

高等学校教学用书

理論力學教程

上 册

A. A. КОСМОДЕМЬЯНСКИЙ 著
鍾 佐 華 等 譯

高等教育出版社

本書係根據蘇俄教育部教育出版社 (Государственное учебно-педагогическое издательство министерства просвещения РСФСР) 出版的莫斯科大學教授柯斯莫節米揚斯基 (А. А. Космодемьянский) 所著的“理論力學教程”(Курс теоретической механики) 1949年版譯出的。原書經蘇聯高等教育部審定為高等師範學校物理——數學系用書。

本書中譯本分上、下兩冊出版。上冊包括運動學及運動力學一部分。

參加本書翻譯工作的為鍾佐華等同志。

理 論 力 學 教 程

上 冊

A. A. 柯 斯 莫 節 米 揚 斯 基 著

鍾 佐 華 等 譯

高 等 教 育 出 版 社 出 版 北 京 城 瑞 廠 170 號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第054號)

天 津 市 第 一 印 刷 廠 印 刷 新 華 書 店 總 經 售

統一書號 13010·264 開本 850×1168 1/16 印張 9 3/16 字數 219,000 印數 6,001—8,500

1955年2月第1版 1957年1月天津第2次印刷 定價(8) 1.10

序 言

通過觀察來建立理論，根據理論來修正觀察，這是求真理的最好方法。

羅蒙諾索夫

本書中所研究的是物質運動的最簡單形式——機械運動。力學裏的運動是物體在空間裏隨時間的經過而作的簡單移動。物理學和化學裏關於運動的更複雜形式的研究，和力學法則是有着密切聯系的。

了解運動各種形式之間相互關係的羅蒙諾索夫早已說過，爲了要研究自然現象，就必須去“向謹慎而聰敏的幾何學請教，和精確而奧妙的力學商量，從具有明察秋毫的光學那裏打聽”。

本書是寫來作爲高等師範學校古典力學這門課程的教科書。

我們不採用把力學課程分爲靜力學、運動學、動力學三部分，並且平均分配授課時數這種傳統的辦法，而採用了分爲運動學和運動力學兩個部分的辦法。這就使我們有可能敘述更多得多的動力學問題，並且把主要的注意力放在這些問題上面。把動力學問題和平衡問題結合起來，就使我們有可能對靜力學的定理做出更清楚而嚴謹的證明。在許多情況下，靜力學問題是被當作運動的特殊情況而提出來的，這從方法論方面來看，無疑地是更爲正確的。著者之所以偏重動力學又是出自這樣一種內心的信念，即現代工程技術的發展主要是和動力學規律的研究相關聯的。即使在像“結構靜力學”這樣的科學裏，現今新研究的重心也是在於結構穩定度的問題，對振動下強度的研究，以及對彈性極限外所作功的研究等等方面。現代工程技術是研究動力學過程的。理論力學是工程技術的科學基礎，因此它必須提供出一些有助於理

解動力學過程的方法。

因為我們考慮了物理學中一些新的部分所提出的要求，所以本書對分析力學給予巨大的注意。也研討了廣義力學方程式及其主要的幾個積分法。關於俄羅斯力學史*的研究，使我們有可能更正確地反映出 M. B. 奧斯特洛格·拉得斯基 (Остроградский) 在分析動力學研究方法的發展當中所起的作用。

本書敘述了可變質量質點動力學的理論基礎。隨着火箭技術的發展，力學的這個部分已成為極需研究的部分了。我們也考慮了中學教師的要求和高等學校學生的興趣，因而敘述了可變質量體力學的奠基者米歇爾斯基和齊奧爾考夫斯基的主導思想。

在此我要向開始有系統地研究力學的高等學校學生們講幾句話。力學是一門研究自然的科學。這門科學在迅速地發展着，在其中建立起來的一些新的部門在擴大着人類的威力。在今天，科學的發展是依靠着巨大的集體的。整個蘇維埃國家在創造着科學。請不要形式主義地和無動於衷地領會本書裏所敘述的東西。要有自己去尋找新東西的精神。對人類的偉大認識能力的信任，以及即便是要作一個小小的新發現也必需的熱衷，都將成為我們在為祖國幸福而進行的勞動活動中的良好伴侶。理智的勞動是和人類心靈的願望分不開的。我願意把偉大的俄國學者和思想家巴甫洛夫寫給青年的名言提一下：“你們要記住，科學要求一個人拿出畢生的力量來。即使你能够活上兩輩子，那對於你還是不夠的。科學要求人具有艱苦的工作精神和深摯的熱情。在你們的工作和研究中拿出自己的熱情來吧。”

先進的蘇維埃科學聯合着年輕的一代和年老的一代科學工作者的努力，它為青年的創造性勞動展開着廣闊的前途，因為它堅

* 參閱“莫斯科大學學術札記”，第122輯，1948年。

決地反對科學中的壟斷家和僧侶。在我國，科學幫助我們根據已經認識了的社會發展經濟法則，自覺地來支配人類的生產關係。

在準備本書付印的過程中，A. M. 波格丹諾夫-且林給了我很多的幫助，他對我的原稿作了許多校訂工作；綜合大學的研究生B. B. 羅贊彩娃幫我作了原稿的技術準備工作。在此我謹向他們表示自己的謝意。

本書原稿曾經蘇聯科學院通訊院士A. C. 普列德沃濟捷列夫教授（物理學）和B. B. 郭魯別夫教授（力學）仔細審閱。二位審閱者所提出的寶貴意見，著者在最後整理原稿時都加以考慮了，這些意見無疑地使本書原稿得到了改善。著者對兩位審閱者的創造性的幫助表示衷心的感謝。

A. 柯斯莫節米揚斯基

1949年8月於莫斯科

名詞對照表

二 畫

力的平行四邊形定律	закон параллело- грамма сил
力的獨立作用定律	закон независимо- сти действия сил
力學系統	механическая сис- тема
力場	эпловое поле
力螺旋	динамический винт

三 畫

子午面	плоскость мери- диана
-----	--------------------------

四 畫

不可入性	непроницаемость
牛頓的機械運動公理	аксиом механичес- кого движения Ньютона

五 畫

主法線	главный нормаль
矢端跡	годограф
可離約束	освобождающая связь
平移運動, 平動	поступательное движение
永久平動	перманентное поступательное движение
平面平行運動	плоско-параллель- ное движение
平衡條件	условие равнове- сия

平衡方程式 уравнение равно-
весия

正則運動 регулярная
процессия

右螺旋定則 правило правого
винта

卡丹諾定理 теорема Кардана

卡丹諾倒運動 обращённое дви-
жение Кардана

六 畫

有心力 центральная сила

有位力場 потенциальное
поле

有公度的 соизмеримые

有限旋轉中心 центр конечного
вращения

回復力 восстанавлива-
ющая сила

西拉庫斯 сиракуз

仲法線 би-нормаль

自然方法 естественный
метод

自然坐標系 система естестве-
ных осей

自轉角 угол собственного
вращения

弛豫時間 время релаксации

七 畫

位差 разность
потенциалов

坐標法	координатный
	метод
完整約束	голо омная связь
抑留約束	уверживающая
	связь
伽利略—牛頓	принцип от оси -
的相對性原	тельности Гали-
理	лея-Ньютона
泊松公式	формула Пуассона
伯努利—查理	теорема Бернулли
士定理	-Шала

八 畫

定位坐標系	система ориенти-
	ровки
拐點	точка перегиба
物質性	вещественность,
	материальное
	свойство
固有振動	собственной коле-
	бание
拉密係數	коэффициенты
	Ламе

九 畫

約束	связь
重力質量	тяжелая масса
保守力場	консервативное
	поле сил
科里奧利定理	теорема Кориолиса
科氏加速度	кориолисово
	ускорение
軌道	траектория
軌跡	геометрическое
	место, траекто-
	рия

十 畫

矩矢	вектор момент
被動力	пассивная сила
原器	оригинал эталона
振動中心	центр колебания
速矢	вектор скорости
真正速度	истинная скорость
徑向速度	радиальная
	скорость
徑掠面積	секториальная
	скорость

十一 畫

基本參考系	основная система
	отсчета
牽連運動	переходное движе-
	ние
章動角	угол нутации
閉合邊	замыкающая
	сторона
密切面	соприкасающаяся
	плоскость
從切面	спрямляющая
	плоскость
動力學	динамика
動瞬心跡	подвижная
	це троила
動軸面	подвижный аксиал
理想約束公設	аксиома идеальных
	связей

十二 畫

無公度的	несоизмеримые
進動角	угол прецессии

等時性	таутохронность	“漸近”法	метод “исчерпания”
等距離曲線	эквидистанционные кривые		
傅科擺	маятник Фуко	複合運動	сложное движение
開普勒	Кеплер	橫向速度	трансверсальная или поперечная скорость
幾何約束	геометрическая связь		шнур узлов
解諧係數	коэффициент расстройки	歐拉角	углы Эйлера
	十 三 畫	歐拉的純轉動	формула Эйлера
零力系	нулевая система сил	公式	для чистого вращения
滑動閾	порога скальжения	歐拉關係式	соотношения Эйлера
滑移矢量	скользящий вектор		
運動學	кинематика	十 六 畫	
運動力學	кинетика	靜力學	статика
運動約束	кинематическая связь	靜止約束	стационарная связь
達朗伯定理	теорема Даламбера	靜瞬心跡	неподвижная центроида
恆爾文定理	теорема Кельвина	靜軸面	неподвижный аксонид
	十 四 畫		
慣性坐標系	инерциальная система	十 八 畫	
慣性質量	инертная масса	轉動偶	пара вращений
廣義坐標	обобщенные координаты	擺動中心	центр качения
廣延性	протяженность	十 九 畫	
		廣矢量	псевдовектор

目 錄

序言

第一編 運動學

第一章 緒論。基本概念。力學發展史簡叙.....	1
§ 1. 理論力學的對象	1
§ 2. 質點和剛體的概念	2
§ 3. 空間和時間的概念	4
§ 4. 力學的主要部分	7
§ 5. 定位系（坐標系）	9
§ 6. 理論力學與工程力學的聯系	10
§ 7. 力學發展史簡述	11
§ 8. 現代理論力學是工程技術的科學基礎	22
第二章 質點運動學	24
§ 1. 質點運動學的基本概念和定義	24
1. 軌道的定義	25
2. 速度的定義	25
3. 速度矢端跡	27
4. 加速度的定義	28
5. “質點運動學”這一章的基本問題	28
§ 2. 研究質點運動的自然方法	29
1. 運動的規律	29
2. 距離和路程	30
3. 速度代數值	30
4. 速度的因次	31
5. 路程的定義	32
§ 3. 用自然方法研究運動時的加速度	33
1. 自然三角	33

2. 加速度矢量的切向分量和法向分量	35
5. 幾種情形	36
4. 勻變速運動的情形	37
§ 4. 距離、路程、速度及加速度的圖線	39
§ 5. 速度的合成定理	42
1. 相對速度、牽連速度和絕對速度的定義	42
2. 幾個運動的情形	44
3. 在平面上和在空間裏的運動情形	44
§ 6. 研究質點運動的坐標法	47
1. 笛氏坐標法	47
2. 坐標法和自然法之間的聯系	50
3. 用笛氏坐標表示的速度	51
4. 用笛氏坐標表示的加速度	53
§ 7. 極坐標法	53
1. 軌道的定義	53
2. 速度的定義	56
§ 8. 球坐標法	57
§ 9. 一般的正交曲線坐標法	59
§ 10. 質點的徑向面積速度	63
第三章 剛體運動學	64
§ 1. 剛體的自由度。運動方程式	65
§ 2. 剛體的平移運動	68
§ 3. 剛體的旋轉運動	71
1. 角速度和角加速度	71
2. 旋轉體所有點的 $\vec{v}$ 矢與 $\vec{\omega}$ 矢的確定	74
3. 勻變速轉動的情形	78
§ 4. 剛體的平面平行運動	81
1. 自由度。運動方程式	81
2. 伯努利—查理士定理。瞬心跡	85
3. 速度的分佈。速度瞬時中心的確定	89
4. 線段端點速度投影定理	91

5. 卡丹諾運動。題	92
6. 研究平面平行運動的分析方法	95
§ 5. 剛體繞固定點的運動	103
1. 自由度。達朗伯定理	103
2. 剛體各點速度的確定	106
3. 剛體各點加速度的確定	109
§ 6. 剛體運動的合成	112
1. 平動的合成	112
2. 兩個繞相交軸的轉動之合成	113
3. 兩個繞平行軸的轉動之合成	114
4. 繞平行而反向的兩軸的兩個轉動的合成	115
5. 特殊情况：轉動偶	117
6. 剛體的螺旋運動	118

第二編 運動力學

第一章 運動力學的基本概念和基本定律	121
1. 運動力學的基本部分	121
2. 力學相互作用。力	121
3. 力的動力學測量和靜力學測量	122
4. 牛頓的運動公理或運動定律	126
5. 力的作用的獨立性定律和力的平行四邊形定律	131
6. 質點的不自由運動。外加的約束	132
7. 質點的力學系統。動力學兩題	133
8. 質點的平衡	134
第二章 自由質點運動力學	135
§ 1. 自由質點的平衡	135
§ 2. 力對於點的矩和對於軸的矩	141
§ 3. 質點的直線運動	145
1. 問題的一般提法	145
2. 作用力 $R = \text{常數}$	148
3. 作用力 R 只與時間 t 有關	149

4. 作用力 R 只與速度有關.....	150
5. 質點在重力及空氣阻力的作用下垂直降落.....	154
§ 4. 振動的最簡單情形.....	153
1. 諧振動.....	158
2. 阻尼振動.....	161
3. 強迫振動.....	167
4. 無阻力情形下的共振現象.....	172
§ 5. 質點的曲線運動.....	173
1. 問題的一般提法.....	173
2. 質點的動量定理和動量矩定理.....	175
3. 質點的動能變化定理.....	183
4. 動能定理.....	189
5. 計算簡單力場中的位的例子.....	195
§ 6. 曲線運動的幾種最簡單的、可積分情形.....	199
1. 重質點在真空中運動.....	199
2. 質點在地心吸力作用下的運動.....	203
第三章 質點的相對運動和平衡	209
§ 1. 質點有複合運動時的加速度.....	209
§ 2. 質點相對運動的動力學方程式 伽利略—牛頓的相對性原理.....	215
§ 3. 落體對鉛垂線的偏斜.....	218
§ 4. 傅科擺。地球旋轉的實驗證明.....	223
§ 5. 質點的相對靜止條件.....	227
第四章 不自由質點運動力學	228
§ 1. 約束的分類.....	228
§ 2. 滑動摩擦的基本定律.....	232
§ 3. 質點沿定曲線的運動方程式.....	235
§ 4. 質點沿曲面的運動方程式.....	240
§ 5. 不自由質點的動能定理.....	244
§ 6. 不自由質點的平衡條件和平衡方程式.....	246

第五章 質點系靜力學和剛體靜力學	243
§ 1. 剛體靜力學的基本問題	243
§ 2. 平行力	251
§ 3. 力偶理論	253
§ 4. 將空間力系化為最簡單的形式	260
§ 5. 剛體的平衡條件和平衡方程式	263
§ 6. 虛位移原理	269
1. 引言	269
2. 虛位移	269
3. 理想約束公設	270
4. 約束加於質點系內質點的虛位移上的條件	273
5. 虛位移原理。拉格朗日的本定理和逆定理	274
6. 質點在曲面上的平衡方程式和平衡條件	276
7. 非自由質點系的平衡方程式和平衡條件	278
8. 自由剛體的平衡條件	281

名詞對照表

第一編 運動學

第一章 緒論

基本概念力學發展史簡叙

誰若不了解運動的規律，他就不能夠認識自然。

Γ. 伽里略

§ 1. 理論力學的對象

理論力學是一門研究物體運動和平衡的規律的科學。我們所觀察到的一切運動都發生在空間和時間之中。空間和時間與運動着的物質是不可分割的，它們是物質存在的客觀現實形式。只有在物質的運動當中，空間和時間才是實際存在的。對於物質來說，運動就是一般的變化。物質如果沒有運動，就是無法捉摸的。物質的宏觀塊體之間的和物質的基本微粒之間的相互作用，表現為各種形式的運動。物質運動的種類是不可勝數的。機械運動是運動的第一個形式，也就是最簡單的形式。在研究機械運動時，只是考查運動着的物質兩個最重要的性質——廣延性（不可入性）和物質性（質量），而關於在運動過程中可能發生的其他一切質變，都不考慮。

關於機械運動現象的研究，必須就它們的原因和結果兩方面來進行。在力學當中，運動的原因就是由於相互作用而從一個物體轉移到另一個物體上面的機械運動本身。我們所觀察到各種物體的不斷變化的運動，一些是作為原因而出現，另一些是作為結果而出現。機械運動從一個物體向另一個物體的轉移，是由機械

運動的損失量（或者增加量）來量度的。力學是研究物質運動的最簡單形式——位移的量變的科學。在這種量變的時候，物體在質方面的主要特徵（例如不可入性、物質性等）保持不變，所改變的只是該物體相對於其他物體的運動的量的方面的特徵。將所觀察到的各種各樣的一切機械運動加以分類，分出最簡單的運動，對其中的每一個運動加以仔細的研究，並把我們計算所得的結果同經驗、人類實踐加以比較，這樣就可以找出那些確當地表示着所研究現象的典型特徵的各個概念的邏輯結構。

可使機械運動的描述達到簡單、明瞭和確當這些要求的概念和定義的體系與無窮小分析的諸概念是密切相關的，因此在理論力學當中，有關量方面的結論主要是用微積分計算得來的。

機械運動乃是空間位置隨時間的經過而發生的簡單變換，這時運動着的物體的質的特徵沒有變化。在力學當中，有一些問題與運動形式的質的變化有關，在這些問題中要研究由最簡單的機械運動這種形式過渡到較複雜的形式（例如，在高速空氣力學和黏性流體力學裏的）的現象，如果在探討這些問題時，只是研究機械運動的量的方面，那是決不能夠獲得令人滿意的結果的。在物質運動的更高級和更複雜的每一種形式（熱、光、電）當中都包含着簡單的機械運動，但是只是用機械運動是不能對它們加以充分的說明的，而且機械運動不能夠代替一切運動形式。總的說來，自然界裏的一切現象都和某種位移相聯系着，因而，在一切現象當中都包含着機械運動這樣一個不可分割的組成部分。因此，研究機械運動乃是科學的第一個任務，它是最簡單的、同時從邏輯上說來又是最自然的。

§ 2. 質點和剛體的概念

在機械運動的定義裏，除了空間和時間的概念之外，還包含

着關於運動主體的概念。在理論力學裏，我們主要地是研究剛體的，即不發生形變的物體的運動。這些物體的不同部分可以具有不同的運動。爲了要了解物體的運動，就需要知道物體的所有組成部分的運動。最簡單的物體就是質點。質點是這樣一種物體，它的體積和那些對於所研究的運動具有最重要意義的空間關係（運動區域的大小）相比起來，是一無窮小量。可否將某一個特定的物體看作一個質點，這要看所研究的運動的特性來決定了。在力學的某些問題裏，可以把體積相當大的物體看作一個質點。例如，可以把繞日運動的地球看作一個質點，這是因爲地球軌道的大小和地球直徑比較起來是非常之大的。在推導量的關係時，我們將始終把質點看做是具有一定質量的幾何點。

任何物體都可以假想是由質點構成的。如果我們研究了一個物體的各個質點的運動，那麼我們就能夠說明這整個物體的運動了。其上任意兩點間的距離在整個運動過程中保持不變的物體，叫作不變系統，或者叫作絕對固體或剛體。剛體不論受到其他物體怎樣的作用，它的幾何形狀都不變。

必須指出，我們在現實生活中所見到的一切物體，在與其他物體相互作用時，都要改變自己的形狀，也就是說發生形變。例如鋼桿，如果將它加以壓縮或拉伸，那麼它就會變形，即變成彎曲的形狀或者橫截面變小了。但是在許多情況下，在機械運動時物體的幾何形狀的變化是非常之微小的，如果去考慮這些變化，那只能使運動的研究不必要地複雜化起來，而對於計算的結果並無重大影響。當我們不考慮運動物體的變形性時，必須注意該物體與其他物體的相互作用條件，因爲這些條件規定着所研究運動的性質。如果運動的條件發生了變化而使物體的變形不能忽視，那麼計算的結果就會跟經驗不相符合，因之在解決這項問題時就必須考慮那些對於所研究的運動有重要影響的形變。

§ 3. 空間和時間的概念

本書所要講述的理論力學，是建立在牛頓運動定律的基礎上的，還在 1687 年，他就在“自然哲學的數學原理”這一著作中總結了這些定律。現代科學把以牛頓定律為基礎的力學，叫做“古典力學”或者“牛頓力學”。在十九世紀末和二十世紀初，牛頓的運動定律，曾經不止一次地遭受批判，同時也建立起來了幾種新的力學體系。愛因斯坦的相對論力學對於高速度（可與光速相比的）物體運動的最新研究起了特別巨大的作用。關於運動本性的新的觀點，在解決原子力學問題上，有着巨大的意義，這些新的觀點擴大了和訂正了古典力學的定律，但是應該指出，相對論裏面的公設，現在還缺乏牛頓力學基本原理所具有的那種簡潔性和明瞭性。

在以牛頓定律為基礎的古典力學裏，空間、時間和運動物質的定義在形式邏輯上是互不相關的，這些定義只是客觀地觀察到的物質運動過程的第一次近似。牛頓力學裏的空間，是歐幾里德幾何學的三度空間。歐幾里德幾何學的基本定義和公理，能夠相當正確地描述物體運動於其中進行的空間的性質。在地球上研究空間幾何性質的實驗證明了，歐幾里德幾何學的公理是完全正確的。歐幾里德空間的度規性質與充填這個空間並在這個空間裏運動的物質是無關的，空間被認為在各個方面都是均勻的，都是各向同性的。

為要在空間裏作測量，必須選定一個長度單位。長度單位的選擇，一般地說來，是任意的，這種選擇可藉公認的標準具來確定。大多數的國家都用米作長度單位，米以下的分度為：分米、厘米、毫米、微米等等。米的標準具乃是一個鉑製的桿，保存在法國的賽佛爾。在這把米尺上靠近兩端的地方，刻着兩條細線，