是电荷的电荷量不因参考系的不同而改变。
- 621) 库仑定律是：在真空中两个点电荷之间的相互作用力的大小与两电荷的电量成正比，与两电荷之间的距离平方成反比，方向在两电荷的连线上，两同性电荷相斥，异性电荷相吸，比例系数由单位制决定。
- 622) 电荷之间的相互作用力满足叠加原理, 即一个点电荷受到多个点电荷的作用力等于各个点电荷分别单独对该电荷的作用力的矢量和。
- 623) 静电力远大于万有引力。
- 624) 核相互作用力远大于静电力。
- 625) 在电荷的周围存在其激发的场，叫电场。
- 626) 静电场是静止电荷所激发的电场。
- 627) 电场对电荷有力的作用，叫电场力。
- 628) 电荷 1 对电荷 2 的作用力，是电荷 1 的电场对电荷 2 的电场力。
- 629) 电荷之间的相互作用力是通过电场进行的近距作用，相互作用力的传递速度是光速。
- 630) 电场是一种物质，它具有质量，动量和能量。
- 631) 电场强度是单位正电荷所受的电场力，单位： $N/C = V/m$ 。
- 632) 点电荷的电场强度的大小与距离平方成反比。
- 633) 两个等量异号电荷所构成的系统叫电偶极子。
- 634) 电偶极子的电偶极矩是一个矢量, 大小等于电偶极子正正电荷的电荷量与正负电荷之间的距离，方向为负电荷指向正电荷的方向。
- 635) 电偶极子的电场强度的大小与距离立方成反比。
- 636) 电场线是电场中的一族曲线，曲线的切线为电场强度的方向，通过垂直于切线的单位面积

的曲线条数为电场强度的大小。

- 637) 在静电场中, 电场线起始于正电荷 (或无穷远), 终止于负电荷 (或无穷远)
- 638) 在静电场中, 电场线不闭合。
- 639) 在任何情况下, 电场线不相交。
- 640) 电场强度通量 ( $E$  通量) 是通过一个曲面的电场线条数。
- 641) 电场高斯定理是: 在真空中, 任何闭合曲面的电场强度通量等于该闭合曲面中的电荷代数和除以真空介电常数。
- 642) 利用高斯定理可以求解均匀对称分布电荷所激发的静电场的电场强度。
- 643) 静电场是保守场, 即静电场对电荷所做的功与路径无关。
- 644) 静电场的环路定理是: 静电场的任意闭合环路积分等于零, 它反映了静电场的保守特性。
- 645) 静电场的电势是: 单位正电荷从场点移动到参考点, 电场力所做的功。
- 646) 静电场的环路定理保证了电势的唯一性。
- 647) 电压是两电势之差。
- 648) 电荷从一点运动到另一点, 电场力所做的功等于该电荷的电荷量乘以这两点的电压。
- 649) 电荷从高电势点运动到低电势点, 电场力做正功, 反之做负功。
- 650) 等势面是电势相同的曲面。
- 651) 等势面上电势处处相等。
- 652) 不同的等势面不相交。
- 653) 电场线与等势面处处垂直。
- 654) 电场线的方向指向等势面电势下降的方向。
- 655) 等势面密的地方电场强度大, 疏的地方电场强度小。
- 656) 由电场强度可以求出电势, 由电势可以求出电场强度, 电势和电场强度都是对电场的定量描述, 只是描述方法的不同, 没有本质的不同。
- 657) 在静电场中, 点电荷只受电场力作用, 电偶极子不但受电场力作用, 还受电场力矩作用, 力产生平动, 力矩产生转动。
- 658) 在均匀静电场中, 电偶极子只所受电场力矩作用。
- 659) 物质是由原子核和电子等带电粒子组成。
- 660) 电场与带电粒子之间具有相互作用, 因此, 电场与物质之间也有相互作用。
- 661) 物质可以分为导体和电介质两类, 导体是导电强的物质, 电介质是导电弱的物质。

- 662) 电场与导体和电介质具有不同的相互作用特性。
- 663) 导体的特性：导体中存在大量可以自由移动的电荷（一般为负电荷），也存在大量不能移动的电荷（一般为正电荷），导体中处处为电中性。
- 664) 导体静电感应：导体在静电场中，产生电荷迁移，使电荷重新分布，导体各处不为电中性。
- 665) 静电感应过程的时间：静电感应过程在非常小时间内（ $10^{-6}$ s）就结束，之后电荷不再迁移。
- 666) 导体的静电平衡状态：导体中没有电荷作任何宏观定向运动的状态。
- 667) 导体在静电场中将产生静电感应而产生感应电荷，感应电荷所激发的电场与外电场合成构成新的电场分布。
- 668) 在静电场中的导体，当达到静电平衡时，导体内任一点的电场强度都等于零。这是静电平衡的必要条件。
- 669) 导体的感应电荷对导体内部电场的作用：导体感应电荷激发的电场，在导体内部与外电场完全抵消，使导体内任一点总电场强度都等于零。
- 670) 导体的感应电荷对导体外部电场的作用：导体感应电荷激发的电场，在导体外部，虽然不能完全抵消外电场，但将改变总电场的分布。
- 671) 导体在静电平衡的条件下，导体内部电场为零，它是等势体，其表面是等势面。
- 672) 导体在静电平衡的条件下，导体表面的场强垂直于导体表面。
- 673) 导体内部处处没有净电荷存在，电荷只能分布于导体的表面上。
- 674) 导体表面的电场强度的大小等于该表面处电荷面密度除以介电常数，该表面处电荷为正电荷，电场强度的方向为外法线方向，反之为内法线方向。
- 675) 带电导体的电荷分布：电荷在导体外表面上的分布是不均匀的，它与外电场和导体表面的曲率有关，导体表面向外凸的地方(曲率较大)，电荷面密度较大，表面平坦的地方(曲率较小)，电荷面密度较小；表面向里凹的地方(曲率为负)，电荷面密度更小。
- 676) 尖端放电原理：曲率半径小，曲率大，电荷面密度大，电场强。
- 677) 尖端放现象：避雷针，高压线的电晕，静电喷漆，除尘器。
- 678) 空腔导体的空腔内没有电荷时，空腔导体的内表面无电荷，电荷都在外表面上。
- 679) 空腔导体的空腔内没有电荷时，空腔导体的空腔内电场为零
- 680) 空腔导体的空腔内没有电荷时，空腔导体外面的电场分布由空腔导体外表面上的电荷及外电场共同决定。

- 681) 空腔导体的空腔内有电荷时, 导体空腔内表面的电荷等于空腔中总电荷的负值, 与导体带电量无关。
- 682) 空腔导体的空腔内有电荷时, 导体空腔外表面的电荷等于空腔中总电荷加导体所带电量。
- 683) 空腔导体的空腔内有电荷时, 空腔内的电场只与空腔内表面上的电荷分布和空腔内的电荷分布有关, 与导体所带电荷和外电场无关。
- 684) 空腔导体的空腔内有电荷时, 空腔外的电场分布不受空腔内电荷位置的影响, 但与空腔内电荷量有关。
- 685) 空腔导体的空腔内有电荷时, 当把空腔导体接地时, 则导体外表面上的因接地而被中和, 空腔外的电场为零。
- 686) 在静电平衡状态下, 外电场不影响空腔内部的电场;
- 687) 在静电平衡状态下, 一个接地的空腔导体, 空腔内的带电体对导体外的电场不产生影响。
- 688) 静电屏蔽: 利用空腔导体, 消除外界对空腔内电场的影响, 或利用接地空腔导体, 消除空腔内电场对外界的影响。
- 689) 导体静电平衡时: 导体表面有确定的电荷分布, 并具有确定的电势值。
- 690) 若导体上的电荷量增加几倍, 导体面上的电荷分布状态不变, 只是各处的电荷面密度相应地增加同样的倍数, 导体的电势值也随之增加到同样的倍数。
- 691) 导体的电势 (选无限远处电势的零点) 与它所带的电荷量呈线性关系。
- 692) 孤立导体的电容是导体所带电荷量与其电势 (选无限远处电势的零点) 之比。
- 693) 导体的电容只与导体的大小和形状有关, 是表征导体储电能力的物理量, 其物理意义是: 使导体升高单位电势所需的电荷量。
- 694) 对一定的导体, 其电容是一定的。
- 695) 电容单位: 在国际单位制中, 电荷量的单位是 C, 电势差的单位是 V, 电容的单位  $1\text{F} = 1\text{C}/\text{V}$ 。
- 696) 一般导体的电势不但与自身所带的电荷量和形状有关, 还与附近导体的形状、位置和所带电荷量有关。
- 697) 电容器是由内外两导体构成的系统。
- 698) 电容器中的电场不受电容器外电场的影响, 只与电容器的内外导体电荷和导体系统结构有关。
- 699) 电容器的电容等于导体电荷与内外导体的电压之比, 它只与导体系统的大小和形状有关, 是表征导体储电能力的物理量, 其物理意义是: 使导体升高单位电势差所需的电荷量。

- 700) 介质中的每个分子的电特性等效于一个电偶极子。
- 701) 介质可以看成是分子电偶极子的集合,并且这些分子电偶极子由于热运动而存在全方位的取向,介质中任何体积中的总电荷为零,总电偶极矩为零。
- 702) 等效电偶极矩等于零的分子叫无极分子。
- 703) 等效电偶极矩不等于零的分子叫有极分子。
- 704) 分子的位移极化:分子可看作由两个异号等量的等效电荷以弹性力相联系的一个弹性电偶极子,弹性电偶极子在外电场的作用下,由于正、负电荷中心的相对位移而产生与电场方向一致的电偶极矩,这叫做分子的位移极化。外电场越强,分子的位移极化越强,外电场消失,由于分子本身的回复力,分子的位移极化也将消失。
- 705) 分子的取向极化:分子电偶极子在外电场的作用下,由于电偶极子的方向转向外电场的方向,使得电偶极矩在电场方向的分量增加,这叫做分子的取向极化。外电场越强,分子的取向极化越强。温度越低,分子热运动越小,分子的取向也极化越强。外电场消失,由于分子的热运动,分子的取向极化也将消失。
- 706) 无极分子等效电偶极矩等于零,它在外电场作用下,不产生取向极化,但会产生位移极化。
- 707) 有极分子等效电偶极矩不等于零,它在外电场作用下,不但会产生位移极化,还会产生取向极化,并且主要是取向极化。
- 708) 极化电荷:均匀介质极化时,它内部保持电中性,但是在电介质的表面将存在极化电荷,极化电荷不能离开电介质,也不能在电介质中自由移动。
- 709) 介质的极化:在外电场作用下,电介质中出现极化电荷的现象叫做电介质的极化。电介质的极化原因是介质分子的极化。
- 710) 电极化强度:在电介质内任取一物理无限小的体积元,当没有外电场时,这体积元中所有分子的电偶极矩的矢量和等于零。但是,在外电的影响下,由于电介质的极化,其电偶极矩的矢量和将不等于零。外电场愈强,被极化的程度愈大,其电偶极矩的矢量和的值也愈大。因此我们取单位体积内分子电偶极矩的矢量和作为量度电介质极化程度的基本物理,称为该点的电极化强度。
- 711) 在国际单位制中,电极化强度的单位是  $C/m^2$ 。
- 712) 均匀极化与不均匀极化:当电介质处于稳定的极化状态时,电介质中每一点都有一定的极化强度,不同点的极化强度可以不同,这表示不同部分的极化程度和极化方向不一样。如果在电介质中各点的电极化强度的大小和方向都相同,电介质的极化便是均匀的,否则极

化是不均匀的。

- 713) 电极化强度与合电场的关系：电介质的极是电场和介质分子相互作用的过程，外电场引起电介质的极化，而电介质极化后出现的极化电荷也要激发电场并改变电场的分布，重新分布后的电场反过来再影响电介质的极化，直到静电平衡时，电介质便处于一定的极化状态。所以，电介质中任一点的极化强度与该点的合场强  $E$  有关。对于不同的电介质， $P$  与  $E$  的关系是不同的。实验证明，对于各向同性的电介质， $P$  与  $E$  成正比。
- 714) 介质的电极化率  $\chi_e$ ：电极化率无单位，它与电介质的性质有关。如果是均匀电介质，则介质中各点电极化率相同，如果是非均匀电介质，则介质中各点电极化率不相同。
- 715) 极化电荷面密度与电介质表面的电极化强度有关。
- 716) 极化电荷体面密度与电介质内部的电极化强度有关。
- 717) 介质极化后的合电场：自由电荷所激发外电场  $\vec{E}_0$ ，极化电荷所激发的电场  $\vec{E}'$ ，介质的合电场  $\vec{E}$  是电场  $\vec{E}_0$  与电场  $\vec{E}'$  之和。
- 718) 合电场小于外电场：在介质中，自由电荷所激发的外电场与极化电荷所激发的电场的方向总是相反，所以在电介质中的合电场与  $E$  和外电场相比显著地削弱了。
- 719) 有介质时，静电场的环路定理为电场强度的任意闭合环路积分等于零。
- 720) 电位移：电位移是一个辅助矢量，极化产生了极化电荷  $\rho'$ ，电极化强度  $\vec{P}$  可以完全描述极化电荷  $\rho'$  的效应，引进电位移  $\vec{D}$ ，用它来描述电极化强度  $\vec{P}$  的作用，这样在方程中就不会出现电极化强度  $\vec{P}$ ，而只出现电位移  $\vec{D}$ ，电位移  $\vec{D}$  已经包含了介质极化的作用。
- 721) 线性介质可以用电介质的介电常数描述其极化特性，介电常数有绝对介电常数和相对介电常数两种表示。
- 722) 一个曲面的电位移通量叫电通量。
- 723) 有介质时，静电场的高斯定理为任意闭合曲面的电通量等于闭合曲面内除极化电荷外的所有电荷的代数和。
- 724) 电流密度：电流密度的大小是单位时间通过垂直于电荷运动方向的单位面积的电荷量，方向是正电荷运动的方向，负电荷运动的反方向。
- 725) 电流密度有体电流密度面电流密度两种。
- 726) 电流强度：电流强度是单位时间通过某一个面积的电荷量，它是某个面积的电流密度通量，

单位  $A$ 。

- 727) 电流连续性方程：流出某一闭合曲面的电流等于单位时间该闭合曲面内的电荷的减少量。
- 728) 空间的电荷全部或部分存在运动，即空间存在电流密度，但电荷在空间中的分布不随时间变化，这样的电荷所激励的电场叫恒定电场。
- 729) 恒定电场不随时间变化，它具有静电场全部的性质。
- 730) 维持恒定电场存在的电流叫恒定电流。
- 731) 只有恒定电场才能存在恒定电流，也只有恒定电流才能保证恒定电场的存在。
- 732) 恒定电流场中，电流线一定是闭合的。
- 733) 在恒定电场和恒定电流场中的电荷受到静电力、阻尼力、非静电力三种力作用，它们的合力一定为零。
- 734) 单位正电荷从 A 运动到 B 非静电力所做的功，就是 A 到 B 的电动势。
- 735) 在导体中，欧姆定律以微分形式表现。
- 736) 在导体中，焦耳-楞次定律以微分形式表现。
- 737) 基尔霍夫电压定律可以由静电场的环路定理导出。
- 738) 基尔霍夫电流定律可以由恒定电流的连续性定律导出。
- 739) 静止电荷之间存在相互作用，它是通过电场完成的。静止电荷在它周围将激发电场，该电场对另外的静止电荷产生作用力，叫电场力。
- 740) 运动电荷之间存在运动产生的相互作用，它是通过磁场完成的。运动电荷在它周围将激发磁场，该磁场对另外的静止电荷不产生作用力，而对另外的运动电荷将产生作用力，叫磁场力。
- 741) 磁场用磁感应强度和磁场强度描写，它们也都是空间位置的函数。
- 742) 电荷在导体中作恒定流动(恒定电流)时，在它周围所激发的磁场不随时间而变化，是一个恒定场，叫恒定磁场。
- 743) 磁场对运动电荷有作用力，对静止电荷无作用力，在磁场中引入运动试探电荷，用该运动试探电荷所受的磁场力来定量描述磁场的大小和方向，它叫做磁感应强度。
- 744) 磁感应强度的大小是试验电荷在最大受力方向上运动时，电荷所受的最大磁场力除以电荷的电荷量和运动速率。方向是试验电荷受力方向转向运动方向的右手螺旋方向。
- 745) 在国际单位制中，磁感应强度 B 的单位：特斯拉  $T = N/(A \cdot m)$
- 746) 毕-萨定律描述的是电流元所激发的磁感应强度。



- 747) 电流源所激发的磁感应强度大小与电流元电流强度成正比, 与距离平方成反比。
- 748) 磁偶极子是闭合电流系统。
- 749) 磁偶极子的磁偶极矩是  $\vec{p}_m = I\vec{S}$ ,  $S = \pi R^2$
- 750) 磁偶极子的激发的磁感应强度大小与磁偶极矩成正比, 与距离立方成反比。
- 751) 磁感应强度的通量叫磁通量。
- 752) 磁感应线是是磁场中的一族曲线, 曲线的切线为磁感应强度的方向, 通过垂直于切线的单位面积的曲线条数为磁感应强度的大小。
- 753) 磁场的高斯定理: 磁感应线一定是不相交的闭合曲线, 所以任意闭合曲面的磁通量为零。
- 754) 恒定磁场的安培环路定理是: 在真空中, 任意闭合环路的磁感应强度积分等于穿过该环路的电流强度代数和乘以真空的磁导率。
- 755) 利用安培环路定理可以计算均匀对称电流所激发的磁感应强度。
- 756) 运动电荷所受的磁场力叫洛伦兹力
- 757) 载流导线所受的磁场力叫安培力
- 758) 霍尔效应是通电导体的电流, 在垂直电流方向的磁场作用下, 在与电流和磁场垂直的方向产生电动势的现象。
- 759) 在磁场中, 磁偶极子将受到磁场力和磁场力矩的作用。
- 760) 在均匀磁场中, 磁偶极子只受磁场力矩的作用。
- 761) 磁力作用总是迫使线圈能够通过更多的磁力线。线圈有平动也有转动, 磁矩与磁场方向大致一致时平动使线圈向磁力线密的方向移动, 磁矩与磁场方向大致相反时平动使线圈向磁力线疏的方向移动。转动使线圈平面的法线向磁力线的方向转动。
- 762) 任意一个闭合电流回路在磁场中改变位置或形状时, 如果保持电流不变, 则磁力所做的功与过程无关, 只与始末状态有关, 并等于电流强度与磁通量增量的乘积。
- 763) 要保持电流不变, 就必须有电能的输入, 洛伦兹力不能做功, 磁力所做的功只是利用洛伦兹力将电能转化而获得的。
- 764) 磁介质: 能够改变外加磁感应强度  $\vec{B}_0$  分布的介质叫磁介质;
- 765) 磁介质的磁化: 在外加磁感应强度  $\vec{B}_0$  的作用下, 磁介质内部状态发生改变叫磁介质的磁化;
- 766) 磁介质的附加磁感应强度: 磁化的磁介质能够激发磁感应强度  $\vec{B}'$ , 这个磁感应强度叫磁

介质的附加磁感应强度；

767) 磁介质中的磁感应强度：磁介质中的磁感应强度是外加磁感应强度  $\vec{B}_0$  与磁介质的附加磁感应强度  $\vec{B}'$  之和。

768) 顺磁质：使  $B > B_0$  的磁介质叫顺磁质，顺磁质激发的附加磁感应强度  $\vec{B}'$  与外加磁感应强度  $\vec{B}_0$  的方向基本一致：锰、铬、铂、氮等。

769) 抗磁质：使  $B < B_0$  的磁介质叫抗磁质，抗磁质激发的附加磁感应强度  $\vec{B}'$  与外加磁感应强度  $\vec{B}_0$  的方向基本相反：水银、铜、铋、氯、氢、银、金、锌、铅等。

770) 铁磁质：使  $B \gg B_0$  的磁介质叫铁磁质，铁磁质激发的附加磁感应强度  $\vec{B}'$  与外加磁感应强度  $\vec{B}_0$  的方向基本一致且大于  $\vec{B}_0$ ：铁、镍、钴等

771) 分子电流和分子磁矩  $\vec{p}_m$ ：分子或原子中的所有电子的运动可以等效为一个圆电流，这个电流叫分子电流，分子电流的磁矩叫分子磁矩。

772) 分子角动量  $\vec{L}$ ：分子或原子中的所有电子的运动也可以等效为一个具有一定质量和一定负电荷的粒子的高速圆周运动，这个圆周运动的角动量叫分子角动量；

773) 分子磁矩  $\vec{p}_m$  与分子角动量  $\vec{L}$  各自是独立的，分子磁矩  $\vec{p}_m$  无分子角动量  $\vec{L}$  效应，分子角动量  $\vec{L}$  无分子磁矩  $\vec{p}_m$  效应，这是一种逻辑分离；

774) 分子的附加进动磁矩  $\Delta\vec{p}_{m1}$ ：分子在外磁场  $\vec{B}_0$  中时，具有分子角动量  $\vec{L}$  的带负电荷等效粒子的将产生进动，使带负电荷产生了附加进动磁矩  $\Delta\vec{p}_{m1}$ ，附加进动磁矩  $\Delta\vec{p}_{m1}$  总是与外磁场  $\vec{B}_0$  反向。

775) 分子的附加取向磁矩  $\Delta\vec{p}_{m2}$ ：分子在外磁场  $\vec{B}_0$  中时，分子磁矩  $\vec{p}_m$  将产生转动，使分子磁矩  $\vec{p}_m$  产生了附加取向磁矩  $\Delta\vec{p}_{m2}$ ，附加取向磁矩  $\Delta\vec{p}_{m2}$  总是与外磁场  $\vec{B}_0$  同向。

776) 在外磁场  $\vec{B}_0$  中，分子的总磁矩是分子磁矩  $\vec{p}_m$ 、分子的附加进动磁矩  $\Delta\vec{p}_{m1}$ 、分子的附加取向磁矩  $\Delta\vec{p}_{m2}$  之和。

777) 在外磁场  $\vec{B}_0$  中，由于热运动，体积  $\Delta V$  中大量的分子磁矩  $\vec{p}_m$  之和为零，而分子的附加进

动磁矩  $\Delta \vec{p}_{m1}$  的和以及分子的附加取向磁矩  $\Delta \vec{p}_{m2}$  之和都不为零。

778) 在外磁场  $\vec{B}_0$  中, 体积  $\Delta V$  中的总磁矩等于分子的附加进动磁矩  $\Delta \vec{p}_{m1}$  之和加上分子的附加取向磁矩  $\Delta \vec{p}_{m2}$  之和。

779) 抗磁质的分子电流的分子磁矩为零。

780) 由于抗磁质分子电流的分子磁矩磁矩为零, 它在有外磁场  $\vec{B}_0$  中时, 只产生附加进动磁矩  $\Delta \vec{p}_{m1}$ , 不产生附加取向磁矩  $\Delta \vec{p}_{m2}$ , 因此体积  $\Delta V$  中的分子磁矩  $\vec{p}_{m\Sigma}$  之和与外磁场  $\vec{B}_0$  反向, 磁化表现为抗磁特性。

781) 顺磁质的分子电流的分子磁矩不为零。

782) 由于顺磁质分子电流的分子不为零。它在有外磁场  $\vec{B}_0$  中时, 不但产生附加进动磁矩  $\Delta \vec{p}_{m1}$ , 也产生附加取向磁矩  $\Delta \vec{p}_{m2}$ , 并且一般附加取向磁矩  $\Delta \vec{p}_{m2}$  比附加进动磁矩  $\Delta \vec{p}_{m1}$  大, 因此体积  $\Delta V$  中的分子磁矩  $\vec{p}_{m\Sigma}$  之和与外磁场  $\vec{B}_0$  同向, 磁化表现为顺磁特性。

783) 磁化强度是单位体积中的磁矩, 单位:  $A/m$ 。

784) 磁介质磁化后在空间任何一点的磁化强度都一样时叫均匀磁化反之叫非均匀磁化。

785) 抗磁质的磁化强度  $\vec{M}$  与外磁场  $\vec{B}_0$  反向, 它激发的附加磁场  $\vec{B}'$  也与外磁场  $\vec{B}_0$  反向。

786) 顺磁质的磁化强度  $\vec{M}$  与外磁场  $\vec{B}_0$  同向, 它激发的附加磁场  $\vec{B}'$  也与外磁场  $\vec{B}_0$  同向。。

787) 磁介质磁化后, 在介质表面有磁化电流出现, 它用磁化面电流密度表示, 磁化面电流密度与磁介质的表面磁化强度有关。

788) 磁介质磁化后, 在介质中有磁化电流出现, 它用磁化体电流密度表示, 磁化体电流密度与磁介质中的磁化强度的空间分布有关。

789) 磁场强度是一个辅助物理量。

790) 磁介质中的安培环路定理是任意环路的磁场强度积分等于穿过环路的电流强度代数和。

791) 磁化电流对安培环路定理的影响:

792) 矢量  $B$ 、 $M$ 、 $H$  之间确定的关系。

793) 线性磁介质的特性用磁导率表示, 它分为绝对磁导率和相对磁导率。

794) 磁化率  $\chi_m > 0$  为顺磁质

- 795) 磁化率  $\chi_m < 0$  为抗磁质
- 796) 利用磁介质中的安培环路定律可以计算均匀介质中均匀对称分布电流所激发的磁感应强度。
- 797) 铁磁质的附加磁感应强度  $B'$  特别强。
- 798) 铁磁质的  $M$  与  $B$  不一定平行,  $\mu$ ,  $\chi_m$  不是常数, 是  $H$  的函数。
- 799) 铁磁质的  $M$  滞后  $B_0(H)$  的变化, 当外场回零 ( $H = 0$ ) 时  $M \neq 0$ 。
- 800) 铁磁质存在一个居里点温度, 当温度高于居里点, 为顺磁质, 温度低居里点才是铁磁质。
- 801) 铁磁质的特性具有磁滞回线。
- 802) 铁磁质存在剩磁: 外磁场撤去, 铁磁质还具有磁性。
- 803) 铁磁质存在矫顽力: 矫顽力越大, 退磁越难
- 804) 铁磁质存在磁滞损耗: 磁滞回线面积越大, 磁滞损耗越大
- 805) 软磁材料的矫顽力小, 退磁容易
- 806) 软磁材料的磁滞回线面积小, 磁滞损耗小。
- 807) 软磁材料的适合于制造变压器、继电器、电磁铁等电器设备。
- 808) 硬磁材料的矫顽力大, 退磁难
- 809) 硬磁材料的剩磁大: 外磁场撤去, 铁磁质还具很强的磁性。
- 810) 硬磁材料的适合于制造永久磁铁等设备。
- 811) 磁畴: 相邻铁原子中的电子之间交换耦合使得各个电子的自旋磁矩平行排列起来, 形成一个自发磁化达到饱和状态的微小区域, 它叫做磁畴。
- 812) 没有外场下磁畴的排列: 磁畴各方向排列, 达到能量最小的稳定状态, 整体无磁性。
- 813) 铁磁质的磁化过程是: 1、磁畴磁矩方向与  $H$  方向大致相同的, 磁畴体积随  $H$  的增加而增大, 2、磁畴磁矩方向与  $H$  方向大致相反的, 磁畴体积随  $H$  的增加而减小, 3、所有磁畴磁矩方向与  $H$  方向都大致相同, 磁畴体积不变, 4、磁畴磁矩方向趋向  $H$  方向转动, 并随  $H$  增加最后全部同相于  $H$  方向, 达到饱和。
- 814) 铁磁质剩磁的产生原因是磁畴之间的摩擦力, 撤去外场, 磁畴的排列不能恢复原来状态。
- 815) 高温和振动具有消磁作用: 分子热运动和振动可以瓦解磁畴的形成, 温度达到居里点时候, 所有磁畴全部被瓦解, 铁磁质变成顺磁质。
- 816) 静止电荷和运动电荷都可以激发电场-库伦定律。

- 817) 运动电荷还可以激发磁场-比萨定律。
- 818) 变化的磁场可以激发电场-法拉第定律。
- 819) 电磁感应现象是：当穿过一个闭合导体回路所包围的面积内的磁通量发生变化时，不管这种变化是什么原因引起的，在该导体回路中就会产生感应电流。
- 820) 楞次定律：电磁感应现象中，闭合导体回路的感应电流具有确定的方向，就是感应电流产生的磁场总是反抗闭合导体回路中磁通量的变化，当闭合导体回路中磁通量增加时，感应电流产生的磁场与原磁场方向相反，当闭合导体回路中磁通量减少时，感应电流产生的磁场与原磁场方向相同。
- 821) 楞次定律是能量守恒定律的反映，当闭合导体回路中磁通量增加时，感应电流产生的磁场与原磁场产生排斥力，当闭合导体回路中磁通量减少时，感应电流产生的磁场与原磁场产生吸引力。排斥力和吸引力都是使磁通量发生变化的外界动力需要做功，做功产生的能量转变成感应电流在闭合导体回路中所做的功。
- 822) 楞次定律指出了电磁感应现象是能量转化现象之一。
- 823) 法拉第电磁感应定律：电磁感应现象的根本不是感应电流，而是感应电动势，感应电动势与导体回路中磁通量的时间变化率成正比，感应电动势的方向与磁通量的时间变化率的方向满足负的右手螺旋定则。
- 824) 法拉第电磁感应定律的参考方向回路与回路所绷面积的方向，它有两个方向，一个是回路方向  $\hat{e}_l$ ，一个是面积方向  $\hat{e}_n$ ，规定回路方向  $\hat{e}_l$  与面积方向  $\hat{e}_n$  满足右手螺旋定则，规定电动势  $\varepsilon_l$  的参考方向是回路方向  $\hat{e}_l$ ，磁通量  $\Phi$  的参考方向是面积方向  $\hat{e}_n$ 。
- 825) 电磁感应现象的根本是感应电动势，感应电动势的根本是感应电场强度
- 826) 回路不变化，磁场改变产生的感应电动势叫感生电动势。
- 827) 磁场不变，回路所绷面发生变化产生的感应电动势叫动生电动势。
- 828) 回路所绷面发生变化可以分为两种，一种是导体回路的运动，一种是导体回路形状产生形变，这两种情况都会产生动生电动势。
- 829) 产生动生电动势的感应电场强度是导体运动速度叉乘磁感应强度。
- 830) 动生电动势的感应电场强度的本质是洛伦兹力或安培力。
- 831) 在动生电动势的产生过程中，磁场的洛伦兹力没有做功，外力所做的功通过洛伦兹力转化成了动生电动势所做的功。外力使导体运动，导体运动通过磁场产生动生电动势，动生电动势产生感应电流，感应电流通过磁场产生安培力，安培力反抗导体的运动，磁场起了一

个机械能到电能的转换中介。

- 832) 没有感应电流, 就没有电子在导体中的运动速度, 电子在导体中的运动速度就没有外力  $F$  所做的功, 也没有感应电场力  $F_k$  所做的功, 没有安培力, 导体的匀速运动也就不需要外力, 但是感应电场是始终存在的, 即有没有感应电流, 感应电场都是存在的。
- 833) 麦克斯韦感生电动势和感生电场的解释: 在变化的磁场的空间有感生电动势和感生电场产生, 导体存在不存在, 感生电动势和感生电场都存在:
- 834) 有了麦克斯韦感生电场的解释, 电场的起源就有两种, 一种是电荷所激发的, 一种是变化磁场所激发的。
- 835) 电荷所激发的电场, 其电场线是不闭合的, 它叫无旋电场。
- 836) 变化磁场所激发的电场, 其电场线是闭合的, 它叫有旋电场。
- 837) 静止电荷和运动电荷都可以激发电场-库伦定律。
- 838) 运动电荷还可以激发磁场-比萨定律。
- 839) 变化的磁场可以激发电场-法拉第定律。
- 840) 变化电场可以激发磁场-麦克斯韦假设。
- 841) 位移电流密度是电位移的时间变化率。
- 842) 位移电流强度是位移电流密度的通量。
- 843) 位移电流可以激发磁场。

## (六) 近代物理

- 844) 空间概念的绝对性是指, 空间是绝对的, 它均匀地, 以完全一样的, 静止不动的方式存在着, 它与物质的存在和运动无关, 也与观察者所在的参考系无关。
- 845) 时间概念的绝对性是指, 时间是绝对的, 它均匀地, 以完全一样的, 永远不变的方式流逝着, 它与物质的存在和运动无关, 也与观察者所在的参考系无关。
- 846) 同时概念的绝对性是指, 两个事件是否同时发生是绝对的, 它与物质的存在和运动无关, 也与观察者所在的参考系无关。
- 847) 绝对空间是指, 物体的大小是绝对的, 它与其相对观察者(参照系)的运动无关。
- 848) 绝对时间是指: 物理过程经历的时间是绝对的, 它与其相对观察者(参照系)的运动无关。
- 849) 绝对同时性是指: 两个事件是否同时发生是绝对的, 它与其相对观察者(参照系)的运动

无关。

- 850) 伽利略相对性原理是, 一切彼此作匀速直线运动的惯性参照系, 对于描写机械运动的力学规律来说是完全等价的, 不存在特殊优越的惯性参照系; 在一个惯性参照系内部所作的任何力学实验, 都不能确定该惯性参照系本身是处在静止状态, 还是处在匀速直线运动状态。
- 851) 爱因斯坦相对性原理是, 物理定律在一切惯性参考系中都具有相同的数学表达形式。
- 852) 光速不变原理是, 在彼此相对作匀速直线运动的任一惯性参考系中, 所测得的光在真空中传播速度都相等。
- 853) 狭义相对论基本原理是爱因斯坦相对性原理和光速不变原理。
- 854) 光速是物体运动的最高速度, 它与光速不变是等价的。
- 855) 狭义相对论的时空观是相对时空观。
- 856) 有怎样的时空观就有怎样的坐标变换, 有怎样的坐标变换就有怎样的时空观。
- 857) 坐标变换是对时空观的定量描述, 伽利略坐标变换是对绝对时空观的定量描述, 洛伦兹坐标变换是相对时空观的定量描述。
- 858) 经典力学的时空观是绝对时空观, 坐标变换是伽利略坐标变换。
- 859) 相对论的时空观是相对时空观, 坐标变换是洛伦兹坐标变换。
- 860) 洛伦兹坐标变换的低速极限为伽利略坐标变换。
- 861) 相对观察者静止的物体, 观察者所测得的物体长度为固有长度。
- 862) 相对观察者静止的时钟, 观察者所看到的时钟走时为固有时间。(时钟走时就是一个物理过程的时间)
- 863) 相对观察者运动的物体, 观察者所测得的物体长度为运动长度。
- 864) 相对观察者运动的时钟, 观察者所看到的时钟走时为运动时间。(时钟走时就是一个物理过程的时间)
- 865) 运动物体的运动长度相对它的固有长度收缩了。
- 866) 运动时钟的走时相对它的固有时间膨胀了。
- 867) 在一个参照系中同一地点同时发生的两个事件, 在其他参照系中看也是同时发生的。
- 868) 在一个参照系中不同地点同时发生的两个事件, 在其他参照系中看不是同时发生的。
- 869) 因果先后关系是绝对的, 因果先后关系在任何参照系中都不会颠倒。
- 870) 时空观是力学理论的基础, 因此, 描述时空观的坐标变换是力学理论的基础。
- 871) 绝对时空观是经典力学的基础, 因此, 描述绝对时空观的伽利略坐标变换是经典力学理论



的基础。

872) 相对时空观是相对论力学的基础, 因此, 描述相对时空观的洛伦兹坐标变换是相对论力学的基础。

873) 相对性原理是力学理论的基本原理。

874) 伽利略相对性原理是经典力学的基本原理。

875) 爱因斯坦相对性原理是相对论的基本原理。

876) 动量守恒定律和能量守恒定律是相对论和经典力学共同的基本定律。

877) 在经典力学中, 不同的参照系, 物体的质量是相同的。在相对论中, 不同的参照系, 物体的质量是不相同的。

878) 在经典力学中, 不同的惯性参照系, 物体所受的力是相同的。在相对论中, 不同的惯性参照系, 物体所受的力是不相同的。

879) 物体的纵向质量大于横向质量

880) 在经典力学中, 物体加速度的方向与物体所受力的方向一致。在相对论中, 物体加速度的方向与物体所受力的方向不一致。

881) 质能关系式揭示了质量和能量是不可分割的。一定质量的物质客体也必具有和这质量相当的能量。

882) 物体在静止是也存在能量。物体的动能是物体的运动能量减去其静止能量。

883) 光子的静止质量为零, 能量也为零。

884) 不存在静止的光子, 也不存在速度不为光速的光子。

885) 普朗克常数:  $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$ ,  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$

886) 波粒二象性:

能量与频率 (角频率):  $E = h\nu$  或  $E = \hbar\omega$ ,  $\omega = 2\pi\nu$

动量与波长 (波矢):  $p = \frac{h}{\lambda}$  或  $p = \hbar k$ ,  $k = 2\pi/\lambda$

## 二、基本计算

1. 由运动方程求速度、速率、加速度、切向加速度、法向加速度
2. 在惯性参照系中, 由牛顿第二定律列微分方程, 根据初始条件解出运动方程。
3. 根据动量守恒和能量守恒解力学问题。
4. 求刚体的转动惯量。
5. 由转动定律解刚体定轴转动问题。

6. 求解振动和波动的叠加问题（同频率，同方向）。
7. 求解驻波问题。
8. 求解多普勒效应问题。
9. 杨氏干涉的亮纹间距与波长的关系的应用问题。
10. 薄膜的等厚干涉测距问题（劈尖应用）。
11. 光栅方程应用问题。
12. 应用电场高斯定理求电场强度。
13. 应用安培环路定理求磁感应强度。
14. 由电场强度积分求电势。
15. 应用法拉第定律求电动势（使用磁通量的微分求）。