

重力勘探教程

M. E. 阿别尔斯基

Б. А. 安德列耶夫

著

В. Д. 戈洛姆布

Н. Н. 薩姆索諾夫

地质出版社

重力勘探教程

M. E. 阿別爾斯基 Б. А. 安德列耶夫 著
B. Э. 戈洛姆布 H. H. 薩姆索諾夫

地質勘探技術學校適用

М. Е. Абельский, Б. А. Андреев,
В. Э. Голомб, Н. Н. Самсонов
КУРС ГРАВИРАЗВЕДКИ
ДЛЯ ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ
ТЕХНИКУМОВ
ГОСГЕОЛТЕХИЗДАТ
МОСКВА 1954

本書是苏联四位著名地球物理学家集体写作的。他們在地球物理学方面都有輝煌的成就，М.Е.阿別爾斯基因發明 СН-3 重力儀曾獲得斯大林獎金。書中簡單地敘述了重力勘探的基本理論，詳細地介紹了各種勘探儀器、野外工作及应用重力勘探法解決地質任務的問題。

本書可作為地質勘探學校地球物理探礦專業的教材，也可在研究其他教材時，特別是重力勘探儀器教程時應用。對於欲了解什麼是重力勘探的地質工作者更是一本良好的讀物。

本書由陳培光、吳榮祥、顧燕庭、蔡冬生譯，肖敬湧、張清秀，陳培光校，賀傳聖曾校第三章。

重力勘探教程

著者 М.Е.阿別爾斯基 Б.А.安德列耶夫
В.Э.戈洛姆布 Н.Н.薩姆索諾夫

譯者 陳培光 吳榮祥 顧燕庭 蔡冬生

出版者 地質出版社

北京宣武門外永光寺西街3號

北京市書刊出版業營業許可證出字第050號

發行者 新華書店

印刷者 沈陽市第一印刷廠

沈陽市鐵西區嘉工街北三馬路12號

印數(京) 1—1,400冊 1957年10月北京第1版

開本 31⁸×43⁸ 1/25 1957年10月第1次印刷

字數 305,000字 印張 14¹⁷/₂₆ 插頁 4

定價(10) 1.90元

序

本書是根据地質部地球物理管理总局审定的教学大綱编写的，用作地質-勘探学校地球物理专业学生的重力勘探教程。本書也可以在研究其他課程，特别是重力勘探仪器課程时应用。作者希望本書对野外重力勘探队的工作者、以及欲想了解重力勘探的地質工作者都有所裨益。根据本書的用途只簡短地和一般地叙述了重力勘探的理論，而較詳細地介紹了关于仪器，野外工作及应用重力勘探法解决地質-勘探任务的問題。

緒言，第一章，第七章，第八章和結論，以及第二章 § 13 是 Б. А. 安德列耶夫写的，他並在 12, 14, 21, 24 及 51 諸节中加入了补充。第二章（除 § 13）是 H. H. 薩姆索諾夫写的，第三章、第五章及第六章是 M. E. 阿別爾斯基写的，第九章是 B. Д. 戈洛姆布写的。

作者將感謝讀者對本書的批評，批評請寄列宁格勒 B. O. 21 条街，2 号，列宁格勒矿冶学院石油与天然气产地地球物理勘探法教研室。

緒 論

被应用来解决不同的地質及地質-勘探任务的地球物理勘探法，乃是以研究地球和地壳的構造所引起的物理现象和过程为基础的。

重力勘探法或重力勘探是以研究重力在地球表面上的分佈为基础的。方法的名称起源于拉丁字gravitas，意思就是“重量”。

从物理学大家知道，在接近于地球的空間中运动着的任何物体（例如，隕石）在其作用下都要落向地面的这种力就称为重力或重量，而地球上任何固定物体都要对支持它的支持物施以压力（例如砝碼对天秤盤）所有在地球上的物体都处于两个力的作用下：地球的引力和离心力，离心力由地球的晝夜旋轉所引起，这两个力的合力就叫做重力。

重力在地球表面的分佈决定于地球的形狀及其内部質量的分佈。根据万有引力定律（参閱下面 § 1），靠近質量較重者引力增大，而靠近質量較輕者則引力减小。重力在这种情况下，当区域的各种岩石密度上不同而其产狀有褶皺，断层侵入体等形式的破坏时，这就引起局部变化的存在或所謂異常。

例如，在背斜（其核心由致密的石灰岩組成並被較不致密的沙——粘土質岩石掩盖）上方的地球表面上將出現一重力最大值或正異常。異常的量值决定于升起的幅度及岩石在密度上的差異。在很多情况下这种異常可以用于重力勘探的特殊的仪器来发现，而根据重力勘探的数据可以判断背斜褶皺的存在及位置。我們再看一个例子，假如，在所探测区有一个鹽丘，其核心由岩鹽（密度較小的一种岩石）組成，鹽侵入了較致密岩石（沙、粘土）的岩层中。在这种情况下，在鹽丘上將有一个重力最小值或負異常。用重力測量得到这种異常后，根据已知的区域地質構造的特点可以作出关于鹽丘的存在和位置的結論。最后，在金屬矿体上也可能有重力異常，大部分是正的，因为矿物

密度通常大于其围岩的密度。在異常量值足够时（又决定于金屬矿体的大小，密度及埋藏深度）重力勘探可以用来普查金屬矿床。

在一次重力测量的基础上通常不可能有根据地判断这一个或那一个重力異常的地質原因。为此必須具有关于被探测地区地質構造的資料（根据以前进行的地質测量和普查工作），知道岩石的密度特性，此外，在大多数情况下必須具有借助于其他地球物理勘探方法获得的資料。各种地球物理方法的綜合使用是最有效的，这时为了解决某一总的地質任务按一定順序应用数种方法。同时为了解决某一特殊任务应用在該情况下最有效的方法。

我們再以普查和勘探鹽丘的問題作为例子，为了解决石油地質中具有重大意义的这一任务，重力勘探总是与地震勘探联合使用的。这时重力勘探工作在整个勘测地区进行，而其結果可查明鹽丘的位置与一般的大小，而地震勘探只应用于詳测来查明隆起，确定鹽丘頂部和鞍部及翼部上复层的深度及地形，查明構造破坏等等。各方法的这种綜合通常能以花費最少的費用与時間来解决提在地球物理面前的任务及准备鑽探的面积。

重力勘探是現代解决構造地区問題时綜合地球物理的不可分割的一部分，同时，正如上面所举的例子，重力勘探通常在所探测的地区中首先进行，然后按其資料再分出用其他方法进行較詳細研究的地段。同时重力勘探偶尔也直接用来普查和勘探有益矿产：鉄，硫化矿物，鉻鉄矿，煤，鹽等等。在这些情况下重力勘探也只是普查—勘探地球物理联合中的一部分，但是它在这联合中的地位是和解决構造地質問題时不同的，重力勘探通常用在其他勘探法之后（例如，磁法，电法），而它的用途是在查明其他方法确定出的異常的本質，詳查以前查明的異常地段的地質構造及其他等。

重力勘探在石油地球物理中的比重可以由下面的数字来表示。根据統計材料，大概野外地球物理队及分队的总数的25%是用重力勘探法来工作的。在金屬地球物理中重力勘探的意义也很大。

勘探地球物理总的說来还是一門很年青的科学，这样的地球物理勘探法，例如，反射波地震勘探，剛剛开始了15年，有几种方法还要少些。重力勘探是最“老”方法中的一种。从它系統地用在野外条件下已經30年了，而这一方法的某些試驗性的野外工作远在半世紀以前就进行了。

重力測量学，也就是关于測量重力的一門科学，这些測量的最初的一些方法是很老的。在十八世紀就已出現了重力的振摆測量法。並且，这些測量的最初的一些实际結果曾在大地測量中用来解决关于地球形狀的問題。現代重力法在現代大地測量問題中有着巨大的意义，苏联大地測量学家的工作建立了这一門科学的一个新分枝——大地測量重力学。

談到重力測量发展的最初阶段，不能不回忆起我国的天才科学家M. B. 罗蒙諾索夫的卓越的工作。这些工作与我們所討論的問題有着直接的关系。M. B. 罗蒙諾索夫第一个肯定，“物体的重量是不恒定的，而是不断地在变化着”，亦即，重力和磁力一样是不恒定的，而随時間週期地变化着。为了証明这一推断M. B. 罗蒙諾索夫在XVIII世紀中叶曾創造出第一批重力測量儀器的模型；其中一个他称为“微分气压計”，它是現代靜力气压型重力儀的原型，有一些資料还載有M. B. 罗蒙諾索夫也曾創造了一种儀器（“灵敏秤”），它可以算作現代一些彈簧重力儀的原型，很可惜，沒有保存有关于用这些儀器进行过观测的任何資料，只知道，M. B. 罗蒙諾索夫在許多年內都进行过这种观测並在彼得堡科学院會議上作过关于它們的报告。

在XVIII世紀期間曾創造了一些适于勘探条件的振摆儀，在許多国家里都曾用它們作过振摆重力測量。从XVIII世紀开始在俄羅斯的領土上也进行了振摆測量；这些工作的发起人是著名的俄羅斯航海家Ф. П. 利特克。他測定的第一个振摆点是在堪察加半島上的彼得罗巴甫洛夫斯基，在XVIII世紀下半叶曾发现和部分地探測了莫斯科地区的重力異常，很多俄国的学者都研究过这一異常。莫斯科大学教授

Φ. A. 斯盧茨基 (1841—1897年) 曾作过这一異常的地質解釋的成功
的嘗試。Φ. A. 斯盧茨基可以算是开始探討重力異常地質解釋的問題
的第一个人。

但是由于观测的生产率低和精确度不够, 振摆测量不能保証重力
勘探方法在地質勘探事业中得到广泛的应用。测定一个振摆点需要笨
重的和長時間的操作並需一晝夜時間, 而测定重力異常的誤差超过了
很多地質上有意义的異常的量值。在应用扭秤和重力仪的基础上广泛
应用重力法来勘探已成为可能。

扭秤是一种对于地面上重力变化非常灵敏的仪器。它是XIX世紀
最末时期匈牙利物理学家 罗 蘭·埃 特 渥 斯 发明的。埃特渥斯用自己的
仪器在匈牙利平原上进行了重力测量並对 测 量 結果作了解釋的嘗
試。后来在提高它們的生产率及适合野外条件方面都有过显著改进。
最初的重力勘探就在扭秤测量的基础上发展了。

最近时期用来作相对重力测量的重力仪在重力勘探工作的實踐中
起了主要的作用。重力仪比振摆有利的是生产率无比地高和精确, 这
可以应用它們来解决各式各样的地質勘探任务。在很多情况下重力仪
成功地不但代替了振摆仪, 同时也代替了扭秤; 但是扭秤到目前为
止, 在解决某些地質勘探任务, 特别是在金屬地球物理的領域內还有
着独特的应用。

重力勘探是和勘探地球物理的其他各种方法一样的, 从苏維埃国
家存在的开始几年起, 就在发展了。第一次扭秤测量是1921年П. М.
尼基佛洛維教授在庫爾斯克磁異常区 (KMA) 进行的。根据 В. И.
列宁的倡議这一地区上的地球物理工作远在国内战争时期就开始了。
由于这些工作和以后的鑽进, 在1923年曾发现了一个世界上最大的含
鉄石英矿床, 以后又找到了富集鉄矿。在探測庫爾斯克磁異常, 克里
沃罗格及其他鉄矿时重力法都給出了一些非常宝贵的資料。

在20年代初, 重力法开始应用来普查鹽丘。在苏联用这一方法已
发现和探測了大量的鹽丘, 这在普查石油产地时起了很大的作用。在

索利卡姆斯克鉀鹽矿床区作重力勘探工作时曾获得了宝贵的地質結果。

重力法有过很大的意义並在普查第二巴庫，中亞細亞，高加索及其他地区的其他石油構造时也將繼續有意义。

在探测頓巴斯及其他煤田的地質構造时，用重力勘探曾获得了非常重要的結果。在某些区域应用这一方法来直接分出和圈定含煤层是可能的。

上面已介紹了应用重力勘探来普查鉄矿。后来重力勘探又成功地被用来普查和勘探路鉄矿，黃銅矿及其他矿床。

在建立和发展重力勘探上，苏联的学者作了很大的貢獻：在重力勘探的理論上有П.М.尼基佛洛維，院士О.Ю.施密特，院士Г.А.干布尔采夫等；在勘探仪器方面有H.H.薩姆索諾夫，С.А.波德杜布恩，М.С.莫洛登斯基，А.М.洛津斯卡，Л.В.索罗金等；在拟定应用重力勘探来解决各种地質任务的方法方面有院士А.Д.阿尔汉格爾斯基，П.М.尼基佛罗夫，H.H.薩姆索諾夫，В.В.菲登斯基，Э.Э.佛齐阿季，H.H.米哈伊洛夫，Ю.Н.戈津及其他許多人。

目 录

序

緒論 (Б. А. 安徒列耶夫)

第一章 重力勘探的理論基础 (Б. А. 安徒列耶夫)

§ 1. 万有引力定律.....	1
§ 2. 重力常数的測定.....	2
§ 3. 重力.....	4
§ 4. 場强, 重力位.....	8
§ 5. 水准面, 大地水准面.....	12
§ 6. 重力梯度.....	15
§ 7. 曲率.....	19
§ 8. 位的二次导数的正常值.....	24
§ 9. 重力校正, 重力異常及重力位二次导数異常的測定.....	25

第二章 重力及重力位二次导数的測量法

§ 10. 重力測量方法的分类.....	31
§ 11. 振摆法.....	32
§ 12. 靜力法. 重力仪的分类.....	43
§ 13. 重力位二次导数的測定.....	47

第三章 現代重力仪的主要型式 (М. Е. 阿列尔斯基)

§ 14. CH-3重力仪 (ВИРГ). 構造原理. 平衡方程式.....	51
§ 15. CH-3重力仪的主要部件	54
§ 16. CH-3重力仪的調节	68
§ 17. CH-3重力仪的觀測	79
§ 18. CH-3重力仪觀測結果的整理	83
§ 19. 諾伽重力仪.....	94
§ 20. 諾伽重力仪的觀測和觀測整理.....	102
§ 21. ГКА-НИИГР重力仪	107
§ 22. ГКА重力仪常数的測定	121

§ 23. ГКА重力仪的观测。观测结果的整理	128
§ 24. ГKM-НИИПГ-5重力仪	130
§ 25. 野外工作前重力仪的准备	136

第四章 重力仪测量 (B. Э. 戈洛姆布)

§ 26. 概論	139
§ 27. 基点網	141
§ 28. 普通观测	143
§ 29. 与振摆点連系	147
§ 30. 地形测量工作	149
§ 31. 基点網的平差	155
§ 32. 普通观测的整理工作	167
§ 33. 重力異常的計算	171
§ 34. 重力仪测量的設計与組織	177

第五章 扭秤 (M. E. 阿列尔斯基)

§ 35. 扭轉秤的平衡方程式	181
§ 36. 扭轉秤的振動	184
§ 37. 用光学法求扭轉秤的平衡位置	186
§ 38. 常数的測定	188
§ 39. 測定二次导数的精确度計算二次导数的公式	194
§ 40. 扭秤的概論	201
§ 41. S-20扭秤	204
§ 42. S-20扭秤的基本組合机件	206
§ 43. S-20扭秤的調整	217
§ 44. Z-40扭秤	229
§ 45. Z-40扭秤的調整	235

第六章 扭秤測量 (M. E. 阿列尔斯基)

§ 46. 概論	241
§ 47. 扭秤观测	243
§ 48. 地形测量工作	248
§ 49. 观测的整理	252

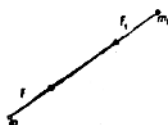
§ 50. 異常的計算和圖示·····	267
§ 51. 扭秤觀測的設計和組織·····	278
第七章 重力異常的地質推斷	
§ 52. 總則·····	281
§ 53. 規則幾何形狀礦體的解釋·····	283
§ 54. 量板·····	299
§ 55. 地方異常和區域異常的劃分·····	301
§ 56. 岩石和礦石的密度·····	309
第八章 進行地區探測, 普查和勘探礦產時重力法的应用 (Б. А. 安德列耶夫)	
§ 57. 構造分區·····	318
§ 58. 普查石油和天然氣產地時的重力勘探工作·····	324
§ 59. 煤田中的重力勘探工作·····	334
§ 60. 礦床的普查與勘探·····	337
結論 (Б. А. 安德列耶夫) ·····	352
參考文獻 ·····	353

第一章 重力勘探的理論基础

§ 1. 万有引力定律

十七世紀末，伊薩克牛頓所发现的万有引力定律是重力勘探的理論基础。这个定律是这样建立的。

如果有两个点質量 m_1 和 m_2 (图 1) 相互間的距离是 r ，則这两个点質量間存在有相互的引力 F ，力的方向沿联結質量中心的直綫並决定于关系式



$$F = k \frac{m m_1}{r^2}, \quad (1)$$

式中的 k ——重力常数，如何确定將于 § 2 中談到。

图 1. 根据牛頓定律質量的相互作用

橫向大小比其間的距离小很多的实际物理体的質量可以足够精确地表示为“点質量”或“質点”。例如，在研究行星和其他天体运动規律的天文学中，在計算行星相互作用时就是利用上面的牛頓定律，因为天体的大小与它們之間的距离相比是极微小的。

力学証明，球形的密度均匀的物体（或由密度均匀的同心层組成的物体）的相互引力表示为如同位于这些物体中心，質量相应的等于各球形体質量的質点的引力是正确的。球形質量中心間任何距离时以上所述都是适合的。

量 m 及 m_1 是絕對質量的值，即由下一关系式来表示：

$$m = v \sigma,$$

$$m_1 = v_1 \sigma_1,$$

式中的 v 及 v_1 ——体积，而 σ 及 σ_1 ——物体位于真空中，即它們周圍介質的密度 σ_0 等于零时的密度。

在重力勘探时所討論的情况中，实际的地質体位于地壳中，亦即在密度不等于零的有重量的介質中。在确定某一个地質体的作用所引起的重力異常值的时候，应將牛頓定律公式中所包含的量 m 及 m_1 了解为吸引体的剩余質量，並由下一关系式来确定它們，

$$\left. \begin{aligned} m &= v(\sigma - \sigma_0), \\ m_1 &= v_1(\sigma_1 - \sigma_0). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

差值 $\sigma - \sigma_0$ 及 $\sigma_1 - \sigma_0$ 称为物体的剩余密度，显然，根据量 σ_0 ，剩余密度可能具有正号或負号。因为在牛頓定律的公式中包含的是剩余質量的乘积，所以在質量符号相同时，量 F 將是正的，即这將是吸引的情形；如果剩余質量的符号相異，則 F 將是負的，而我們看到的將是物体的排斥的情形。

在研究地質体作用于仪器，例如，在图2上所繪彈簧称式的重力仪时，必須考虑到位于空气中的仪器的灵敏元件的剩余質量恆为正，而实际上几乎与它的絕對質量沒有差別。同时作用于仪器的地質体的剩余密度亦即剩余質量可能具有不同的符号（例如，在序言中曾談到过的那些情况）。因此，在 $F > 0$ 的場合中，这些地質体的作用使重力增大，即引起正異常，而在 $F < 0$ 的場合下使重力减小，即产生負異常。

§ 2. 重力常数的測定

現在我們来談談在公式(1)中所包含的重力常数 k 的測定。当确定任何地質体的重力作用时都必須知道它。

首先指出，如果在公式(1)中取 $m = m_1 = 1$ 克和 $r = 1$ 厘米显然， $F = k$ ，並且因为我們是利用CGS制来表示質量和距离的值的，所以力

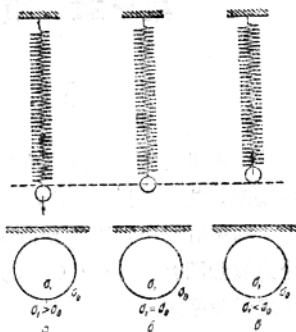


图2. 具有正的和負的剩余密度的物体的重力作用

- a——具有正的剩余密度的物体增大了作用在仪器上的地球引力；
- b——密度与圍岩沒有差別的物体不影响仪器的讀数；
- c——具有負剩余密度的物体减小了作用于仪器上的地球引力

表示为达因。因此，重力常数 k 的值是以达因来表示的两个 1 克的点质量相距 1 厘米时相互的吸引力。根据 § 1 中所述可以认为，我们有两个质量等于 1 克而其中心间距离等于 1 厘米的密度均匀的小球来代替质点。

如果用某一方法测出两个球形质量 m 及 m_1 的引力及这两个质量中心间的距离 r ，则在公式 (1) 的基础上。按公式

$$k = \frac{Fr^2}{mm_1} \quad (3)$$

可求出量 k 。

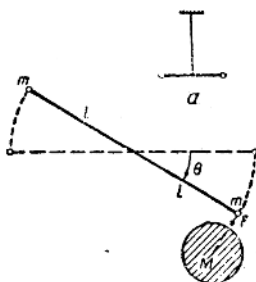


图 3. 测定扭轉常数的实验略图

a——扭轉秤；

b——秤桿的旋轉（上視圖）

測定 k 可以利用称为扭轉秤* 的仪器(图 3)。这仪器是一水平的秤桿，在其兩端固定有兩個相同的球形負荷，秤桿掛在一條細的彈性懸絲上。如果在扭秤系統上沒有任何水平力的作用，則秤桿將靜止于相當于懸絲自由狀態的某一位置上。

我們將一個重球這樣持近一個負荷，使球的中心和負荷位於一個水平面內，而引力 F 的作用垂直於秤桿的軸，小球對第二個負荷及秤桿本身的作用可以忽略，可以認為，由力 F 對秤桿的作用引起的旋轉力矩 M 等於

$$M = Fl,$$

式中的 l ——秤桿長度的一半，而 F 由公式 (1) 來確定，式中的 m 及 m_1 ——負荷及小球的質量。

在力 F 的作用下秤桿被轉動了某一個角度 θ ，這時懸絲的下端也被旋轉了同樣的一個角度，而在系統中產生一個相反的旋轉力矩，正如從物理學中大家知道的其量等於

* 为了明显起见，將 *крутильные весы* 譯為扭轉秤，將 *Гравитационный вариометр* 譯為扭秤。扭轉秤為扭秤的靈敏系統——譯者。

$$M_1 = \tau \theta,$$

式中的 τ ——悬絲的扭轉常数，如下面（參看 § 38）所示，这常数可預先測定出来。

如果秤桿处于平衡的状态，則显然， $M = M_1$ 或，

$$Fl = \tau \theta,$$

因为角的值 θ 可以測定出，所以可以測定力的量：

$$F = \frac{\tau \theta}{l},$$

所以根据公式（3）可以求出量 k ：

$$k = \frac{\tau \theta r^2}{l m m_1}$$

也有另外一些測定重力常数 k 的方法。根据多次的測定得出它的数值在CGS制中等于

$$k = 66.7 \cdot 10^{-9}.$$

下面这样規定 k 的数量对于計算非常方便

$$k = \frac{2}{3} \cdot 10^{-7}.$$

§ 3. 重 力

重力是作用于1克質量的地球引力与地球自轉产生的离心力的合力，用字母 g 来表示重力。

重力以自由落体的加速度或者說是重力加速度来度量，在CGS制中加速度的單位是伽，这样

$$1 \text{ 伽} = 1 \frac{\text{厘米}}{\text{秒}^2}.$$

这一單位的命名是为了紀念第一个研究过自由落体定律的伽利略。

重力加速度的全值，或者，如通常簡称的重力全值平均等于

$$g=981 \text{ 伽。}$$

对于测量重力異常 (参看 § 9), 上述的單位太大, 因此在重力勘探中采用在数量上比伽小 $\frac{1}{1000}$ 的單位, 这个單位称为毫伽。

于是

$$1 \text{ 毫伽} = 0.001 \frac{\text{厘米}}{\text{秒}^2} = 1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{厘米}}{\text{秒}^2}。$$

地球以及其他的行星都是一个近似球形的物体。地球半径的平均值, 亦即由地球中心到位于它表面上一点的距离, 計約6370千米。根据較确切的定义, 地球是所謂旋轉橢球体 (图4), 並且根据苏联大地測量学家Ф. H. 克拉索夫斯基的数据, 它的赤道半径 a 等于6378.245千米, 而极半径 c 等于6356.863千米。因此, 差值 $a-c$ 約为21千米。

量

$$\alpha = \frac{a-c}{a} \quad (4)$$

叫做橢球体的扁度。

对于地球

$$\alpha = \frac{1}{298.3} \cdot \frac{m}{m}$$

正如我們看到的, 这一个量是很小的。不难了解, 例如, 在本書这一頁上, 图中地球的断面实际上与一个圆无何差別。因此, 根据比較正确的定义的地球是一个扁度很小的旋轉橢圆体; 这样橢球体与球体是差不多相同的物体。

根据地球物理学的数据, 地球是由几层不同密度的同心壳組成的, 並且其内部或者說地核的密度为最大。

引力由赤道向兩极略微增大, 这是由于观测点到地球中心的距离减小, 但是引力的变化与其全值比較

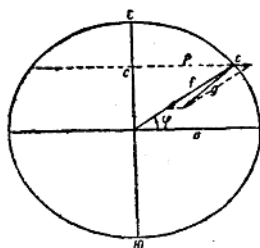


图4. 引力 f , 离心力 c , 重力 g 。