

物理类专业系列教材

普通物理专题研究

李武钢 编著

物理类专业系列教材

普通物理专题研究

李武钢 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本教材围绕物理专业学生的培养目标,在普通物理的力、热、光、电等学科范畴内,讲授具有一定代表性的理论性拓展、实验探讨和一些应用性的研究内容。

本教材能帮助学生扩展物理视野,获得多维启迪,提高利用普通物理学基本理论知识作进一步的理论拓展和解决实际问题的能力,提升物理素养。

本教材可作为物理专业本科生普通物理后续课程的学习资料,也可供相关专业的研究生教学选用。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

普通物理专题研究/李武钢编著. —北京:清华大学出版社, 2011.8

(物理类专业系列教材)

ISBN 978-7-302-26165-0

I. ①普… II. ①李… III. ①普通物理学—高等学校—教材 IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 136874 号

责任编辑:邹开颜 洪 英

责任校对:王淑云

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印 张:18

字 数:434 千字

版 次:2011 年 8 月第 1 版

印 次:2011 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:32.00 元

产品编号:040943-01

前言

学生通过学习普通物理学基本认识了物理世界，掌握了物理学主要的基本规律，具备了一定的物理思考能力，但由于普通物理学课程理论的严密性和体系的自洽性，学生要突破已形成的思维框架而学会在普通物理学范围内进一步进行理论探索以形成开放性思维以及学会运用普通物理学理论于实际问题以培养创新能力，还需要进行适当的教学转接。对物理学专业的学生开设普通物理专题研究选修课应起到这样的教学转接作用，无论学生将来是继续深造还是从事实际工作，这样做都是很有必要的，因此，我们编著了本教材。本教材围绕物理学专业学生的培养目标，在普通物理的力、热、光、电等学科范畴内，讲授具有一定代表性的理论性拓展、实验探讨和一些应用性的研究内容。与原有范式不同，本教材力求在内容上反映研究思想、方法和手段，体现知识的交叉，体现一定的实验性和应用性，具有理论联系实际的特点。希望本教材能帮助学生扩展物理视野，获得多维的启迪，提高利用普通物理学基本理论知识作进一步的理论拓展和解决实际问题的能力，提升物理素养。同时，也希望学生通过本教材的学习能巩固所学的普通物理学的理论和知识，增强对运用物理学知识于理论研究和实际应用的信心，并在参与讨论和研究的过程中获得一种乐趣。

本教材内容共分为五部分，分别是：力学部分，热力学部分，光学部分，电磁学部分和综合、延伸、应用部分。考虑到原子物理学课程一般在较高年级才安排，故本教材中与原子物理学相关的内容仅有很少量的安排。在具体教材内容的选择上，适合编入本课程的知识很多，本教材只是海中拾贝，以求探珠。整本教材不具有理论系统性，各部分内容相对独立。教师在使用过程中可视情况对教材内容作适当的调整或取舍，对一部分的内容可侧重于某方面的讲述，对教材中的学术疑点，可引导学生讨论探明。

本教材可作为物理学专业本科生普通物理后续课程的学习资料，也可供相关专业的研究生教学选用。

由于编著者学识浅陋，编写时间又很仓促，书中错误难免，恳请同行赐予批评匡正，以期在再版中进一步完善。

编著者

2011年7月

目 录

力学部分

1	质功及质功能原理	1
1.1	质功及质功能原理简介	1
1.1.1	质功的概念	1
1.1.2	质功能原理	2
1.2	关于质功的讨论	3
1.2.1	质功是否是真实功的问题	3
1.2.2	质功的本质问题	4
1.3	质功能原理的应用	4
2	小球与均质自由杆的碰撞	6
2.1	完全弹性碰撞	6
2.2	完全非弹性碰撞	7
2.3	系统动能最小可能值	8
2.4	讨论	8
3	相对运动网络及类基尔霍夫电压定律解法	10
3.1	几个概念	10
3.2	相对运动网络及解法	10
3.3	算例	11
3.3.1	算例 1	11
3.3.2	算例 2	11
3.4	结语	12
4	均质并有对称面的刚体转动惯量的一个定理	13
4.1	定理的提出	13
4.2	定理的证明	13
4.3	算例	15
4.3.1	算例 1	15
4.3.2	算例 2	15
5	由三平行轴惯量求重心的一种方法	18
5.1	理论推导和结果	18
5.2	二值问题及说明	19
5.3	结语	20

6	引入“折合力”的两体力学关系及应用	21
6.1	引入“折合力”的两体力学关系	21
6.1.1	引入“折合力”的动力学关系式	21
6.1.2	引入“折合力”的动量定理表达形式	22
6.1.3	引入“折合力”的动能定理表达形式	22
6.2	算例	22
6.2.1	引入“折合力”的动力学关系式算例	22
6.2.2	引入“折合力”的动能定理关系式算例	23
6.3	结语	24
7	空气阻力因素与最大飞行路径抛射角的关系	25
7.1	基本方程和程序编制	25
7.2	最大飞行路径与抛射角的关系	27
7.2.1	不同阻力系数下的最大飞行路径抛射角	27
7.2.2	不同质量的物体的最大飞行路径抛射角	27
7.3	结语	28
8	天体的旋进与角动量守恒	29
8.1	作用力矩与反作用力矩	29
8.2	非惯性平动参考系中的角动量定理	30
8.3	地-月系统质心参考系中的角动量	31
8.4	天体旋进与角动量守恒	32
8.5	结语	33
9	驻波实验中经常出现的一个错误	34
9.1	立体驻波形成的原因	34
9.2	实验验证	36
9.3	立体驻波的特性分析	36
9.4	立体驻波对实验的影响	37
9.4.1	立体驻波对波长和张力的影响	37
9.4.2	立体驻波对波长和弦线密度关系的影响	38
9.5	对实验改进的几点建议	38
9.6	结语	38
10	几则力学疑难问题的讨论	39
10.1	问题 1	39
10.2	问题 2	40
10.3	问题 3	41
10.4	问题 4	42

热力学部分

11	常用数学工具在热力学关系式证明中的应用	43
11.1	常用数学工具简介	43

11.1.1	多元函数的导数及其全微分	43
11.1.2	多元函数的变量变换	44
11.1.3	复合函数的导数	44
11.2	热力学关系式常用的证明方法	45
11.2.1	系数比较法与全微分求偏导数法	45
11.2.2	循环关系法	45
11.2.3	链式关系法	46
11.2.4	复合函数求导	46
11.2.5	勒让德变换	47
11.2.6	雅可比行列式	47
11.3	结语	48
12	导出分子平均平动能公式的几种方法	49
12.1	由压强公式和理想气体状态方程导出	49
12.2	由麦克斯韦速率分布律导出	49
12.3	由能量按自由度均分定理导出	50
12.4	根据分子碰撞服从的力学(经典)规律运用统计概念导出	50
12.5	根据热平衡和力学平衡的概念,并运用压强公式导出	51
13	对气体等温气压公式的修正	53
13.1	气体多方平衡过程的气压公式的推导	53
13.2	数值计算结果和讨论	54
13.3	结语	56
14	升华能随温度和压强的变化	57
15	气体中有速率为无穷大的分子吗	59
16	关于热力学第一定律的微观解释	61
16.1	由分子组成的质点组的动能定理	61
16.2	热力学第一定律的微观解释	61
16.3	结语	62
17	关于克劳修斯方法对可逆和不可逆过程(循环)的处理	64
17.1	关于克劳修斯方法所使用的系统和过程	64
17.2	克劳修斯方法对可逆过程的处理	65
17.3	克劳修斯方法对不可逆过程的处理	66
17.4	进一步的论述	67
17.4.1	从有限过程到微变过程	67
17.4.2	关于“净热比较法”与克劳修斯方程的一致性	67
17.4.3	关于熵的另一个导出方法及比较	68
17.4.4	两种方法对绝热过程的处理(克劳修斯方法的一个假设条件)	68
17.4.5	关于克劳修斯方法的实质和意义	68
18	均匀物质热力学关系的两种记忆方法	70
18.1	“魔句”与方图记忆法	70

18.1.1	“魔句”与方图	70
18.1.2	对全微分公式的记忆	70
18.1.3	对偏微商公式的记忆	70
18.1.4	对麦氏关系的记忆	71
18.2	$U-H-F-G$ 图记忆法	71
19	用恒流量热器测定水的比热容	72
19.1	仪器装置	72
19.2	实验原理	73
19.3	实验步骤	73
19.4	数据记录与处理	74
19.4.1	第 1 组数据记录	74
19.4.2	数据处理	74
19.4.3	标准不确定度的计算	74
19.4.4	第 2 组数据记录与处理	76
19.5	结语	76
20	几则热学疑难问题的讨论	77
20.1	问题 1	77
20.2	问题 2	77
20.3	问题 3	78
20.4	问题 4	79

光学部分

21	薄透镜在不同介质中的会聚与发散性质	81
21.1	透镜两侧媒质折射率相同	82
21.1.1	两侧媒质折射率小于透镜折射率	82
21.1.2	两侧媒质折射率大于透镜折射率	82
21.2	透镜两侧媒质折射率不同	82
21.2.1	$\Delta n > 0$, 且 $n > n_2$	82
21.2.2	$\Delta n > 0$, 且 $n < n_2$	82
21.2.3	$\Delta n < 0$, 且 $n > n_2$	83
21.2.4	$\Delta n < 0$, 且 $n < n_2$	83
21.3	结语	83
22	诺莫图法在薄透镜和球面镜成像分析中的应用	84
22.1	诺莫图结构及符号法则	84
22.2	凸透镜及凹面镜成像规律分析	85
22.2.1	凸透镜成像	85
22.2.2	凹面镜成像	86
22.3	凹透镜及凸面镜成像规律分析	86
22.3.1	凹透镜成像	86

22.3.2	凸面镜成像	87
22.4	符号规则的讨论	87
22.5	结语	87
23	二次成像法测定光具组的基点	88
23.1	测量原理及测量方法	88
23.1.1	确定焦点的位置	88
23.1.2	二次成像法测定光具组的焦距	88
23.1.3	确定光具组两主点之间的距离	89
23.1.4	确定光具组主点、节点的位置	89
23.2	测量举例	89
23.3	讨论	90
24	菲涅耳双棱镜干涉实验中距离参数的研究	92
24.1	狭缝与双棱镜的距离	92
24.2	双棱镜与测微目镜的距离	93
24.3	干涉条纹间距和条纹数目	94
24.4	实验结果	94
25	正确理解半波损失	96
25.1	问题的提出	96
25.2	正确理解半波损失的产生	96
25.2.1	光波在介质界面上反射时半波损失的产生	97
25.2.2	薄膜干涉中半波损失的产生	98
25.3	结语	98
26	夫琅禾费衍射光强的两种计算方法	99
26.1	单缝衍射	99
26.1.1	用菲涅耳积分法计算光强	99
26.1.2	用振幅矢图解法计算光强	100
26.1.3	两种方法的比较	101
26.2	光栅衍射	101
26.2.1	用积分法计算光栅衍射光强	101
26.2.2	用振幅矢图解法计算光栅衍射光强	102
26.2.3	两种计算光栅衍射光强方法的比较	103
27	夫琅禾费矩孔衍射的特征及其 MATLAB 模拟	104
27.1	夫琅禾费矩孔衍射	104
27.1.1	夫琅禾费矩孔衍射实验装置	104
27.1.2	夫琅禾费矩孔衍射的衍射场及光强分布	104
27.1.3	夫琅禾费矩孔衍射的特征	105
27.2	夫琅禾费矩孔衍射的 MATLAB 模拟	106
27.2.1	参数的设定	106
27.2.2	程序的编写和调试	107

27.2.3	夫琅禾费矩孔衍射的 MATLAB 模拟结果	107
27.3	结语	109
28	光的干涉和衍射的模拟	110
28.1	双缝干涉模拟	110
28.2	单缝衍射的模拟	112
28.3	光栅衍射的模拟	113
29	用干涉法测原子发光持续时间	115
29.1	干涉实验的方法及结果	115
29.1.1	牛顿环实验的方法和结果	115
29.1.2	劈尖干涉实验方法和结果	116
29.2	用测不准关系得到的理论结果	117
29.3	关于结果的比较和说明	118
30	几则光学疑难问题的讨论	119
30.1	问题 1	119
30.2	问题 2	120
30.3	问题 3	121
30.4	问题 4	121

电 磁 学 部 分

31	电磁学的三个基本结论	123
31.1	“同种电荷(磁极)相斥,异种电荷(磁极)相吸”	123
31.2	“电流同向相吸,异向相斥”	124
31.3	“导体越长,对电流的阻碍越大”	124
32	通电导体中的净电荷	126
32.1	关于通电导体介面净电荷的一个方程	126
32.1.1	方程的导出	126
32.1.2	方程(32.5)和方程(32.7)的讨论及介面净电荷	127
32.2	电阻率连续变化的通电导体内的净电荷	127
32.3	介面电流和介面电容的设想	128
32.3.1	介面电流	128
32.3.2	介面电容	128
33	几种不同形状导体表面的电荷面密度	129
33.1	无限大导体表面	129
33.2	楔形导体表面	130
33.3	半圆柱形凸起表面	131
34	电阻体电容	133
34.1	电阻端面电容	133
34.2	电阻体分布电容	134
34.3	结语	134
35	梯形电阻网络的研究	135

35.1	梯形电阻网络的特点和入端电阻的计算	135
35.1.1	梯形电阻网络的特点	135
35.1.2	梯形电阻网络的计算	135
35.2	计算机辅助分析梯形网络	136
35.3	结语	139
36	格林函数互易性在电磁学中的应用	140
36.1	格林函数	140
36.1.1	格林函数的公式	140
36.1.2	无界空间的格林函数例	140
36.2	格林函数的互易性	141
36.3	格林函数的互易性在电磁学中应用的例子	141
37	镜像对称性在电磁学中的应用	143
37.1	真矢量和赝矢量	143
37.2	利用安培环路定理求磁场	144
37.2.1	对称性分析	144
37.2.2	作安培环路,用场强表达积分	144
37.2.3	利用安培环路定理求场强	145
37.3	一个综合问题	145
37.3.1	对称性分析	145
37.3.2	做高斯面,利用高斯定理式(37.6)求场强	146
37.3.3	作环路,利用环路定理式(37.7)求场强	146
37.4	关于《费曼物理学讲义》中的一道例题	146
38	最小作用量原理在电学中的应用实例	148
38.1	电阻并联电路中电流的实际分布使电路的耗散功率取极小值	148
38.2	电容器串联电路中电压的实际分布使电路储存能量取极小值	150
38.3	惠斯通电桥电路中电流的实际分布使电路的耗散功率取极小值	150
38.4	导体球电荷量的实际分布使系统的静电能取极小值	153
39	一种准确测量热敏电阻温度特性的方法	155
39.1	测量原理	155
39.1.1	热敏电阻的温度特性	155
39.1.2	内热效应	155
39.1.3	内热模型	156
39.2	测量方法	156
39.2.1	内热效应的测量	156
39.2.2	温度特性的测量和数据处理	156
39.3	结语	157
40	几则电磁学疑难问题的讨论	159
40.1	问题1	159
40.2	问题2	160

40.3	问题 3	161
40.4	问题 4	162

综合、延伸、应用

41	什么是“物理学”——物理学概念之沿革	163
41.1	物理学概念的西方源起	163
41.2	中文“物理学”一词的来源	163
41.3	关于“物理学”的一般传统认识	164
41.4	《物理百科全书》关于“物理学”的解释	165
41.5	朝永振一郎关于“物理学”的见解	166
41.6	哥本哈根学派的观点	166
41.7	《未来我们选择怎样的物理学》一文的相关思想	167
41.8	赵凯华先生的观点	167
41.9	启示	168
42	物理模型的构建	169
42.1	量纲分析法	169
42.2	抽象化	169
42.3	类比法	170
42.4	理想化方法	170
42.5	构造法	171
42.6	等效代换法	171
42.7	唯象法	171
42.8	微元法与迭代法	172
43	量纲分析的基本理论及其应用	173
43.1	量纲分析基础	173
43.1.1	基本定理	173
43.1.2	量纲的基本运算规则	174
43.2	量纲分析中的 Π 定理	174
43.3	量纲分析中矢量空间待定系数法的应用	176
43.4	说明	179
44	基于量纲分析的建模研究	180
44.1	量纲分析基础	180
44.1.1	量纲	180
44.1.2	白金汉 Π 定理	181
44.2	相似定律	181
44.3	量纲分析建模	181
45	卢瑟福散射公式的几何证明方法	184
45.1	α 粒子运动的性质	184
45.2	推导过程	184

45.2.1	证法一	184
45.2.2	证法二	186
45.3	结语	186
46	从诺贝尔物理学奖看光学的发展	187
46.1	百年诺贝尔奖光学部分	187
46.2	诺贝尔奖与光学的发展	190
46.3	结语	193
47	机械能守恒定律服从力学相对性原理	194
47.1	问题的提出	194
47.2	机械能守恒定律服从力学相对性原理	194
47.3	对文献[85]的若干商榷意见	196
47.4	结语	197
48	基于同时的相对性对钟慢尺缩效应的再认识	199
48.1	同时的相对性	199
48.2	钟慢效应	199
48.2.1	钟慢效应的物理意义	199
48.2.2	对钟慢效应的再认识	199
48.3	尺缩效应	202
48.3.1	对尺缩效应的再认识	202
48.3.2	列车-隧道问题	202
49	关于连续介质中横波的能量探讨	204
49.1	定性分析	205
49.1.1	质元的受力分析	205
49.1.2	回复力与质元的动能 ΔE_k	205
49.1.3	切向力与弹性势能 ΔE_p	205
49.1.4	质元的机械能	205
49.2	定量分析	206
49.2.1	质元的动能 ΔE_k	206
49.2.2	质元的势能 ΔE_p	206
49.2.3	质元的机械能	207
49.3	结语	207
50	威耳逊对云室的实验研究	208
50.1	威耳逊生平	208
50.2	威耳逊对云室技术的研究	208
50.2.1	对凝结核的初步研究	209
50.2.2	对云室的研究	209
50.2.3	实验装置	210
50.2.4	分析照片径迹,验证康普顿效应	211
50.3	有益的启示	212

51	虚拟投影示波器及其在物理演示实验中的应用	215
51.1	虚拟示波器的功能与使用方法	215
51.2	投影示波器演示物理实验举例	216
51.2.1	演示 L 、 C 交流电压电流的相位差	216
51.2.2	演示李萨如图形	217
51.2.3	演示 LRC 电路的暂态过程	217
52	一种用数字示波器测量液体表面张力系数的实验方法	219
52.1	原理	219
52.2	实验装置	220
52.3	实验内容和方法	220
52.4	实验结果	221
53	从鱼洗到海啸	223
53.1	鱼洗喷水物理机制综述	223
53.2	海啸成因的新发现竟与鱼洗喷水机制如出一辙	225
54	引潮力对月球及人造卫星轨道平面的影响	228
54.1	月球轨道平面的旋进及其原因分析	228
54.2	引潮力矩	229
54.3	计算平均旋进角速度和旋进周期	230
54.4	讨论与说明	231
55	轿车冲撞行人过程的力学分析	232
55.1	人体模型的力学分析	232
55.1.1	前保险杠与下肢的冲撞	232
55.1.2	腿部被冲击后人体转动角速度的大小	232
55.1.3	头部受冲击后人体转动角速度大小	233
55.1.4	人体发生倒立翻转时车速的临界值	233
55.2	讨论	234
55.2.1	人体的影响	234
55.2.2	车体的影响	235
56	力学模型和规律在“哥伦比亚”号失事原因中的运用	236
57	物理学在现代汽车 ABS 上的应用	238
57.1	“防抱制动系统”的力学原理	238
57.1.1	防抱制动系统概述	238
57.1.2	汽车制动的力学原理	238
57.2	“防抱制动系统”的电磁控制原理	240
57.2.1	轮速传感器	240
57.2.2	电磁阀控制器	240
58	高密度信息存储的物理原理	243
58.1	光盘存储的原理	243
58.1.1	只读式光盘(CD-ROM)的工作原理	243

58.1.2	磁光(MO)型光盘的工作原理	244
58.1.3	相变型光盘的工作原理	245
58.2	实现高密度信息存储的途径	245
58.2.1	减小激光聚焦直径的方法	245
58.2.2	近场光学技术的应用	246
58.2.3	超分辨技术	247
58.2.4	超分辨近场结构光盘技术	248
59	空气微粒的阻力系数计算及动力学行为分析	249
59.1	微粒的空气阻力系数的计算	249
59.2	微粒空气阻力系数讨论及动力学行为分析	252
59.2.1	微粒的空气阻力系数	252
59.2.2	空气阻力与速度的关系	252
59.2.3	微粒动力学行为的分析	252
59.3	结语	254
60	一种基于电容传感器的液体密度测量电路的设计	255
60.1	液体密度测量电路原理	255
60.2	各部分工作原理	255
60.2.1	电容传感器检测液体密度原理	255
60.2.2	放大电路	256
60.2.3	A/D 转换电路	256
60.2.4	单片机	257
60.2.5	显示电路	257
60.3	液体密度测量电路	257
60.3.1	硬件电路	257
60.3.2	软件流程设计	257
60.4	测量举例	259
60.4.1	实验装置的校准	259
60.4.2	实验装置的定标	259
60.4.3	测量	259
60.5	结语	260
61	人体在近 0℃ 的温度感知实验模拟及分析	261
61.1	“下雪不冷化雪冷”传统解释的问题	261
61.2	人体在近 0℃ 的温度感知模拟实验	262
61.3	模拟数值比较及分析	263
61.4	“下雪不冷化雪冷”现象形成的机理	264
	参考文献	265
	后记	269

力学部分

1 膺功及膺功能原理

在物理学中功与能是两个极为重要的基本概念,功能原理是解决力学问题的一个重要原理。可是,我们通常会遇到一些实际问题,当用功能原理处理时感到了困难。例如:人从地面向上跃起到尚未离开地面的过程,平动动能增加,但唯一方向向上的外力——地对人的支持力并不做功,作用点没有位移,这一过程如何用功能原理来解决呢?在这个例子中,所增加的平动动能来源于人体除机械能之外的其他形式的能量,人在直腿举臂等过程中体内各部分内力做了功。人体内部内力做功十分复杂,难以直接计算,而地对人的作用力又没有做功,因此,运用功能原理无法计算人体在这一上跃过程所获得的平动动能。但值得注意的是,尽管这种能量转换实质上仅与成对内力作用相联系,不能用外力的真实功来量度,但作为外力的地对人的作用力的存在却是实现这种转换的条件。系统的平动动能可表示为 $E_{k\text{平}} = \frac{1}{2} M v_c^2$, 其中 v_c 是质心速度,由质点组的质心动能定理 $\mathbf{F} = M\mathbf{a}_c$ 得知,质心速度的变化必是由外力的作用引起的,可见人体获得的动能与地对人的作用力有关。这启发了我们,是否可通过外力与系统质心的关系建立起一个新的外力功概念和一个特别的功能关系,由这样的功能关系解决过去一些我们不容易解决的问题呢?

1.1 膺功及膺功能原理简介

美国马萨诸塞大学的彭契那于 1978 年提出膺功概念并建立起膺功能原理。^[1]

1.1.1 膺功的概念

如图 1.1 所示,设有一质量为 m 的物体组,作用在它上面的外力为 $\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2, \mathbf{F}_3, \dots, \mathbf{F}_n$, $\mathbf{F}$ 是外力的矢量和(即外力所成力的主矢)。一般而言,并不规定主矢 $\mathbf{F}$ 必须通过物体组的质心也不规定其作用点必须发生位移。物体组的质心在 xOy 平面上沿一曲线运动,在一段时间内,质心由点 1 沿曲线运动到点 2。由于仅考虑力与质点组平动的关系,我们可以令外力 $\mathbf{F}_1$ 、

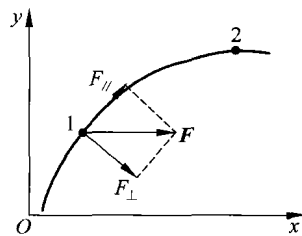


图 1.1

$F_2, F_3, \dots, F_n$ 的主矢 F 通过质心, 且将它分解成切向分量 $F_{//}$ 和法向分量 $F_{\perp}$, $F_{\perp}$ 仅改变速度的方向, $F_{//}$ 仅改变速度的大小。

根据质心运动定理, 它的质心的运动方程为

$$m \frac{d\mathbf{v}_c}{dt} = \mathbf{F} \quad (1.1)$$

式中, $\mathbf{v}_c$ 是它的质心的速度; $\mathbf{F}$ 是它承受的合力。

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 + \dots + \mathbf{F}_n \quad (1.2)$$

当它的质心位移为 $d\mathbf{r}_c$ 时, 以 $d\mathbf{r}_c$ 点乘式(1.1)左端得

$$m \frac{d\mathbf{v}_c}{dt} \cdot d\mathbf{r}_c = m \mathbf{v}_c \cdot d\mathbf{v}_c = d\left(\frac{1}{2}mv_c^2\right) \quad (1.3)$$

另外, 以 $d\mathbf{r}_c$ 点乘式(1.1)右端, 并定义

$$dW_p = \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r}_c \quad (1.4)$$

根据功的定义, 一个力 $\mathbf{F}_i$ 做的功 dW_i 等于 $\mathbf{F}_i$ 与它的作用点位移 $d\mathbf{r}_i$ 的标积, 即

$$dW_i = \mathbf{F}_i \cdot d\mathbf{r}_i \quad (1.5)$$

现在式(1.4)中的 $d\mathbf{r}_c$ 是物质质心的位移, 在一般情况下, 它不等于 $\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2, \mathbf{F}_3, \dots, \mathbf{F}_n$ 的各个作用点的位移。因此, 式(1.4)的数学形式又与功相同, 但所定义的 dW_p 并不是 $\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2, \mathbf{F}_3, \dots, \mathbf{F}_n$ 或者 $\mathbf{F}$ 等所做的功, 所以彭契那把这种作用在物体上的力与物体质心位移的标积叫做赝功(pseudowork)。赝功一般用 W_p 表示, 即 $W_p = \int \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r}_c$ 。

1.1.2 赝功能原理

由式(1.3)和式(1.4)得

$$dW_p = \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r}_c = d\left(\frac{1}{2}mv_c^2\right) \quad (1.6)$$

积分得

$$W_p = \int_1^2 \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r}_c = \frac{1}{2}mv_{c_2}^2 - \frac{1}{2}mv_{c_1}^2 = \Delta\left(\frac{1}{2}mv_c^2\right) \quad (1.7)$$

或

$$W_p = \Delta E_{kc} \quad (1.8)$$

式(1.7)中的 v_{c_2} 和 v_{c_1} 分别是物质质心在位置 2 和位置 1 处的速率, $\Delta\left(\frac{1}{2}mv_c^2\right)$ 或 ΔE_{kc} 是物体组的平动动能增量。彭契那把式(1.6)、式(1.7)或式(1.8)叫做赝功能原理, 其物理意义是力对一个系统做的赝功等于这个系统平动动能的增量。赝功能原理与动能定理对应, 但不包含转动动能项。在上面的推导中, 只用到质心运动定理, 而没有对物体的运动方式、物体的形状和内部是否变化, 以及外力作用点的位移等做过任何规定。因此, 赝功能原理式(1.6)、式(1.7)和式(1.8)均适用于遵守质心运动定理的任何物体。实际上, 赝功能原理对于一切宏观力学现象都具有普适性。

当 $\mathbf{F}$ 的大小不变, 其方向与 $\mathbf{v}_c$ 的方向相同或相反时, 式(1.7)变为

$$W_p = \pm F s_c = \frac{1}{2}mv_{c_2}^2 - \frac{1}{2}mv_{c_1}^2 \quad (1.9)$$

式中, s_c 是系统质心从位置 1 到位置 2 所走过的位移, 当 $\mathbf{F}$ 与 $\mathbf{v}_c$ 同方向时用正号, 反方向时