

# 目录

<b>第一部分 数学基础</b>	<b>2</b>
<b>第一章 集合、映射与函数</b>	<b>4</b>
1.1 集合基本概念与记号	4
1.1.1 集合与元素	4
1.1.2 元素与集合的关系	5
1.1.3 集合与集合的关系	6
1.2 集合的运算与关系	10
1.2.1 集合的交并差补	10
1.2.2 * 集合的笛卡尔积与幂集	10
1.2.3 * 关系、等价关系、偏序关系	10
1.3 * 公理化集合论初步	11
1.4 映射与函数	11
1.4.1 映射与一一映射	11
1.4.2 * 集合的对等与势	11
1.4.3 函数的定义与表示	11
1.4.4 * 多元函数、泛函与算子	11
1.5 函数的运算与基本性质	11
1.5.1 函数的加减乘除	11
1.5.2 函数的复合与反函数	11
1.5.3 函数的单调性、奇偶性与周期性	11
1.5.4 * 反函数的性质	11
1.6 初等函数	11
1.6.1 基本初等函数——幂函数	11
1.6.2 基本初等函数——指数函数	11
1.6.3 基本初等函数——对数函数	11
1.6.4 基本初等函数——三角函数	11
1.6.5 * 基本初等函数——反三角函数	11
1.6.6 * 初等函数与初等函数的性质	11
<b>第二章 三角函数</b>	<b>12</b>
2.1 弧度制与角的扩展	12
2.2 三角函数的图像与性质	12
2.2.1 三角函数的图像	12
2.2.2 三角函数的性质	12
2.3 三角函数的简单恒等变换	12
2.3.1 三角函数的和差公式	12
2.3.2 倍角公式与半角公式	12
2.3.3 诱导公式	12
2.3.4 辅助角公式	12
2.3.5 * 万能公式代换	12

2.4 * 三角函数恒等变换的拓展	12
2.4.1 积化和差公式	12
2.4.2 和差化积公式	12
2.4.3 多倍角公式	12
<b>第三章 向量与复数</b>	<b>13</b>
3.1 向量的几何定义与线性运算	13
3.1.1 向量的几何定义	13
3.1.2 向量的加减数乘运算	13
3.2 向量的点积与叉积	13
3.2.1 向量的点积	13
3.2.2 * 三维向量的叉积	13
3.3 向量在坐标系下展开	13
3.3.1 向量基本定理	13
3.3.2 向量在直角坐标系的展开	13
3.3.3 向量运算的分量运算	13
3.4 * 向量分量的坐标变换与张量	13
3.4.1 坐标系的拓展	13
3.4.2 向量分量变换	13
3.4.3 张量的简要介绍	13
3.5 * 向量的代数解释与向量空间	13
3.5.1 向量空间是元素满足特殊关系的集合	13
3.5.2 向量空间的维度与基的关系	13
3.6 复数与其四则运算	13
3.6.1 数系的延拓	13
3.6.2 复数的四则运算	13
3.7 * 欧拉公式与复数的几何解释	13
3.7.1 欧拉公式与三角函数	13
3.7.2 复数运算的几何解释	13
<b>第四章 解析几何</b>	<b>14</b>
4.1 曲线与方程	14
4.2 直线与圆	14
4.2.1 直线的方程	14
4.2.2 点与直线、直线与直线的关系	14
4.2.3 圆的方程	14
4.2.4 直线与圆、圆与圆的关系	14
4.3 圆锥曲线	14
4.3.1 圆锥曲线的几种定义	14
4.3.2 圆锥曲线的几何特征与极坐标方程	14
4.4 * 参数方程	14
4.4.1 直线的参数方程	14
4.4.2 圆的参数方程	14
4.4.3 圆锥曲线的参数方程	14
4.4.4 摆线的参数方程	14

4.5 * 三维解析几何初步 . . . . .	14
4.5.1 三维空间中的点与直线 . . . . .	14
4.5.2 平面与球 . . . . .	14
4.5.3 其他二次曲线 . . . . .	14
4.6 * 简单线性规划 . . . . .	14
<b>第五章 微积分初步</b>	<b>15</b>
5.1 导数与微分 . . . . .	16
5.1.1 导数的定义 . . . . .	16
5.1.2 导数的几何意义 . . . . .	16
5.1.3 基本初等函数的导数 . . . . .	16
5.1.4 和差积商函数的导数 . . . . .	16
5.1.5 复合函数的导数——链式法则 . . . . .	16
5.1.6 * 反函数的导数 . . . . .	16
5.1.7 * 微分 . . . . .	16
5.1.8 * 利用 Mathematica 计算导函数 . . . . .	16
5.2 * 微分学定理 . . . . .	16
5.2.1 中值定理 . . . . .	16
5.2.2 洛必达法则 . . . . .	16
5.2.3 泰勒展开 . . . . .	16
5.3 * 不定积分及其计算 . . . . .	16
5.3.1 不定积分的定义 . . . . .	16
5.3.2 换元法求不定积分 . . . . .	16
5.3.3 分部积分法求不定积分 . . . . .	16
5.3.4 利用 Mathematica 计算不定积分 . . . . .	16
5.4 * 定积分及其计算 . . . . .	16
5.4.1 定积分的几何意义 . . . . .	16
5.4.2 牛顿莱布尼兹公式求定积分 . . . . .	16
5.4.3 利用 Mathematica 计算定积分 . . . . .	16
5.5 * 多元函数的导数 . . . . .	16
5.5.1 多元函数的偏导数 . . . . .	16
5.5.2 方向导数与梯度 . . . . .	16
5.5.3 雅可比矩阵 . . . . .	16
5.6 * 多重积分及其计算 . . . . .	16
5.6.1 多重积分的定义 . . . . .	16
5.6.2 多重积分转化为多次积分 . . . . .	16
5.6.3 利用雅可比行列式进行换元 . . . . .	16
5.7 * 矢量微积分与场论初步 . . . . .	16
5.7.1 矢量函数的微分 . . . . .	16
5.7.2 标量场与矢量场 . . . . .	16
5.7.3 梯度场、散度场与旋度场 . . . . .	16
5.7.4 斯托克斯公式与高斯公式 . . . . .	16
5.8 * 微分方程 . . . . .	16
5.8.1 微分方程的分类 . . . . .	16
5.8.2 分离变量解常微分方程 . . . . .	16

5.8.3 一阶非齐次微分方程的通解 . . . . .	16
5.8.4 二阶及高阶常系数微分方程的解 . . . . .	16
5.8.5 级数法解常微分方程 . . . . .	16
5.8.6 分离变量法解偏微分方程 . . . . .	16
<b>第六章 概率统计初步</b>	<b>17</b>
6.1 古典概率学 . . . . .	17
6.2 随机变量与分布函数 . . . . .	17
6.3 数理统计 . . . . .	17
<b>第二部分 力学</b>	<b>18</b>
<b>第七章 运动学</b>	<b>19</b>
7.1 参考系与坐标系 . . . . .	19
7.1.1 牛顿绝对时空观 . . . . .	19
7.1.2 参考系与坐标系 . . . . .	19
7.1.3 * 仿射空间与坐标系 . . . . .	19
7.1.4 * 参考系的现代定义 . . . . .	19
7.2 质点运动学 . . . . .	19
7.2.1 质点的速度与加速度 . . . . .	19
7.2.2 直角坐标系 . . . . .	19
7.2.3 自然坐标系 . . . . .	19
7.2.4 * 极坐标系 . . . . .	19
7.2.5 * 三维正交曲面坐标系 . . . . .	19
7.3 简单运动 . . . . .	19
7.3.1 直线运动 . . . . .	19
7.3.2 抛体运动 . . . . .	19
7.3.3 圆周运动 . . . . .	19
7.4 * 绝对时空下的坐标变换 . . . . .	19
7.4.1 伽利略相对性原理与惯性系 . . . . .	19
7.4.2 伽利略变换 . . . . .	19
7.4.3 速度和加速度的伽利略变换 . . . . .	19
7.4.4 伽利略变换的现代解释与伽利略群 . . . . .	19
7.5 * 质点系运动学 . . . . .	19
7.5.1 约束与自由度 . . . . .	19
7.5.2 质点系运动学 . . . . .	19
7.5.3 刚体的运动描述与 $SO(3)$ 群 . . . . .	19
<b>第八章 牛顿运动定律</b>	<b>20</b>
8.1 运动的解释 . . . . .	20
8.1.1 惯性与牛顿第一定律 . . . . .	20
8.1.2 相互作用 . . . . .	20
8.1.3 牛顿第三定律 . . . . .	20
8.2 牛顿第二定律 . . . . .	20
8.2.1 牛顿决定性原理 . . . . .	20

8.2.2 牛顿方程 . . . . .	20
8.2.3 * 牛顿方程的伽利略协变性 . . . . .	20
8.2.4 * 牛顿方程的现代解释 . . . . .	20
8.3 * 非惯性系下的牛顿定律 . . . . .	20
8.3.1 平动惯性力 . . . . .	20
8.3.2 离心惯性力与切向惯性力 . . . . .	20
8.3.3 科里奥利力与地球自转偏向力 . . . . .	20
8.3.4 非惯性系下的牛顿方程 . . . . .	20
<b>第九章 相互作用</b>	<b>21</b>
9.1 支持力——法向接触力 . . . . .	21
9.2 摩擦力——切向接触力 . . . . .	21
9.2.1 静摩擦力 . . . . .	21
9.2.2 滑动摩擦力 . . . . .	21
9.2.3 * 摩擦学介绍 . . . . .	21
9.3 材料的本构方程 . . . . .	21
9.3.1 轻弹簧的胡克定律 . . . . .	21
9.3.2 * 弹性力学介绍 . . . . .	21
9.3.3 * 流体力学介绍 . . . . .	21
9.4 * 唯象理论与模型的构建 . . . . .	21
9.5 场力——非接触力 . . . . .	21
9.5.1 重力与万有引力 . . . . .	21
9.5.2 静电力 . . . . .	21
9.5.3 流体压强与其微观解释 . . . . .	21
9.5.4 浮力——流体受到引力的统计效应 . . . . .	21
<b>第十章 运动定理与首次积分</b>	<b>22</b>
10.1 质点动力学运动定理 . . . . .	22
10.1.1 能量 . . . . .	22
10.1.2 动量 . . . . .	22
10.1.3 * 角动量 . . . . .	22
10.1.4 运动定理 . . . . .	22
10.2 首次积分 . . . . .	22
10.2.1 运动守恒定律 . . . . .	22
10.2.2 * 首次积分的必要性 . . . . .	22
10.3 * 对称性与守恒律 . . . . .	22
10.3.1 平直时空的对称性 . . . . .	22
10.3.2 诺特定理 . . . . .	22
10.3.3 用对称性解释三大守恒定律 . . . . .	22
<b>第十一章 开普勒运动</b>	<b>23</b>
11.1 牛顿万有引力定律 . . . . .	23
11.2 开普勒定律 . . . . .	23
11.2.1 开普勒定律及其历史背景 . . . . .	23
11.2.2 * 开普勒定律的导出 . . . . .	23
11.3 * 开普勒运动的守恒量 . . . . .	23

11.3.1 能量 . . . . .	23
11.3.2 角动量 . . . . .	23
11.3.3 Laplace-Runge-Lenz 矢量 . . . . .	23
<b>第十二章 振动与波动学</b>	<b>24</b>
12.1 振动 . . . . .	24
12.1.1 简谐振动 . . . . .	24
12.1.2 阻尼振动 . . . . .	24
12.1.3 受迫振动 . . . . .	24
12.1.4 * 多自由度小振动 . . . . .	24
12.1.5 * 小振动一般理论 . . . . .	24
12.1.6 * 振动力学介绍 . . . . .	24
12.2 波动学 . . . . .	24
12.2.1 波的运动学描述 . . . . .	24
12.2.2 波的叠加原理与干涉 . . . . .	24
12.2.3 波的界面行为——反射与折射 . . . . .	24
12.2.4 惠更斯原理与衍射 . . . . .	24
12.2.5 * 波的动力学方程 . . . . .	24
12.2.6 * 波的动力学连续条件解释界面行为 . . . . .	24
12.3 * 声学介绍 . . . . .	24
<b>第十三章 * 质点系动力学</b>	<b>25</b>
13.1 质点系运动定理 . . . . .	25
13.1.1 质心与质心系 . . . . .	25
13.1.2 柯尼希定理 . . . . .	25
13.1.3 动量、角动量运动定理 . . . . .	25
13.2 刚体简单动力学 . . . . .	25
13.2.1 转动惯量与惯量张量 . . . . .	25
13.2.2 刚体的平动 . . . . .	25
13.2.3 刚体的定轴转动 . . . . .	25
13.2.4 刚体的定点转动 . . . . .	25
<b>第十四章 * 分析力学初步</b>	<b>26</b>
14.1 作用量与最小作用量原理 . . . . .	26
14.2 拉格朗日力学 . . . . .	26
14.3 哈密顿力学 . . . . .	26
<b>第三部分 电磁学与光学</b>	<b>27</b>
<b>第十五章 场与场的运动方程</b>	<b>28</b>
15.1 场与电磁场 . . . . .	28
15.2 * 麦克斯韦方程组 . . . . .	28
15.2.1 微分形式与积分形式 . . . . .	28
15.2.2 电荷守恒方程 . . . . .	28
15.2.3 静电场高斯定理 . . . . .	28
15.2.4 静电场环路定理与标势 . . . . .	28

15.2.5 磁场的高斯定理与矢势	28
15.2.6 恒定磁场的安培环路定理	28
15.2.7 麦克斯韦位移电流假设	28
15.3 * 电磁场的对称性	28
15.3.1 洛伦兹协变性	28
15.3.2 规范对称性	28
15.4 * 电磁场的能量和动量	28
15.4.1 能量与能流	28
15.4.2 动量与动量流	28
15.5 电磁实验定律	28
15.5.1 库仑定律	28
15.5.2 毕奥萨法尔定律	28
15.5.3 楞次定律与法拉第电磁感应定律	28
<b>第十六章 电磁相互作用</b>	<b>29</b>
16.1 洛伦兹力	29
16.1.1 电洛伦兹力	29
16.1.2 磁洛伦兹力	29
16.2 安培力	29
16.2.1 安培定律	29
16.2.2 安培力公式	29
<b>第十七章 * 经典电动力学的现代解释</b>	<b>30</b>
17.1 电磁场张量与四维势	30
17.2 四维流和流守恒方程	30
17.3 电磁场的运动方程	30
17.4 洛伦兹力方程的导出	30
<b>第十八章 * 连续介质电动力学</b>	<b>31</b>
18.1 场的边界条件	31
18.2 导体	31
18.3 电介质	31
18.4 磁介质	31
<b>第十九章 电路</b>	<b>32</b>
19.1 电流与电流密度	33
19.1.1 电流强度与电流密度	33
19.1.2 导体的微观模型	33
19.2 电子元器件	33
19.2.1 电源与电动势	33
19.2.2 电阻与欧姆定律	33
19.2.3 电容	33
19.2.4 电感	33
19.3 实验定律	33
19.3.1 电阻定律	33
19.3.2 焦耳定律	33

19.4 直流电路 . . . . .	33
19.4.1 串联与并联 . . . . .	33
19.4.2 直流电桥 . . . . .	33
19.4.3 * 基尔霍夫方程组 . . . . .	33
19.5 * 电路的暂态过程 . . . . .	33
19.5.1 LR、RC 暂态过程 . . . . .	33
19.5.2 LRC 暂态过程 . . . . .	33
19.6 交流电路 . . . . .	33
19.6.1 交流信号 . . . . .	33
19.6.2 * 线性电路与其本征信号 . . . . .	33
19.6.3 * 元件的阻抗和相位差 . . . . .	33
19.6.4 * 交流电路的计算 . . . . .	33
19.6.5 交流电功率与功率因数 . . . . .	33
19.6.6 变压器与三相电 . . . . .	33
19.7 * 电磁波的辐射初步介绍 . . . . .	33
19.8 * 电子学介绍 . . . . .	33
19.8.1 数字信号与模拟信号 . . . . .	33
19.8.2 天线介绍 . . . . .	33
<b>第二十章 * 电磁波的传播</b>	<b>34</b>
20.1 光是特殊频段的电磁波 . . . . .	34
20.1.1 可见光 . . . . .	34
20.1.2 光度学简介 . . . . .	34
20.2 平面电磁波 . . . . .	34
20.2.1 波动方程 . . . . .	34
20.2.2 电磁波的能流 . . . . .	34
20.3 电磁波的界面行为 . . . . .	34
20.3.1 反射定律与折射定律 . . . . .	34
20.3.2 全反射与表面波 . . . . .	34
20.3.3 菲涅尔定律 . . . . .	34
<b>第二十一章 几何光学</b>	<b>35</b>
21.1 光与光线 . . . . .	35
21.2 折射率与费马原理 . . . . .	35
21.2.1 折射率与光程 . . . . .	35
21.2.2 * 费马原理 . . . . .	35
21.2.3 * 用费马原理导出几何光学实验定律 . . . . .	35
21.2.4 * 光线方程 . . . . .	35
21.3 透镜与成像 . . . . .	35
21.3.1 * 成像 . . . . .	35
21.3.2 * 傍轴成像条件 . . . . .	35
21.3.3 * 球面傍轴成像 . . . . .	35
21.3.4 薄透镜成像 . . . . .	35
21.3.5 * 理想光具组理论 . . . . .	35
21.4 光学仪器简介 . . . . .	35



21.4.1 眼睛与眼镜 . . . . .	35
21.4.2 照相机 . . . . .	35
21.4.3 望远镜与显微镜 . . . . .	35
21.4.4 * 放大率、分辨率和像差 . . . . .	35
21.5 * 工程光学介绍 . . . . .	35
<b>第二十二章 波动光学</b>	<b>36</b>
22.1 光的干涉 . . . . .	36
22.1.1 分波面干涉与双缝干涉 . . . . .	36
22.1.2 分振幅干涉——等厚干涉 . . . . .	36
22.1.3 * 分振幅干涉——等倾干涉 . . . . .	36
22.1.4 * 迈克尔逊干涉仪及其应用 . . . . .	36
22.2 光的衍射 . . . . .	36
22.2.1 * 惠更斯原理与基尔霍夫公式 . . . . .	36
22.2.2 一维夫琅禾费衍射 . . . . .	36
22.2.3 * 菲涅尔衍射与菲涅尔透镜 . . . . .	36
22.2.4 * 光栅 . . . . .	36
22.2.5 * 分形光学介绍 . . . . .	36
22.3 * 光的偏振 . . . . .	36
22.3.1 晶体双折射与各向异性 . . . . .	36
22.3.2 单轴晶体中光的传播 . . . . .	36
22.3.3 波片与偏振片 . . . . .	36
22.3.4 圆偏振光与线偏振光 . . . . .	36
22.3.5 偏振光的干涉 . . . . .	36
22.3.6 偏振光的应用 . . . . .	36
22.4 * 量子光学与非线性光学介绍 . . . . .	36
<b>第四部分 热学</b>	<b>37</b>
<b>第二十三章</b>	<b>38</b>
<b>第五部分 近代物理</b>	<b>39</b>
<b>第二十四章 相对论性力学</b>	<b>40</b>
24.1 相对论时空观 . . . . .	40
24.1.1 伽利略时空观的局限性与洛伦兹时空观 . . . . .	40
24.1.2 狭义相对论的基本假设 . . . . .	40
24.1.3 闵可夫斯基时空 . . . . .	40
24.1.4 洛伦兹变换与洛伦兹协变性 . . . . .	40
24.2 相对论性动力学 . . . . .	40
<b>第二十五章 旧量子论</b>	<b>41</b>
25.1 卢瑟福核式结构 . . . . .	41
25.2 玻尔原子模型 . . . . .	41
<b>第二十六章 现代量子力学初步</b>	<b>42</b>

26.1 态与算符 . . . . .	42
26.1.1 量子态、左矢与右矢 . . . . .	42
26.1.2 算符、线性算符、厄米算符 . . . . .	42
26.1.3 希尔伯特空间与正交归一基 . . . . .	42
26.2 态的演化 . . . . .	42
26.2.1 薛定谔方程 . . . . .	42
26.2.2 非相对论量子力学的概率诠释 . . . . .	42
26.2.3 算符与力学量 . . . . .	42
<b>第二十七章 原子核物理初步</b>	<b>43</b>
<b>第六部分 附录</b>	<b>44</b>
<b>第二十八章 数和数系的构造</b>	<b>45</b>
<b>第二十九章 数理逻辑初步</b>	<b>46</b>
<b>第三十章 线性代数初步</b>	<b>47</b>
30.1 线性（向量）空间与线性变换 . . . . .	47
30.2 向量与矩阵 . . . . .	47
30.3 矩阵的行列式 . . . . .	47
<b>第三十一章 古典微分几何初步</b>	<b>48</b>
31.1 曲线论 . . . . .	48
31.2 曲面论 . . . . .	48
<b>第三十二章 变分学初步</b>	<b>49</b>
<b>第三十三章 群论初步</b>	<b>50</b>
<b>第三十四章 数值计算</b>	<b>51</b>
34.1 常用的数值计算软件 . . . . .	51
34.1.1 Mathematica . . . . .	51
34.1.2 Matlab . . . . .	51
34.1.3 Python . . . . .	51
34.2 数值计算方法 . . . . .	51
<b>第三十五章 量纲分析</b>	<b>52</b>

## 前言

这是一本写给中学生的物理讲义。作者认为，学习有两种思维导向。一种是 **how**，另一种是 **why**。

用 **how** 作为思维范式是更贴近生产生活实际的，其往往有显示需求的导向。这种的教学方式往往适合培养出优秀的工程师，他们能明确的知道市场或业内对技术的需求，同时规划出如何（**how**）达到相关指标的途径。而对于另一类，即用 **why** 作为思维范式，他往往更能培养出科学家。面对一个现象，或是一个结论、一个定理，他们首先想的是为什么（**why**）是这样，会不会有更深刻的东西隐藏在背后。现实中，两种思维方式并非泾渭分明，但往往其中的一种思维方式会占据更主要的地位，这也是作者认为理科与工科本质上的区别。

在中学阶段，现实的需求是升学考试的高成绩，以 **how** 为主要范式的教学也变得理所当然。如何得分是教师教学的重点，也是大多数学生学习的重点。但作者关注到，有小部分中学学生，往往会去思考为什么。例如在学习到能量动量的时候，他们往往会问，既然牛顿定律已经能够预测物体未来的各种动力学行为了，为什么还要费尽心力去定义能量和动量呢？这样的问题很深刻，也很有价值，但往往会因为教师希望学生专注于提高分数而被忽视。要解释这样的问题，中学物理的知识是远远不够的，而对于中学生来说，费尽心思去在本科教材中寻找并提炼出答案是不现实的。由此，作者萌生出了写这本书的想法。

中学物理是困难的，也是简单的。其困难往往在于情景的复杂度，但其中的物理内涵是简单的。也就是说知道有哪些定理是简单的，但是如何去应用此是困难的。鉴于市面上已有很多书讲述 **how** 了，本书将只会讲清楚 **what** 和 **why**。同时，由于存在中学教纲的要求，中学物理实际上是“缺胳膊少腿”的。为了解释其中的 **why**，同时保证逻辑的连贯性，作者也加入了很多本科物理的知识。因此作者希望将里面的章节分为两个部分，其中一部分实际上是帮助读者构建中学物理的网络框架，知道具体有哪些定理，他们的知识不会超出中学教纲要求的范围。而对于另一部分，即更深刻的知识，作者将会在小节前或章节前用星号标出。

为了照顾更多的读者，该书的第一部分将先对数学基础进行讲解。同样的，在中学数学教纲之外的将用星号标出。但作者希望即使是星号的数学基础，读者也应当将其学习，只是针对于初中阶段的读者而言，为了减轻压力，可以先略去带星号的数学基础。

这本书适合对物理有兴趣爱好高中学生，或是初升高时需要中学物理整体框架把握的学生。

作者才疏学浅，若书中有误，希望各位同行批评指出。