

# 高二物理竞赛 • 全部

学而思



# 目录

第一章 序	11
1.1 说在一切前面	11
1.2 本书编排	11
1.3 预备知识	11
1.3.1 力学	11
1.3.2 电磁学	11
1.3.3 热学	11
1.3.4 光学	11
1.3.5 近代物理	11
1.3.6 数学	11
第二章 运动学	13
2.1 时空与物质	13
2.1.1 时空观, 坐标系	13
2.1.2 物质	15
2.1.3 参考系, 物理规律与其不变性	17
2.2 运动的描述	18
2.2.1 质点的运动	18
2.2.2 刚体的运动	25
2.3 参考系变换	27
2.3.1 点变换	27
2.3.2 刚体变换	29
2.4 运动的牵连	29
2.4.1 接触系	29
2.4.2 纯滚系	30
2.4.3 约束系	31
第三章 动力学	33
3.1 牛顿定律	33
3.1.1 概述	33
3.1.2 牛顿第一定律	34
3.1.3 牛顿第二定律	34
3.1.4 牛顿第三定律	35
3.1.5 质点系与它的牛顿定律	36
3.1.6 非惯性系的处理	38
3.2 动量定律	38

3.2.1	质点的动量	38
3.2.2	质点系的动量	39
3.3	角动量定律	40
3.3.1	质点的角动量	40
3.3.2	质点系的角动量	41
3.4	能量定律	42
3.4.1	质点的动能	42
3.4.2	质点系的动能	42
3.4.3	其它能量形式	43
3.5	位力定律 *	46
3.5.1	质点的位力	46
3.5.2	质点系的位力	47
3.6	碰撞问题	48
3.6.1	二质点正碰	48
3.6.2	自由刚体的碰撞	51
3.6.3	多体碰撞	51
第四章	静力学	53
4.1	约束	53
4.1.1	约束分类	53
4.1.2	广义坐标与自由度	56
4.1.3	约束力与广义力	58
4.2	力系化简	61
4.2.1	静力学公理体系	61
4.2.2	力系向一点简化	65
4.3	平衡问题: 矢量力学	67
4.3.1	平衡问题的要素	67
4.3.2	平衡条件与判据	67
4.3.3	亚静定, 静定与超静定	69
4.4	平衡问题: 虚功原理	70
4.4.1	理想约束	70
4.4.2	亚静定问题的虚功原理	71
4.4.3	静定问题的求解	71
4.5	分析力学初步 *	72
4.5.1	用广义坐标表示能量	73
4.5.2	拉格朗日方程	75
4.5.3	再论冲击问题	77
4.6	平衡态稳定性	78
4.6.1	一自由度体系	78
4.6.2	多自由度体系	78
第五章	简谐振动	79
5.1	方程与谐振	79
5.1.1	简谐振动的定义	79
5.1.2	简谐振动的性质	79

5.1.3	简谐振动的判定	80
5.1.4	小振动	81
5.2	阻尼振动与受迫振动	82
5.2.1	阻尼振动	82
5.2.2	受迫振动	84
5.3	多自由度小振动 *	88
5.3.1	基于线性代数与分析力学的简正坐标求解	90
5.3.2	基于对称性的简正模判定与简正频率求解	94
5.4	非线性摄动 *	100
5.5	格波	100
第六章	万有引力	105
6.1	有心力下质点运动	105
6.1.1	运动的一般特征	105
6.1.2	有心力问题的求解	106
6.2	万有引力下天体运动	109
6.3	二体与潮汐	110
第七章	刚体	111
7.1	刚体的物理描述	111
7.2	平面平行运动	113
7.3	空间刚体运动 *	114
第八章	弹性体	117
8.1	弹性体的物理描述	117
8.2	弹性棒, 弹性绳, 弹性膜与弹性体	121
8.2.1	弹性棒	121
8.2.2	弹性绳	122
8.2.3	弹性膜	123
8.2.4	弹性体 *	124
8.3	弹性波	125
8.3.1	分离变量法	125
8.3.2	变量代换法	126
8.3.3	多维情况	126
8.3.4	再论格波	128
第九章	流体	129
9.1	流体的物理描述	129
9.2	定常流动动力学	132
9.3	黏滞流体动力学	133
9.4	流体中的波	134
9.5	波的色散	134
第十章	相对论	135
10.1	相对论运动学	135
10.2	相对论动力学	136

10.3 相对论连续物质	138
10.4 相对论电磁场	139
<b>第十一章 热力学第一定律</b>	<b>141</b>
11.1 热力学第零定律	141
11.2 热力学第一定律	142
11.2.1 准静态与非准静态过程	142
11.2.2 内能	143
11.2.3 功	144
11.2.4 热量	144
11.2.5 耗散	145
11.3 理想气体	146
11.3.1 理想气体的定义	146
11.3.2 理想气体物态方程	147
11.3.3 混合理想气体	149
11.3.4 理想气体的过程	150
11.4 开放系统的理想气体	154
11.4.1 静态平衡问题——重力场中的大气	154
11.4.2 能量守恒——伯努利方程	155
11.4.3 动量守恒——欧拉方程	156
<b>第十二章 热力学第二定律</b>	<b>159</b>
12.1 循环过程	159
12.1.1 热机与热泵	159
12.1.2 热机循环	162
12.2 理想气体的熵	164
12.3 热力学第二定律	166
12.4 熵的计算	169
12.4.1 理想气体的熵	169
12.4.2 固定热容固体熵	170
12.4.3 大热容恒温热库	170
12.4.4 传热熵	170
12.4.5 混合熵	170
12.5 热力学函数与其特性	172
12.5.1 四个热力学函数与四个状态参量	172
12.5.2 若干定理的证明	173
12.5.3 自由能的含义	178
12.5.4 化学势	179
12.6 近平衡态热力学 *	180
12.6.1 线性输运现象	180
12.6.2 传热的熵产生	183
12.6.3 普遍理论与昂萨格倒易关系	183
12.6.4 推证热电耦合的普遍规律	184

第十三章 液体与固体的性质	187
13.1 固体晶格论	187
13.2 固体电子论 *	190
13.3 液体的物态性质	191
13.3.1 液体性质综述与其微观成因	191
13.3.2 热容	191
13.4 液体的表面性质	192
13.5 极端条件下的其他物态	192
第十四章 相与相变摘要	195
14.1 相平衡	195
14.2 气液相变	195
14.3 连续相变	196
14.4 拓扑相变	196
第十五章 统计物理基础摘要	197
15.1 数学基础	197
15.1.1 概率与独立性	197
15.1.2 随机变量及其数字特征	198
15.1.3 信息熵	199
15.2 统计假设	203
15.3 麦克斯韦分布律	204
15.4 能均分定理	204
15.5 功, 热, 熵	204
15.6 量子与相对论	204
第十六章 光波与光线	205
16.1 界面上的反射与折射	205
16.1.1 光波与光线	205
16.1.2 菲涅尔公式	207
16.2 光线方程	211
16.2.1 光线方程与折射定律	211
16.2.2 光力类比	212
16.3 费马原理	213
第十七章 光学成像	215
17.1 傍轴光成像	215
17.1.1 物与像	215
17.1.2 球对称成像系统与符号法则	216
17.1.3 光具组成像	218
17.2 理想成像系统	219
17.2.1 作图法	220
17.2.2 基点基面性质	221
17.2.3 实例与望远系统	222
17.3 更多讨论 *	224
17.3.1 理想成像本质	224

17.4 非傍轴成像	226
<b>第十八章 光学仪器知识摘要</b>	<b>227</b>
18.1 光度学	227
18.1.1 色视觉	227
18.2 光阑与光瞳	228
18.3 眼睛	228
18.4 显微镜	228
18.5 望远镜	228
18.6 照相机	228
<b>第十九章 静电学</b>	<b>229</b>
19.1 电荷与电场	229
19.1.1 电磁相互作用与电荷	229
19.1.2 库仑定律	230
19.1.3 电场	230
19.2 两个定律与电势	233
19.2.1 电场的高斯定律	234
19.2.2 电势与电场的环路定律	235
19.2.3 总结	236
19.3 静电能	237
19.3.1 静电势能	237
19.3.2 自能与相互作用能	238
19.3.3 电场能	240
19.4 电荷体系	241
19.4.1 电偶极子	241
19.4.2 电荷密度	244
19.4.3 极化强度	245
19.4.4 若干对称带电体系的电场	247
<b>第二十章 导体与介质</b>	<b>251</b>
20.1 导体与静电平衡	251
20.1.1 绝缘体与导体	251
20.1.2 导体的特点	252
20.1.3 常见简单体系	256
20.2 电像法	258
20.2.1 半无限大空间的电像法	258
20.2.2 球面外与球面内的电像法	259
20.3 电介质	261
20.3.1 微观角度理解极化	262
20.3.2 宏观角度理解极化	264
20.3.3 微观与宏观的联系	268
20.4 再议静电能	269



第二十一章 稳恒电流	273
21.1 稳恒电流描述与形成	273
21.1.1 德鲁特模型	273
21.1.2 费米气观点 *	274
21.1.3 能带论 *	276
21.1.4 惯性, 阻尼与回复力	278
21.1.5 稳恒电流与形成条件	279
21.2 电路与电路方程	281
21.3 电路分析基础	284
21.3.1 电路的整体结构与拓扑学结论	284
21.3.2 电路问题的求解套路	287
21.4 电路分析方法	289
21.5 半导体	289
第二十二章 静磁场	291
22.1 电流与磁场	291
22.1.1 磁场地位与电流分布	291
22.1.2 毕奥-萨伐尔定律	292
22.2 两个定律与矢势	292
22.2.1 磁场环路定律	292
22.2.2 矢势与磁场高斯定律	293
22.3 电流体系	293
22.3.1 磁偶极子	293
22.3.2 磁化强度	294
22.3.3 若干对称体系的磁场	294
22.4 磁介质与磁能	295
22.4.1 微观角度理解磁化	295
22.4.2 宏观角度理解磁化	296
22.4.3 磁场能量	296
第二十三章 电磁感应	297
23.1 动生电动势	297
23.2 感生电动势	297
23.3 自感与互感	298
第二十四章 麦克斯韦方程组	299
24.1 麦克斯韦方程组	299
24.1.1 位移电流假说	299
24.1.2 麦克斯韦方程组	301
24.1.3 电荷在电磁场中的运动	305
24.2 平面电磁波	306
24.2.1 真空中的电磁波	306
24.2.2 介质中电磁波的传播	307
24.3 电磁场能量与动量	309
24.4 电磁波辐射	309

24.4.1 电磁辐射概论	309
24.4.2 偶极辐射	310
24.4.3 辐射的相对论变换	311
24.5 电磁学单位制	311
24.5.1 高斯单位制	311
24.5.2 洛伦兹-亥维赛单位制	311
24.5.3 自然单位制	311
<b>第二十五章 交流电路</b>	<b>313</b>
25.1 相量表示	313
25.1.1 拟稳条件与交流元件	313
25.1.2 电阻, 电容, 电感特性	313
25.2 常见电路	315
25.2.1 谐振电路	315
25.2.2 滤波电路	315
25.2.3 电报线方程, 再论拟稳条件	315
25.3 变压器	315
25.3.1 磁路定律	315
25.3.2 理想变压器条件	315
25.4 电能传输	315
25.4.1 发电机与电动机: 三相绕组	315
25.4.2 变电站与电线损耗	315
25.4.3 市电规范	315
25.4.4 电源适配器	315
<b>第二十六章 光的干涉</b>	<b>317</b>
26.1 标量波理论	317
26.2 分波面干涉	321
26.3 分振幅干涉	322
26.4 偏振干涉	323
26.5 相干性	325
<b>第二十七章 光的衍射</b>	<b>327</b>
27.1 光栅与波带片	327
27.2 衍射积分公式	328
27.3 波前分析法	328
<b>第二十八章 物理光学</b>	<b>329</b>
28.1 经典色散理论	329
28.1.1 复波矢与复折射率	329
28.1.2 经典电子论的解释	332
28.1.3 * 辐射阻尼与散射截面	335
<b>第二十九章 量子论</b>	<b>339</b>
29.1 黑体辐射	339
29.2 光粒子性	340

29.3 玻尔原子 . . . . .	341
29.4 物质波与波函数 . . . . .	341
<b>第三十章 物理学尺度</b>	<b>343</b>
30.1 宇观 . . . . .	343
30.2 宏观 . . . . .	343
30.3 介观 . . . . .	343
30.4 微观原子 . . . . .	343
30.5 微观亚原子 . . . . .	343



## 第二十七章 光的衍射

### 27.1 光栅与波带片

- 光栅衍射: 光栅常数, 即空间周期为  $d$ , 缝宽为  $a$ , 总共刻  $N$  道. 那么:

$$I = I_0 \cdot f_1(\theta) \cdot \left( \frac{\sin N\beta}{\sin \beta} \right)^2, \quad \beta = \frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta$$

其中  $f_1(\theta)$  为之后可以算出来的与单缝衍射有关的慢变 (需要  $a \ll d$ ) 的单元因子:

$$f_1(\theta) = \left( \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2, \quad \alpha = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta$$

体现光栅的结构的是后面的结构因子:

$$f_2(\theta) = \left( \frac{\sin N\beta}{\sin \beta} \right)^2, \quad \beta = \frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta$$

从中可以得到三个信息: 主极大方向  $d \sin \theta_j = j\lambda$ , 主极大强度  $I = N^2 I_0$ , 主极大宽度  $\delta\theta \sim j\lambda/Nd$

- 圆孔菲涅尔衍射: 波带法与半波带法. 核心在于以下等式:

$$\frac{dS}{r} = \text{const.} \cdot dr$$



图 27.1: 波带法与半波带法

这说明不同位置的波前上的带状面元, 根据其对要计算的点所造成的光程差, 相等的光程差造成完全相等的振幅, 尽管面元的面积不相等. 只需要把这些振幅相等, 相位不等的光矢量进行合成.

合成方法一般有两种, 对于半波带问题把面元分解为半波带显得方便. 而复杂问题需要按照微元分解, 下一节将介绍面元对要计算的点的光矢量贡献还有一个起到调制作用的角度因子, 故合成图像一般为:

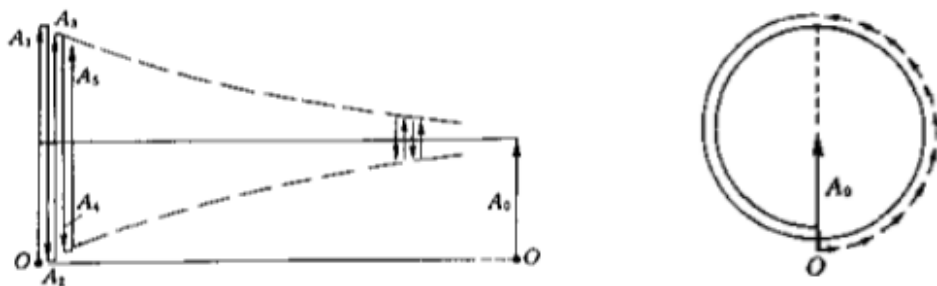


图 27.2: 分组合成与积分合成

- 波带片: 预想将一点光源和一要计算光强的点中间合适距离处的波前按照半波带分解, 再制造一光学器件, 或者遮住奇数半波带而开放偶数半波带, 或者遮住偶数半波带而开放奇数半波带. 就构成了波带片. 如果在一张圆形的片上入射平行光, 而选取距离为  $f$  的点计算光程, 那么各个半径为:

$$\rho_j = \sqrt{j\lambda f}$$

这样的波带片可以当做一个焦距为  $f$  的透镜使用. 但是成像并不唯一, 容易证明它具有一组虚焦点和实焦点.

## 27.2 衍射积分公式

- 基尔霍夫衍射积分公式:

$$A(\mathbf{r}) = \frac{1}{i\lambda} \int A(\mathbf{r}') \cdot F \cdot \frac{e^{ik|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|} dS}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|}$$

$F$  为角度因子, 若入射波波矢  $\mathbf{k}'$  方向为  $\mathbf{e}'$ , 子波波矢  $\mathbf{k}$  方向为  $\mathbf{e}$ , 面元  $dS$  方向为  $\mathbf{n}$ , 则有:

$$F = \frac{\mathbf{n} \cdot \mathbf{e} + \mathbf{n} \cdot \mathbf{e}'}{2} = \frac{\cos \theta + \cos \theta'}{2}$$

- 夫琅和费衍射公式: 如果在衍射屏后放置焦距为  $f$  的透镜并在后焦面上观察, 并且忽略角度因子. 把入射场在衍射屏作用后的波前写作  $A(x_0, y_0)$ . 那么这个情况具有更简单的公式:

$$A(\theta_x, \theta_y) = \frac{1}{i\lambda f} \iint A(x_0, y_0) e^{-i(k_x x_0 + k_y y_0)} dx_0 dy_0$$

- 矩孔衍射:

$$I = I_0 \cdot \left(\frac{ab}{\lambda f}\right)^2 \cdot \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha}\right)^2 \cdot \left(\frac{\sin \beta}{\beta}\right)^2, \quad \alpha = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta_x, \quad \beta = \frac{\pi b}{\lambda} \sin \theta_y$$

- 圆孔衍射: 直径  $d$ , 艾里斑半角  $\theta$ :

$$\theta \approx \frac{1.22\lambda}{d}$$

## 27.3 波前分析法