

HAI DIAN JING DIAN TI YOU HUA JI ETI

海淀高考升学率为 95%
其中最重要的原因是做题，做题，再做题……



海淀 精典题

优化解题

高中理科综合

海淀区特高级教师编写组

人民中国 出版社
中国少年儿童出版社

JINGDIAN TI & YOUHUA JIE.T

海淀精典题 优化解题

理科综合

海淀区特高级老师编写组编

人民中国出版社

中国少年儿童出版社

图书在版编目(CIP)数据

海淀精典题优化解题.高中理科/阚秀敏,李丽英主编;李丽英编著.——北京:人民中国出版社,2001.5

ISBN 7-80065-707-8

I.海… II.①阚…②李…③李… III.理科课—高中—解题 IV.G632.479

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 025676 号

海淀精典题优化解题 高中理科

本书主编:阚秀敏 李丽英

出 版:人民中国 出版社 中国少年儿童出版社

电 话:(010)84551016 64649206

经 销:新华书店

印 刷:北京忠信诚印刷厂

开 本:850×1168 毫米 1/32

字 数:590 千字

印 张:16.75 印张

版 次:2001 年 7 月第一版 2001 年 7 月第二次印刷

书 号:ISBN 7-80065-707-8/G·313

定 价:19.80 元/册 140.40 元/套

版权所有,侵权必究。



物 理

第一部分	力 物体的平衡	(3)
第二部分	直线运动	(13)
第三部分	运动和力	(22)
第四部分	曲线运动 万有引力	(33)
第五部分	功和能	(44)
第六部分	动量	(56)
第七部分	机械振动和机械波	(70)
第八部分	热学部分	(80)
第九部分	电场	(93)
第十部分	恒定电流	(109)
第十一部分	磁场	(123)
第十二部分	电磁感应	(135)
第十三部分	交变电流 电磁振荡和电磁波	(148)
第十四部分	光的传播 光的本性	(156)
第十五部分	原子和原子核	(167)

化 学

第一部分	卤素	(191)
第二部分	摩尔 反应热	(201)
第三部分	硫 硫酸	(210)
第四部分	碱金属	(224)
第五部分	物质结构 元素周期律	(234)
第六部分	氮和磷	(243)
第七部分	硅	(253)
第八部分	镁 铝 铁	(264)
第九部分	烃 烃的衍生物	(277)
第十部分	化学反应速率和化学平衡	(297)



理科综合



第十一部分	电解质溶液	(307)
第十二部分	糖类 蛋白质	(322)

生 物

第一部分	绪论	(353)
第二部分	细胞	(355)
第三部分	生物的新陈代谢	(373)
第四部分	生物的生殖和发育	(393)
第五部分	生命活动的调节	(403)
第六部分	遗传和变异	(410)
第七部分	生命的起源和生物的进化	(449)
第八部分	生物与环境	(456)
第九部分	实验	(470)

理科综合

第一部分	范例详析	(477)
第二部分	范例简析	(502)

2



1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

101

102

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

113

114

115

116

117

118

119

120

121

122

123

124

125

126

127

128

129

130

131

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

154

155

156

157

158

159

160

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182

183

184

185

186

187

188

189

190

191

192

193

194

195

196

197

198

199

200

201

202

203

204

205

206

207

208

209

210

211

212

213

214

215

216

217

218

219

220

221

222

223

224

225

226

227

228

229

230

231

232

233

234

235

236

237

238

239

240

241

242

243

244

245

246

247

248

249

250

251

252

253

254

255

256

257

258

259

260

261

262

263

264

265

266

267

268

269

270

271

272

273

274

275

276

277

278

279

280

281

282

283

284

285

286

287

288

289

290

291

292

293

294

295

296

297

298

299

300

301

302

303

304

305

306

307

308

309

310

311

312

313

314

315

316

317

318

319

320

321

322

323

324

325

326

327

328

329

330

331

332

333

334

335

336

337

物 理



第一部分 力 物体的平衡



一、选择题

1. 如图 1—1 甲所示, 物体受到与水平方向成 30° 角的拉力 F 作用向左做匀速直线运动, 则物体受到的拉力 F 与地面对物体的摩擦力的合力的方向是
- A. 向上偏左 B. 向上偏右
C. 竖直向上 D. 竖直向下

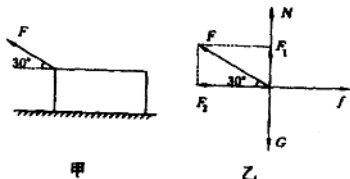


图 1—1

答案与题解 C. 物体受力分解见 1—1 乙图所示, F 分解为 F_1 、 F_2 两个分力, 因为物体做匀速直线运动, F_2 分力与 f 大小相等, 方向相反, 所以 F_1 分力即为 F 与 f 的合力, 即方向竖直向上, 选项 C 正确。

2. 如图 1—2 所示, 在半径为 R 的光滑半球面上高 h 处悬挂一定滑轮, 重力为 G 的小球用绕过滑轮的绳子被站在地面上的人拉住, 人拉动绳子, 在与球面相切的某点缓缓运动到接近顶点的过程中, 试分析小球对半球的压力 N 和绳子拉力 F 如何变化。
- A. N 不变 F 减小
B. N 先减小后增大 F 不变
C. N 增大 F 增大
D. N 不变 F 增大

答案与题解 A 受一般动平衡问题思维定势的影响, 往往以为小球在移动过程中对半球的压力无定值。其实只要对小球进行受力分析, 并将重力 G 沿绳子和垂直球面方

向分解得出平行四边形, 不难看出由 G 、 F 、 N 构成的力三角形和由 L 、 R 、 h 构成的几何三角形相似, 从而 $\frac{N}{G} =$

$\frac{R}{R+h}$, $\frac{F}{G} = \frac{L}{R+h}$, 由于在拉动过程中, R 、 h 不变, 绳长 L 在减小, 可见 $N = \frac{R}{R+h}G$ 大小不变, 绳子的拉力 $F = \frac{L}{R+h}$ 在减小.

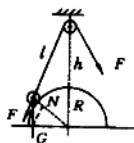


图 1—2

3. 如图 1—3 所示, 物体 A 与 B 相对静止, 共同沿斜面匀速下滑, 则:

- A. A 、 B 间无静摩擦力
 B. B 受滑动摩擦力, 大小为 $m_B g \sin \alpha$
 C. B 与斜面间的摩擦系数 $\mu = \tan \alpha$
 D. 斜面受 B 施加的滑动摩擦力作用、方向沿斜面向下

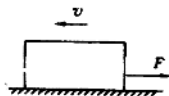


图 1—3

答案与题解 C、D. 分析 A 受竖直向下的重力、垂直斜面向上的支持力, 并且还匀速向下运动, 处于平衡状态, 所以一定受 B 对 A 的沿斜面向上的静摩擦力, 故 A 选项错. 应用整体法, B 受沿斜面向上的滑动摩擦力其大小为 $(m_A + m_B) g \sin \alpha$, 故 B 错. 又因为 $(m_A + m_B) g \sin \alpha = f = \mu N = \mu (m_A + m_B) g \cos \alpha$, 所以 $\mu = \tan \alpha$, 故 C 正确. B 对斜面的摩擦力沿斜面向下, 故 D 正确.

4. 如图 1—4 所示, 物体 A 、 B 用细绳连接后跨过滑轮. A 静止在倾角为 45° 的斜面上, B 悬挂着. 已知质量 $m_A = 2m_B$ 不计滑轮摩擦, 现将斜面倾角由 45° 增大到 50° , 但物体仍保持静止, 那么下列说法中正确的是

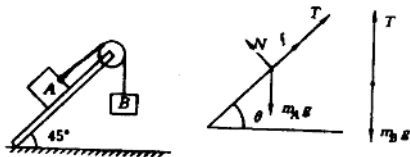


图 1—4

- A. 绳子的张力将增大
 B. 物体 A 对斜面的压力将减少
 C. 绳子的张力及 A 受到的静摩擦力都不变
 D. 物体 A 受到的静摩擦力将增大



答案与题解 B、D. 物体受力如图所示, 根据 B 物的平衡 $T = m_B g$ 保持不变, 故 A 错误. 根据 A 物平衡: $N = m_A g \cos \theta$, 即 N 随 θ 角增大而减小, 故 B 正确, 因为 $m_A g \sin \theta = m_A g \frac{\sqrt{2}}{2} > T = m_B g = \frac{1}{2} m_A g$ 所以, A 受静摩擦力沿斜面向上, 根据平衡条件, $m_A g \sin \theta = f + T$, 即 f 随 θ 角的增大而增大, 故 C 错, D 正确.

5. 如图 1—5 所示, 在绳下端挂一物体, 用力 F 拉物体使悬线偏离竖直方向的夹角为 α , 且保持平衡, 若保持 α 角不变, 当拉力 F 与水平方向的夹角 β 为多大时, F 有极小值

A. $\beta = 0$

B. $\beta = \frac{\pi}{2}$

C. $\beta = \alpha$

D. $\beta = 2\alpha$

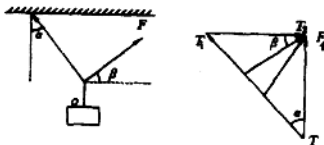


图 1—5

答案与题解 C. 如图, 在节点 O 平衡的条件下, T_1 、 T_2 两条绳的拉力的合力保持不变, 在 T_1 方向不变的条件下, T_2 随 β 角的增大, 先减小后增大, 当 $\beta = \alpha$ 角时, T_2 友最小值, 故 C 选项正确.

6. 如图 1—6 所示, 把重为 20 牛的物体放在倾角为 30° 的粗糙斜面上, 物体通过弹簧固定在斜面上, 若物体与斜面间最大静摩擦力为 12 牛顿, 则弹簧的张力

A. 可为 22 牛顿、沿斜面向上

B. 可为 2 牛顿、沿斜面向上

C. 可为 2 牛顿、沿斜面向下

D. 弹力可能为零

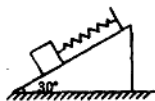


图 1—6

答案与题解 A、B、C、D. 静摩擦力沿斜面向上达到最大则弹力沿斜面向下达到最大 $mg \sin 30^\circ + f = f_m$

$$f = f_m - mg \sin 30^\circ = 12 - 20 \times \frac{1}{2} = 2(\text{N})$$

静摩擦力沿斜面向下达到最大, 弹力沿斜面向上达到最大有

$$mg \sin 30^\circ + f_m = f' \quad f' = 20 \times \frac{1}{2} + 12 = 22(\text{N})$$

故弹力大小介于沿斜面向上的 22 牛与沿斜面向下的 2 牛之间, 故选项 A、B、C、D

均正确。

7. 如图 1—7 所示, 斜面体 B 上放一物体 A , A 的顶部正好水平, 已知 A 恰好沿 B 匀速下滑, 而 B 静止不动, A 的质量为 m , B 的质量为 M 则:

- A. A 对 B 的总作用力的大小为 mg
 B. B 将受地面的静摩擦力, 方向向左
 C. B 对地的正压力为 $Mg + mg \sin \theta \cdot \cos \theta$
 D. 在 A 上加放一重物 (如虚线) B 仍然不动



图 1—7

答案与题解 A、D. 根据 A 处于平衡状态, 所以 B 对 A 的作用力方向竖直向上, 大小为 mg 与 A 对 B 的总作用力是作用力与反作用力, 故选项 A 正确. AB 整体为研究对象, 处于平衡状态, 水平方向在没有外力作用的条件下, B 不受地面的静摩擦力的作用, 故 B 错误, 竖直方向上 B 受地面的支持力大小等于整体的重力 $(M+m)g$, 故 B 对地面的压力为 $(M+m)g$. C 选项错误. 又因为 A 在 B 上匀速运动与 A 的质量无关, 因此, 在 A 上加放物体, A 仍匀速下滑, AB 仍为整体, 静止不动. 故选项 D 正确.

8. 如图 1—8 甲所示, 在水平面上放着 A 、 B 两物体, 质量分别为 M 、 m , 且 $M > m$, 它们与地面的滑动摩擦系数分别为 μ_A 、 μ_B , 用一细线连接 A 、 B , 线与水平方向成 θ 角, 在 A 物体上加一水平力 F , 使它们做匀速直线运动, 则:

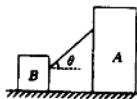


图 1—8 甲

- A. 若 $\mu_A = \mu_B$, F 与 θ 无关
 B. 若 $\mu_A = \mu_B$, θ 越大, F 越大
 C. 若 $\mu_A < \mu_B$, θ 越小, F 越大
 D. 若 $\mu_A > \mu_B$, θ 越大, F 越大

答案与题解 A、C、D. 分别以 A 、 B 为研究对象, 受力分析如图 1—8 乙所示, 根据 A 、 B 物体所处平衡状态及平衡条件:

$$\text{对 } A: F = T \cos \theta + \mu_A \cdot N_A \cdots \cdots ①$$

$$N_A = Mg + T \sin \theta \cdots \cdots ②$$

$$\text{对 } B: T \cos \theta = \mu_B N_B \cdots \cdots ③$$

$$N_B + T \sin \theta = mg \cdots \cdots ④$$

若 $\mu_A = \mu_B = \mu$, 则 $F = \mu_B (mg - T \sin \theta) + \mu_A (Mg + T \sin \theta) = \mu (mg + Mg)$
 即 F 与 θ 无关, 选项 A 正确.

若 $\mu_A < \mu_B$, 则 $F = \mu_B mg + \mu_A Mg - (\mu_B - \mu_A) T \sin \theta$ 故 θ 越小
 $(\mu_B - \mu_A) T \sin \theta$ 越小, F 越大, 选项 C 正确.

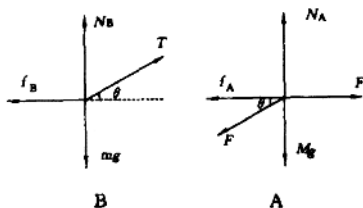


图 1—8 乙

若 $\mu_A > \mu_B$, 则 $F = \mu_B mg + \mu_A Mg + (\mu_A - \mu_B) T \sin \theta$ 故 θ 越大 $(\mu_A - \mu_B) T \sin \theta$ 越小, F 越大, 选项 D 正确。

9. 如图 1—9 所示, 质量分别为 m_1 和 m_2 的两物体用轻绳 ABC 连接, 跨过光滑的定滑轮而处于平衡状态, 下述说法中正确的是

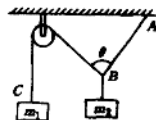


图 1—9

- A. 若使 m_1 增大一点, 在新的位置仍能平衡
- B. 若使 m_1 增大一点, 不会出现新的平衡位置
- C. 若使 m_2 增大一点, 在某一新位置仍能平衡
- D. 若使 m_2 增大一点, 不会出现新的平衡位置

答案与题解 A、C. m_1 增大一点, 绳的拉力增大, B 点上移, 两拉力夹角 θ 增大, 可以保持合力等于 $m_2 g$ 不变, 故 A 正确. m_2 增大一点, 绳的拉力不变, B 点下移, 两拉力夹角 θ 减小, 两拉力的合力增大, 当 θ 减小到某值时, 两拉力的合力增大到变化后的 $m_2 g$, 重新平衡, 故选项 C 正确。

10. 如图 1—10 所示, 两木块的质量分别为 m_1 和 m_2 , 两轻质弹簧的劲度系数分别为 k_1 和 k_2 , 上面木块压在上面的弹簧上 (但不栓结), 整个系统处于平衡状态. 现缓慢向上提上面的木块, 直到它刚离开上面弹簧. 在这过程中下面木块移动的距离为

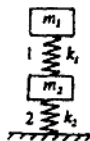


图 1—10

- A. mg/k_1 ; B. $m_2 g/k_1$;
- C. $m_1 g/k_2$; D. $m_2 g/k_2$.

解析 1 利用共点力平衡条件解题

题述系统处于平衡状态, 故能用平面共点力平衡条件解题. 对图示情境, 设弹簧 1 和 2 被压缩的长度分别为 x_1 和 x_2 ; m_1 刚离开弹簧 1 时弹簧 2 被压缩的长度为 x'_2 . 由平面共点力的平衡条件得



$$\text{对 } m_2: (m_1 + m_2)g - k_2 x_2 = 0 \quad \text{①}$$

$$m_2 g - k_2 x'_2 = 0 \quad \text{②}$$

$$\text{对 } m_1: m_1 g - k_1 x_1 = 0 \quad \text{③}$$

联解①和②得 m_2 向上移动的距离为

$$\Delta x_2 = x_2 - x'_2 = m_1 g / k_2. \text{ 正确答案为 C.}$$

解析 2 利用弹簧的对称性解题

弹簧是典型的具有对称性的力学器件：设用力将弹簧压缩的长度为 x 。若突然撤去力 F ，弹簧将伸长，比原长伸长量也为 x ；若缓慢撤去力 F ，弹簧将伸长，直到恢复原长，伸长量（从被压缩 x 长度计起）也是 x ，利用弹簧的对称性巧解本题，别开洞天，异常简捷，解法如下：

先将弹簧 2 和 m_2 叠放在水平面上。设将弹簧 1 和 m_1 放在 m_2 上面后，弹簧 2 受向下压力 $F = m_1 g$ 作用被压缩的长度为 Δx_2 。现缓慢上提 m_1 ，直到它刚离开弹簧 1，此时弹簧 2 上升的距离必为 Δx_2 ，正是由于把弹簧 1 和 m_1 放在 m_2 上面后才使弹簧 2 被压缩了 Δx_2 的长度，这跟直接将 m_1 放在弹簧 2 上面将其压缩 Δx_2 之长度，作用是相同的。由等效原理可得， $m_1 g = k_2 \Delta x_2$ ，成立， $\Delta x_2 = m_1 g / k_2$ 。正确答案应选 C。

二、填空题：

11. 如图 1—11 甲所示，质量为 m 的均匀细杆 AB 静止在光滑的半球形容器中，设杆与水平方向的夹角为 α ，则在 A 点给杆的支持力大小为 _____，容器上 C 点给杆的支持力大小为 _____。

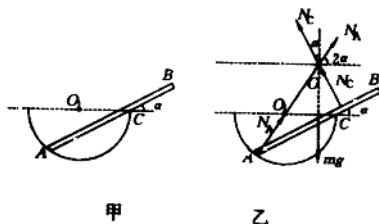


图 1—11

答案与题解 细杆 AB 受力分析如图 1—11 乙所示， N_A 、 N_C 及重力 mg 的作用线的延长线交于 O 点，根据平衡条件有

$$N_A \cos 2\alpha = N_C \sin \alpha \quad \dots\dots \text{①}$$

$$N_A \sin 2\alpha + N_C \cos \alpha = mg \quad \dots\dots \text{②}$$

①②联立解得 $N_A = mg \tan \alpha$ ， $N_C = mg \cdot \frac{\cos 2\alpha}{\cos \alpha}$



注：这里应用了互成角度的几个力作用下物体平衡，这几个力必共点的原理。同时在弹力方向的确定上即 N_A 过半圆心 O ，垂直于过 A 点的切线， N_C 垂直于细杆 AB ，进而分析角度关系。

12. 如图 1—12 所示，在倾角 $\theta = 30^\circ$ 的粗糙斜面上放一物体，重力为 G ，现在用与斜面底边平行的力 $F = G/2$ 推物体，物体恰能斜向下匀速直线运动，则物体与斜面之间的滑动摩擦系数 $\mu = \underline{\hspace{2cm}}$ 。



图 1—12

答案与题解 物体所受重力沿斜面向下的分力为 $G\sin 30^\circ$ 与外力 F 的合力

$$F_{\text{合}} = \sqrt{(G\sin 30^\circ)^2 + F^2} = \sqrt{\left(\frac{G}{2}\right)^2 + \left(\frac{G}{2}\right)^2} = \frac{\sqrt{2}}{2}G.$$

又物体在斜面上匀速运动，故滑动摩擦力

$$f = F_{\text{合}} = \frac{\sqrt{2}}{2}G, \text{ 而 } f = \mu N = \mu G\cos 30^\circ$$

$$\mu G \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{\sqrt{2}}{2}G \quad \mu = \frac{\sqrt{6}}{3}$$

13. 如图 1—13 所示， A 物体的质量 $m_1 = 4$ 千克， B 物体 $m_2 = 8$ 千克，各接触面间的摩擦系数均为 $\mu = 0.25$ ，现用水平向右的力拉 B 匀速运动，此时拉力 F 应为 牛顿。（ g 取 10 牛顿/千克）

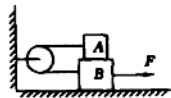


图 1—13

答案与题解 受力分析见图：

$$f = \mu N = \mu m_1 g$$

$$= 0.25 \times 4 \times 10 = 10 \text{ (N)}$$

f 和 f' 是作用力与反作用力，大小相等。

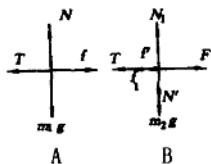
$f = T$ 是平衡力

$$f_1 = \mu N_1 = \mu (m_1 + m_2) g$$

$$= 0.25 \times (4 + 8) \times 10 = 30 \text{ (N)}$$

$$\text{所以 } F = f_1 + f' + T = 30 + 10 + 10 = 50 \text{ (N)}$$

14. 如图 1—14 (a)，物体 A 重 40 牛顿，物体 B 重 20 牛顿， B 用水平绳 OC 系住， A 与 B 、 A 与地面的摩擦系数相同，若用 32 牛顿水平力 F_1 拉 A 时恰能将 A 拉出，那么当绳与水平方向夹角 $\theta = 30^\circ$ 时，要用倾角 $\theta = 30^\circ$ 的拉力 F_2 将 A 拉出，如图 1—14 (b)，则 F_2 的大小至少应为 牛顿。



受力分析图

答案与题解 当 $F_1 = 32$ 牛顿水平拉出 A 时





$$F_1 = \mu m_B g + \mu (m_A g + m_B g)$$

$$\text{得: } \mu = \frac{F}{2m_B g + m_A g} = \frac{32}{2 \times 20 + 40} = 0.4$$

在第二种情况下, 分别以 A、B 为研究对象

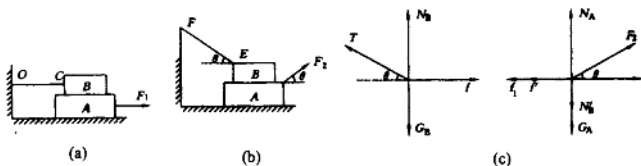


图 1—14

分析受力如图 1—14 (c) 所示, 根据平衡条件

$$\text{对 B 有: } T \sin \theta + N_B = G_B \quad \dots\dots ①$$

$$T \cos \theta = \mu N_B \quad \dots\dots ②$$

$$\text{对 A 有: } N_A + F_2 \sin \theta = N_B' + G_A \quad \dots\dots ③$$

$$F_2 \cos \theta = \mu N_B + \mu N_A \quad \dots\dots ④$$

①②方程联立:

$$N_B = \frac{G_B}{\mu \tan \theta + 1} = \frac{20}{0.4 \times \frac{\sqrt{3}}{3} + 1} = 16.3 \text{ (N)}$$

$$\text{③④方程联立: } F_2 = \frac{\mu N_B + \mu (G_A + N_B')}{\cos \theta + \mu \sin \theta} = 27.1 \text{ (N)}$$

三、计算题:

15. 如图 1—15 甲所示, 重为 G 的均匀链条, 两端用等长的轻绳连接, 挂在等高的地方, 绳与水平方向成 θ 角, 试求:

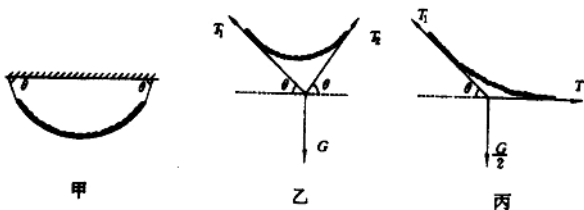


图 1—15





- (1) 绳子张力; (2) 链条最低点的张力

答案与题解 (1) 以链条整体为研究对象, 受力分析

如图 1—15 乙所示, 根据平衡条件 $T_1 \cos \theta = T_2 \cos \theta$, 即 $T_1 = T_2$

$$T_1 \sin \theta + T_2 \sin \theta = G, \text{ 即 } T_1 = T_2 = \frac{G}{2 \sin \theta}$$

(2) 以左半边为研究对象, 受力分析如图 1—15 丙所示

根据平衡条件有: $T = T_1 \cos \theta$

$$G/2 = T_1 \sin \theta$$

$$\text{①②联立得: } T = \frac{G}{2} \cot \theta$$

16. 如图 1—16 所示, 一正方形小铁块沿与水平方向成 $\theta = 30^\circ$ 角的直角三角铁刚好匀速下滑, 则此时铁块与角铁间的滑动摩擦系数应为多少?

(角铁两角与水平夹角 $\alpha = 45^\circ$)

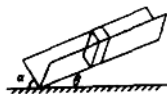


图 1—16

答案与题解 重力沿斜面向下的分力 $G \sin 30^\circ$ 与角铁两面对它的滑动摩擦力相平衡, 即 $G \sin 30^\circ = 2\mu N$, 而重力对两

面的压力 $N = G \cos 30^\circ \cdot \cos 45^\circ$ 所以有 $G \sin 30^\circ = 2\mu G \cos 30^\circ \cdot \cos 45^\circ$ 得 $\mu = \frac{\sqrt{6}}{6} = 0.41$

17. 木箱重为 G , 与地面摩擦系数为 μ , 用斜向上的力 F 拉木箱使之沿水平地面匀速前进, 如图 1—17 甲所示, 问角 α 为何值时拉力 F 最小? 这个最小值为多大?

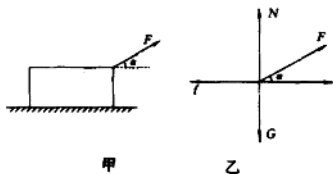


图 1—17

答案与题解 对木箱进行受力分析如图 1—22 乙所示物体做匀速直线运动中平衡条件有:

$$F \cos \alpha = \mu N \quad \dots\dots \text{①}$$

$$N + F \sin \alpha = G \quad \dots\dots \text{②}$$



①②联立得 $F\cos\alpha + \mu F\sin\alpha = \mu G$

$$F = \frac{\mu G}{\mu\sin\alpha + \cos\alpha}$$

令 $\mu = \operatorname{tg}\varphi$ 代入

$$F = \frac{\operatorname{tg}\varphi G}{\operatorname{tg}\varphi\sin\alpha + \cos\alpha} = \frac{\sin\varphi G}{\cos(\varphi - \alpha)}$$

当 $\alpha = \varphi = \arctan\mu$ 时, F 有最小值

$$F_{\min} = G\sin\varphi = \frac{\mu}{\sqrt{1+\mu^2}} \cdot G \quad (\text{N})$$

