

高二物理竞赛

陈博

目录

第一章 序	7
第二章 运动学	9
2.1 时空与物质	9
2.1.1 时空观, 坐标系	9
2.1.2 物质	11
2.1.3 参考系, 物理规律与其不变性	13
2.2 运动的描述	14
2.2.1 质点的运动	14
2.3 参考系变换	16
2.4 运动的牵连	16
第三章 动力学	17
3.1 牛顿定律	17
3.1.1 概述	17
3.1.2 牛顿第一定律	18
3.2 动量定律	18
3.3 能量定律	18
3.4 角动量定律	18
3.5 位力定律 *	18
3.6 动力学问题	18
3.7 碰撞问题	18
第四章 静力学	19
4.1 约束	19
4.2 力系化简	19
4.3 平衡问题	19
4.4 虚功原理	19
4.5 平衡态稳定性	19
第五章 振动与波	21
5.1 方程与谐振	21
5.1.1 简谐振动的定义	21
5.1.2 简谐振动的性质	21
5.2 阻尼振动与受迫振动	22
5.3 多自由度小振动 *	22
5.4 非线性摄动	22

5.5 格波	22
5.6 波动方程	22
5.7 波的色散	22
第六章 万有引力	23
6.1 有心力下运动	23
6.2 万有引力下运动	23
6.3 二体与潮汐	23
第七章 刚体	25
7.1 刚体的物理描述	25
7.2 平面平行运动	27
7.3 空间刚体运动 *	27
第八章 流体	29
8.1 流体的物理描述	29
8.2 定常流动动力学	29
8.3 黏滞流体动力学	29
第九章 弹性体	31
9.1 弹性体的物理描述	31
9.2 弹性棒, 弹性膜与弹性体	31
9.3 弹性波	31
第十章 相对论	33
10.1 相对论运动学	33
10.2 相对论动力学	33
10.3 相对论连续物质	33
10.4 相对论电磁场	33
第十一章 热力学第一定律	35
11.1 热力学第零定律	35
11.2 热力学第一定律	36
11.2.1 准静态与非准静态过程	36
11.2.2 内能	37
11.2.3 功	38
11.2.4 热量	38
11.2.5 耗散	39
11.3 理想气体	40
11.3.1 理想气体的定义	40
11.3.2 理想气体物态方程	41
11.3.3 混合理想气体	43
11.3.4 理想气体的过程	44
11.4 开放系统的理想气体	48
11.4.1 静态平衡问题——重力场中的大气	48
11.4.2 能量守恒——伯努利方程	49
11.4.3 动量守恒——欧拉方程	50

第十二章 热力学第二定律	53
12.1 循环过程	53
12.1.1 热机与热泵	53
12.1.2 热机循环	56
12.2 理想气体的熵	58
12.3 热力学第二定律	60
12.4 熵的计算	63
12.4.1 理想气体的熵	63
12.4.2 固定热容固体熵	64
12.4.3 大热容恒温热库	64
12.4.4 传热熵	64
12.4.5 混合熵	64
12.5 热力学函数与其特性	66
12.5.1 四个热力学函数与四个状态参量	66
12.5.2 若干定理的证明	67
12.5.3 自由能的含义	72
12.5.4 化学势	73
12.6 近平衡态热力学 *	74
12.6.1 线性输运现象	74
12.6.2 传热的熵产生	77
12.6.3 普遍理论与昂萨格倒易关系	77
12.6.4 推证热电耦合的普遍规律	78
第十三章 液体与固体的性质摘要	81
13.1 固体晶格论	81
13.2 固体电子论 *	82
13.3 液体的物性性质	83
13.3.1 液体性质综述与其微观成因	83
13.3.2 热容	83
13.4 液体的表面性质	84
13.5 极端条件下的其他物态	84
第十四章 相与相变摘要	87
14.1 相平衡	87
14.2 气液相变	87
14.3 连续相变	88
14.4 拓扑相变	88
第十五章 统计物理基础摘要	89
15.1 数学基础	89
15.1.1 概率与独立性	89
15.1.2 随机变量及其数字特征	90
15.1.3 信息熵	91
15.2 统计假设	95
15.3 麦克斯韦分布律	96

15.4 能均分定理	96
15.5 功, 热, 熵	96
15.6 量子与相对论	96
第十六章 光波与光线	97
16.1 界面上的反射与折射	97
16.1.1 光波与光线	97
16.1.2 菲涅尔公式	99
16.2 光线方程	103
16.2.1 光线方程与折射定律	103
16.2.2 光力类比	104
16.3 费马原理	105
第十七章 光学成像	107
17.1 傍轴光成像	107
17.1.1 物与像	107
17.1.2 球对称成像系统与符号法则	108
17.1.3 光具组成像	110
17.2 理想成像系统	111
17.2.1 作图法	112
17.2.2 基点基面性质	113
17.2.3 实例与望远系统	114
17.3 更多讨论 *	116
17.3.1 理想成像本质	116
17.4 非傍轴成像	118
第十八章 光学仪器知识摘要	119
18.1 光度学	119
18.1.1 色视觉	119
18.2 光阑与光瞳	120
18.3 眼睛	120
18.4 显微镜	120
18.5 望远镜	120
18.6 照相机	120
第十九章 静电学	121
19.1 电荷与电场	121
19.1.1 电磁相互作用与电荷	121
19.1.2 库仑定律	122
19.1.3 电场	122
19.2 两个定律与电势	125
19.2.1 电场的高斯定律	126
19.2.2 电势与电场的环路定律	127
19.2.3 总结	128
19.3 静电能	129
19.3.1 静电势能	129

19.3.2 自能与相互作用能	130
19.3.3 电场能	132
19.4 电荷体系	133
19.4.1 电偶极子	133
19.4.2 电荷密度	136
19.4.3 极化强度	137
第二十章 导体与介质	139
20.1 导体与静电平衡	139
20.1.1 导体特点	139
20.2 电像法	139
20.3 电介质	139
20.4 再议静电能	139
第二十一章 稳恒电流	141
21.1 稳恒电流描述与形成	141
21.1.1 德鲁德模型	141
21.1.2 费米气观点 *	142
21.1.3 能带论 *	144
21.1.4 惯性, 阻尼与回复力	146
21.1.5 稳恒电流与形成条件	147
21.2 电路与电路方程	149
21.3 电路分析基础	149
21.4 电路分析方法	149
21.5 半导体	149
第二十二章 静磁场	151
22.1 电流与磁场	151
22.2 两个定理与矢势	151
22.3 磁偶极子	151
22.4 磁介质与磁能	151
22.5 超导简介	151
第二十三章 电磁感应	153
23.1 动生电动势	153
23.2 感生电动势	153
23.3 自感与互感	153
23.4 法拉第电磁感应定律	153
第二十四章 麦克斯韦方程组	155
24.1 麦克斯韦方程组	155
24.2 平面电磁波	155
24.3 电磁场能量与动量	155
24.4 电磁波辐射	155

第二十五章 交流电路	157
25.1 代数与几何表示	157
25.2 常见电路	157
25.3 变压器	157
25.4 电能传输	157
第二十六章 光的干涉	159
26.1 标量波理论	159
26.2 分波面干涉	163
26.2.1 杨氏双缝干涉仪	163
26.3 分振幅干涉	163
26.4 偏振干涉	163
26.5 相干性	163
26.6 多光束干涉	163
第二十七章 光的衍射	165
27.1 光栅与波带片	165
27.2 布拉格衍射	165
27.3 衍射积分公式	165
27.4 波前分析法	165
第二十八章 物理光学	167
28.1 经典色散理论	167
28.1.1 复波矢与复折射率	167
28.1.2 经典电子论的解释	170
28.2 色散, 散射与吸收	172
28.3 群速与展宽	172
28.4 光子	172
第二十九章 量子论	173
29.1 黑体辐射	173
29.2 光量子性	173
29.3 玻尔原子	173
29.4 电子波动性	173
29.5 物质波与波函数	173
第三十章 物理学尺度	175
30.1 宇观	175
30.2 宏观	175
30.3 介观	175
30.4 微观原子	175
30.5 微观亚原子	175

第三章 动力学

3.1 牛顿定律

3.1.1 概述

中世纪到近代以来物理学的发展,可谓沧海桑田,旧的观点被否定,几十年以后突然又以全新的面貌出现在物理学理论中.其中,实验中观察到各种令人惊诧的结果,无论物理学所依托的数学形式一变再变,要说亘古不变的主题,恐怕只有自然界的神奇与深邃,和我等凡人难以参透其中奥妙却仍为之孜孜不倦研究的决心.物理是一门研究自然界存在的运动并提出解释与理解方法的学科.运动形式多种多样,变化万千,但很多都被我们或多或少地解释,其实总结来看,从古至今我们也仅仅拥有过两类解释:一类由牛顿提出,一类则来自爱因斯坦.前前后后经历了大概以下发展:

亚里士多德:天体运行,自由落体是自然 (nature) 的运动;“树欲静而风不止”是强迫 (violent) 的运动.但错误地认为“物体越重,下落越快”

伽利略:辩证地看待亚里士多德的观点,开创性地提出相对性原理,成功论证与形成惯性与常见运动的正确认识.

笛卡尔,惠更斯等:成功得到大量动力学公式,包括后来的牛顿第二定律,动能的表达式与能量守恒定律,

牛顿开创的相互作用观:开创性的提出物质间存在相互作用,相互作用是改变物质运动状态的原因.并很好地把天体的运动归结到互相之间产生的相互作用上.后人建立了场的理论以后,超距的粒子间相互作用就不再被理论学家们采纳了,而要理解为场与粒子的相互作用,再晚一点,场和粒子都被赋予了波粒二象性,粒子也要被理解为场,但所有场都要被分解为平面波,平面波又要被量子化.如果没有相互作用,那么这些平面波的运动状态就不会发生改变,只有相互作用才会改变其运动,或传播方向发生偏折(发生散射),或强度发生改变(粒子的产生与湮灭).牛顿的观点是以**相互作用**(interaction)为核心的观点.

拉格朗日,哈密顿等:将牛顿的结果与观点上升到**分析力学**(analytic mechanics)的高度.将复杂体系的结构浓缩在统一的一个能量函数或作用量泛函数中.为后来场论建立和相对论,统计力学,量子力学的发展都提供了理论支持.

马赫:批判牛顿的过于绝对的时空观.预言质量分布会对惯性本身产生影响.

爱因斯坦开创的几何观:仿佛又回到了亚里士多德,不仅仅是无相互作用下的匀速直线运动,一切在万有引力下的天体运动其实也是“自然”的运动.看上去复杂的曲线运动不过也是沿对被引力所扭曲的弯曲时空几何下的天然“直线”---测地线 (geodesic) 运动而已.对引力问题提出开创性的解释.率先描绘了20世纪建立的若干理论的物理图像.

天体物理,粒子物理:爱因斯坦以后的理论研究中很多问题还处于开放状态.时而采用牛顿的相互作用观,时而采用爱因斯坦的几何观.是一种两个图像的有机结合.

我们今天说**经典力学**(classical mechanics) 大多数情况即指**牛顿力学**(Newtonian mechanics), 指的是由伽利略最初引领, 笛卡尔, 惠更斯等奠基, 牛顿集大成的一套理论. 它以伽利略的**两种新科学的对话与数学展示**(Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze) 和牛顿的**自然哲学的数学原理**(Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica) 两篇文献为核心. 逻辑上以质点的牛顿三大定律为基础. 不包括后来上升到的分析力学层次, 作为绝对时空观适用伽利略变换, 不兼容相对论.

牛顿定律总结如下:

-
1. 第一定律: 在惯性系中, 一个质点应静止或匀速直线运动. 除非有外力施加于物体.
 2. 第二定律: 在惯性系中, 质点受力的矢量和 \mathbf{F} 等于其质量 m 与加速度 \mathbf{a} 的乘积.
 3. 第三定律: 一个质点对另一个质点施加作用力时, 另一个质点同时将施加反作用力于第一个质点, 作用力与反作用力等大反向共线.
-

三个定律之间的联系是很值得讨论的. 对三个基本定律的设置反映了很多物理思想¹. 分析如下:

3.1.2 牛顿第一定律

3.2 动量定律

3.3 能量定律

3.4 角动量定律

3.5 位力定律 *

3.6 动力学问题

3.7 碰撞问题

¹例如爱因斯坦狭义相对论的两个假设在某种意义上与牛顿第一第二定律的逻辑完全一致. 都是先定义时空背景再阐述物理规律的共性.