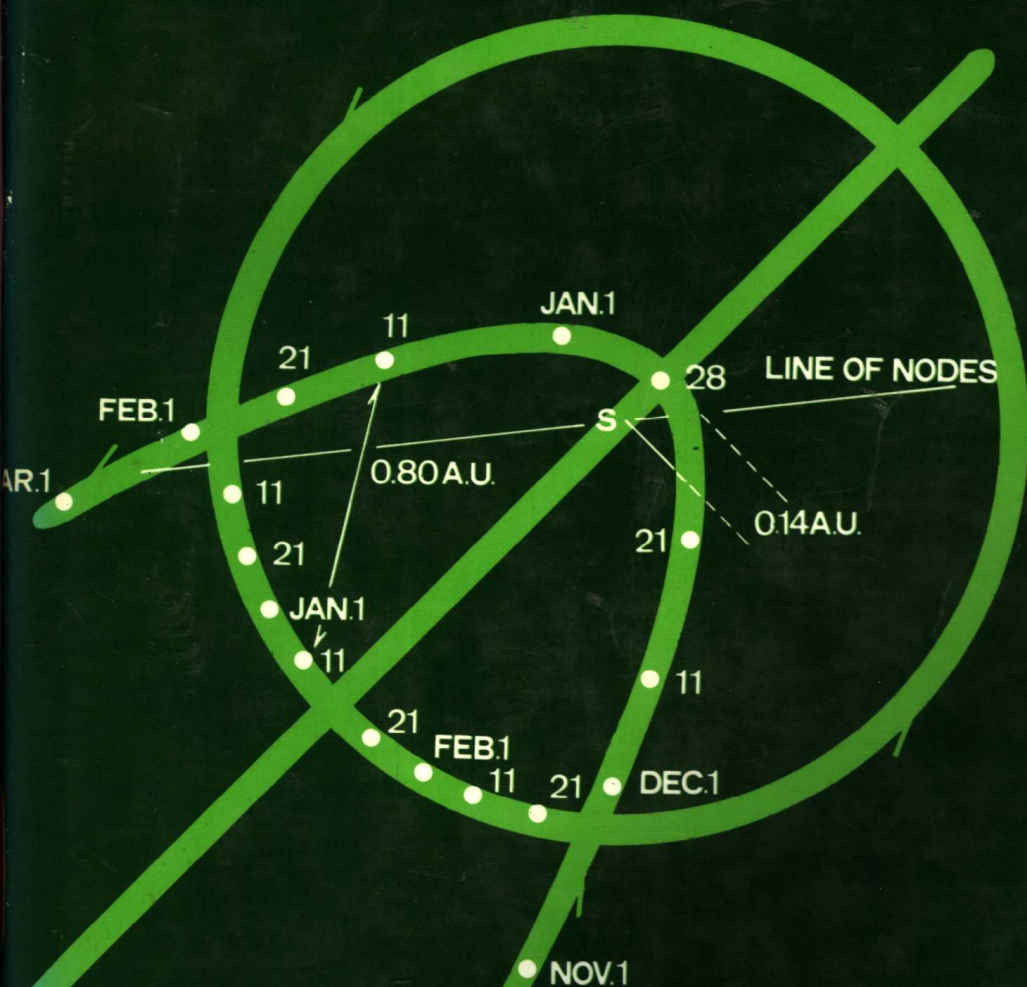


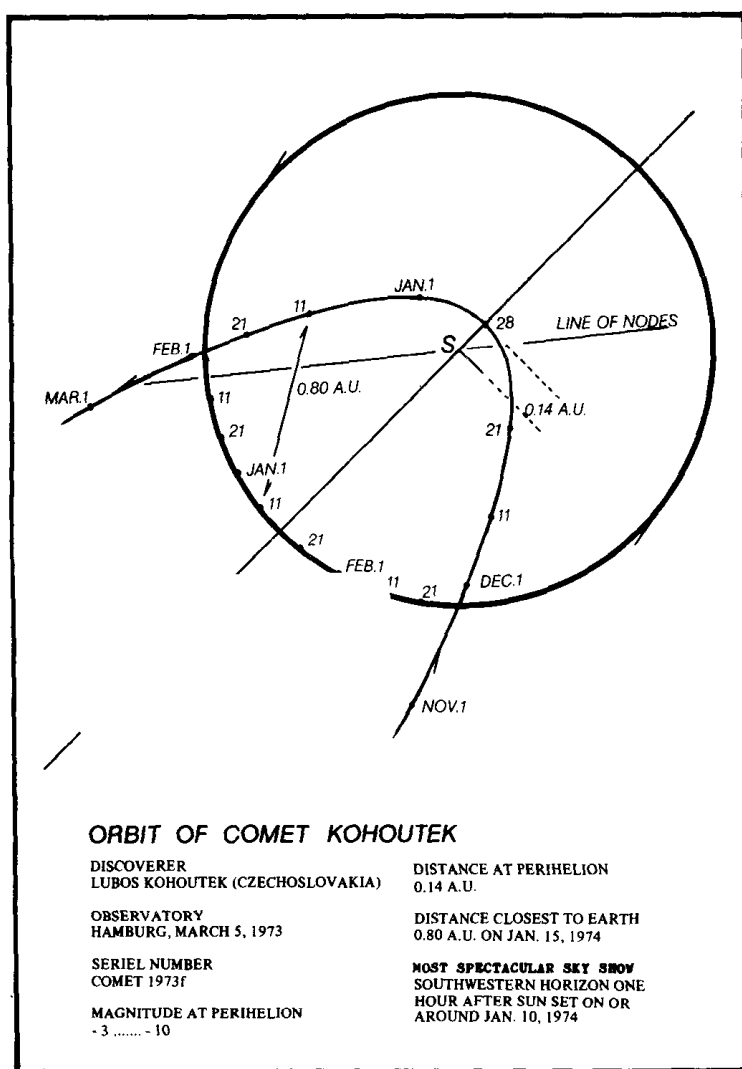
力學基礎

李海博士著 商務印書館



力學基礎

李海博士著



商務印書館

力 學 基 礎

著 者 —— 李 海博士

出版者 —— 商務印書館香港分館
香港皇后大道中35號

印刷者 —— 商務印書館香港印刷廠
香港九龍炮仗街75號

版 次 —— 1979年8月初版

© 1979 商務印書館香港分館
版權所有 不得翻印

1 序 言

力學不但是物理學的傳統科目，而且是物理學的基礎，其重要性是無須加以着重指出的。近三十年來，由於自然科學的長足進展，因此在一般大學四年課程中，須要一再加強關於現代科學的基礎課程。其無可避免的後果之一即力學、物性學、光學、熱力學等一些傳統物理學課程的一再受到不同程度的壓縮，而其中往往以力學課程所受到的壓縮為最突出。另一方面，在大學一年級的普通物理課程中，其力學部分往往在相當程度上尚保留其傳統的複習性質。這實在是一項浪費。因此，近年以來，普通物理學中的力學部分，其內容範圍雖然基本上仍維持不變，但在結構上，却有逐漸發展成為理論力學基礎課程的趨勢。這一方面減免了一些重複，另方面則為進一步研究理論力學乃至其他的物理科目打下了比較堅實的基礎。然而適合於這樣的課程的中文教科書，却很少見。本書的寫作即在於填補這一空缺。

如上所述，本書可以用做理論力學的基礎教材或補充讀物。如果採作普通物理學中的力學部分的教材，則約需六十節每節五十分鐘的講授時間，依班次的水平和學生的總課程負擔而有所增減。

本書主體包括課文及例題和解答兩大部分。課文共分十四章，章又分節，節又分段。圖表和算式的編號以節為單位。凡本章本節圖、式而在本章本節敘文中出現者，其章節編號一概略去。例如：

圖(2) 即本章本節第二圖

式(4) 即本章本節第四式

否則一律注明其章節編號。例如：

圖5.4(1) 即第五章第四節第一圖

式7.3(6) 即第七章第三節第六式

凡同章同節數式並舉者，只以頓號分之。例如：

式(19)、(23) 即本章本節第十九式及第二十三式

式8.4(5)、(8) 即第八章第四節第五式及第八式

凡前章前節圖、式而在本章本節出現者，爲了方便閱讀起見，按本節重予編號。

例題共收五十題。圖、式編號即以題爲單位。凡本題圖、式而在本題敘文中出現者，其題次編號即予略去。例如

式(3) 即本題第三式

否則一律注明其題次編號。例如：

式29(4) 即第二十九題第四式

本書在水平上與一般中學物理課程相銜接，在內容上與一般大學課程的基本要求相符合。但在具體的處理上則較注重內容的邏輯發展及理論結構的建立。因此較接近於應用數學而與一般通行的教科書有着相當明顯的差別。在講授或自修本書時，除了個別的題材之外，一般必須順序而進而不宜整章“跳過”。這是本書的特點之一。在運算技術上本書系統地採用了單位指向矢量的表達方式。在質點運動、轉動座標和球極座標微分運算等各方面都說明這是一個十分方便有力的表達方式。本書的特點之二即在於着重推薦這一方式的採用。希望讀者特別注意。

本書原爲中文大學物理課程而擬。初草於1968年夏。同年冬承王文玉先生着手謄印，於是開始逐章試用，二稿由新亞書院物理系1972屆同學協助抄印，三稿由徐競熙、區浩鏢、伍超文、黃兆榮等先生分抄，四稿經中大物理系辦公室抄印並經林培江先生詳校(至第八章止)，五稿復由系辦公室抄印。最後定稿則是根據五稿增訂而成。前後試用九年，抄改六過，對於各方面所提供的人力物力，以及歷屆同學的耐心試用，筆者謹此致謝。至於舛誤之處，雖經校核，限於心力，實難全免，唯請讀者原諒、指正。

1977年3月

李海

國際單位系統（SI制）——力學部分

單 位	名 稱	符號	導出單位
長度	公尺 meter	m	基本單位
質量	公斤 kilogram	kg	基本單位
時間	秒 second	s	基本單位
平面角	弧度 radian	rad	補充單位
球面角	球面度 steradian	sr	補充單位
力	牛頓 newton	N	mkgs^{-2}
壓力	帕斯卡 pascal	Pa	$\text{Nm}^{-2} = \text{m}^{-1} \text{kgs}^{-2}$
能量	焦耳 joule	J	$\text{Nm} = \text{m}^2 \text{kgs}^{-2}$
面積			m^2
體積			m^3
速率			ms^{-1}
加速率			ms^{-2}
密度			kgm^{-3}
角速率			rads^{-1}
角加速率			rads^{-2}
力矩			Nm

14152-2

項目索引表

I 序 言

II 課 文

第一章 矢 量

1.1	定義.....	3
1.2	矢量的極座標表示法.....	3
1.3	矢量的直角座標表示法.....	4
1.4	單位矢量和單位指向矢量.....	6
1.5	分矢量與合矢量.....	8
1.6	矢量的加法.....	9
1.7	矢量的平行位移.....	11
1.8	餘弦定律.....	12
1.9	矢量相加的多邊形法.....	14
1.10	單位指向矢量.....	16
1.11	矢量的乘積.....	17
1.12	矢量乘積運算的討論.....	20
1.13	語言與文字.....	21
1.14	方向與指向.....	22

第二章 質點運動學

2.1	前言.....	24
-----	---------	----

2.2	質點的位移	25
2.3	質點的速度	26
2.4	質點的加速度	28
2.5	質點平面運動普遍式	29
2.6	質點的路程	31
2.7	軌跡的單位指向矢量	32
2.8	軌跡的曲率、曲率半徑與曲率中心	34
2.9	質點的導向和法向分加速度	36
第三章	質點平面運動分析	
3.1	前言	38
3.2	直綫運動	38
3.3	拋物綫運動	41
3.4	圓周運動	53
3.5	簡諧運動	58
3.6	複諧運動	62
3.7	質點平面運動普遍式的第二型式	63
3.8	參考架與座標系	64
3.9	座標系的選擇	65
3.10	平面運動名詞討論	69
第四章	體系的質心	
4.1	質心的定義	72
4.2	質心的討論	72
4.3	連續體	76
4.4	密度	77
4.5	連續體的質心	78
4.6	例題	81
4.7	帕普氏定理	84
第五章	質點力學	
5.1	力的概念	86

5.2	牛頓三大運動定律.....	86
5.3	質點的動量.....	88
5.4	質點動量的相對性.....	90
5.5	牛頓第二運動定律的絕對性與慣性座標系統.....	92
5.6	質點力學討論.....	93
5.7	力矩.....	95
5.8	合力矩.....	100
5.9	質點的角動量.....	101
5.10	中心力與角動量守恒.....	105
5.11	衝量.....	107
第六章	質點體系力學	
6.1	質心運動.....	109
6.2	質點體系的內力.....	110
6.3	質點體系的總動量.....	111
6.4	質點體系的總角動量.....	112
6.5	軌角動量和自旋角動量.....	113
6.6	力矩與角動量.....	116
第七章	剛體力學	
7.1	前言.....	120
7.2	組態，位形與自由度.....	121
7.3	剛體的動量.....	122
7.4	剛體的角動量.....	123
7.5	軌角動量與自旋角動量.....	127
7.6	剛體的轉軸.....	129
7.7	力的作用點.....	130
7.8	質心運動.....	133
7.9	平面力.....	134
7.10	力偶.....	136
7.11	平行力.....	139

7.12	物體的平面運動.....	140
7.13	合力與合力矩.....	144
7.14	平衡條件.....	145
7.15	諸力的矢量和與合力的討論.....	145
第八章	約束運動	
8.1	距離作用力與接觸力.....	146
8.2	約束力.....	147
8.3	自由體與約束體.....	147
8.4	約束轉動.....	148
8.5	質點的約束轉動.....	159
第九章	轉 動	
9.1	前言.....	163
9.2	質點的轉動慣量與轉動.....	163
9.3	質點體系的轉動慣量與轉動.....	165
9.4	物體（剛體）的轉動慣量與轉動.....	168
9.5	物體轉動的討論.....	173
9.6	轉動座標.....	179
9.7	轉動座標動量轉換式.....	184
9.8	轉動座標角動量轉換式.....	185
9.9	轉動座標力矩轉換式.....	186
第十章	轉動慣量的演算	
10.1	前言.....	187
10.2	轉動慣量演算舉例之一.....	187
10.3	轉動慣量的投影法.....	192
10.4	轉動慣量演算舉例之二.....	192
10.5	平行軸定理.....	194
10.6	轉動慣量演算舉例之三.....	196
10.7	垂直軸定理.....	202
10.8	轉動慣量演算舉例之四.....	204

10.9	垂直軸定理的延伸	208
10.10	轉動慣量演算舉例之五	210
第十一章 牛頓萬有引力定律		
11.1	前言	214
11.2	牛頓萬有引力定律	214
11.3	萬有引力定律演算舉例	216
11.4	星球的運動	224
11.5	重力與重力加速度	227
11.6	物體的重量	228
11.7	在引力作用下的二體運動	230
11.8	圓錐曲綫極座標式的討論	238
11.9	在拒力作用下的二體運動	245
第十二章 功與能		
12.1	前言	255
12.2	功的定義	255
12.3	功的路綫獨立性	256
12.4	功的舉例	257
12.5	外勤	260
12.6	開式體系與閉式體系	261
12.7	做功與受功	261
12.8	動能	265
12.9	勢能	276
12.10	動能與勢能的轉換	283
12.11	引力勢場與引力綫場	285
12.12	勢場與綫場	289
12.13	開式體系的能量	293
12.14	維里定理	297
12.15	維里定理的延伸	300
第十三章 碰撞問題		

13.1	前言.....	301
13.2	典型模式.....	302
13.3	初時條件.....	302
13.4	正撞與斜撞.....	303
13.5	接觸模式的質點碰撞問題.....	305
13.6	接觸模式的球體碰撞問題.....	313
13.7	非接觸模式的碰撞問題.....	327
13.8	關於撞與碰.....	335
第十四章	量綱與單位	
14.1	量綱.....	336
14.2	單位.....	338
III	例題和解答	
第一章	說明.....	343
第二章	例題.....	344
第三章	解答.....	354
IV	中英名詞對照表	449
V	參考資料	465
VI	希臘字母表	469

II 課 文

第一章 矢量

1.1 定義

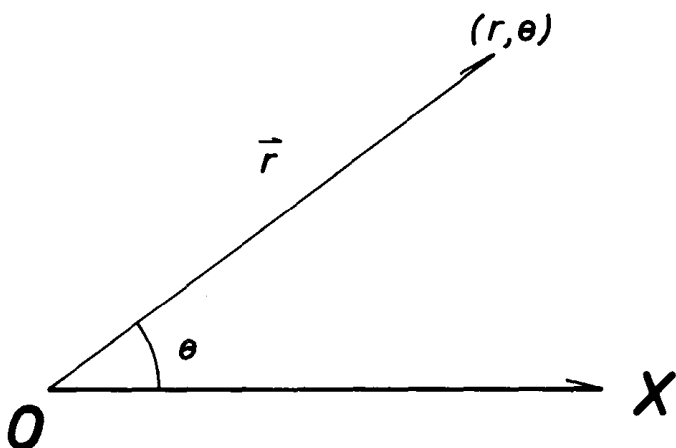
一個只有大小而沒有指向的物理量，稱為標量，例如質量、體積等，通常以拉丁字母表示之，如 m 、 V 等。

一個既有大小又有指向的物理量，稱為矢量，例如速度、作用力等，通常以拉丁字母其上加一箭號表示之，如 $\vec{v}$ 、 $\vec{F}$ 等。

矢量只是一個數學的量，其本身除了大小和指向之外，並不含有其他物理意義。當某一物理量其運算規律符合矢量的運算規律時，即可以矢量表達之。在應用矢量以表達某一物理量時，往往有利於對該物理量進行數學的分析和推導，但其充分的物理意義，則仍必須得自物理學。

1.2 矢量的極座標表示法

試以極座標表示一已知矢量 $\vec{r}$ ，如下頁圖(1)。



圖(1) 以極座標表示矢量 $\vec{r}$ 。

則

$$(1) \quad \vec{r} = (r, \theta)$$

其中 r 為矢量 $\vec{r}$ 的大小，恒為正值，而 θ 為矢量 $\vec{r}$ 的極角，即自極軸起，依逆時針轉向旋轉至 $\vec{r}$ 的夾角。在式(1)中， $\vec{r}$ 為一矢量，而 (r, θ) 所表示者為極座標空間的一點，故嚴格地說二者不能相等。但當 $\vec{r}$ 的起點位於極點時，則 $\vec{r}$ 所標示者即其終點的位置。在這種情形下， $\vec{r}$ 稱為空間一點 (r, θ) 的位矢量； r 稱為其徑位置， θ 則稱為其角位置。

1.3 矢量的直角座標表示法

試以直角座標表示一已知矢量 $\vec{r}$ ，如下頁圖(1)。

則

$$(1) \quad \vec{r} = (x, y)$$

其中 x, y 與 r, θ 之間，存在着下列關係：