

重力与固体潮

第一讲 绪论 陈涛

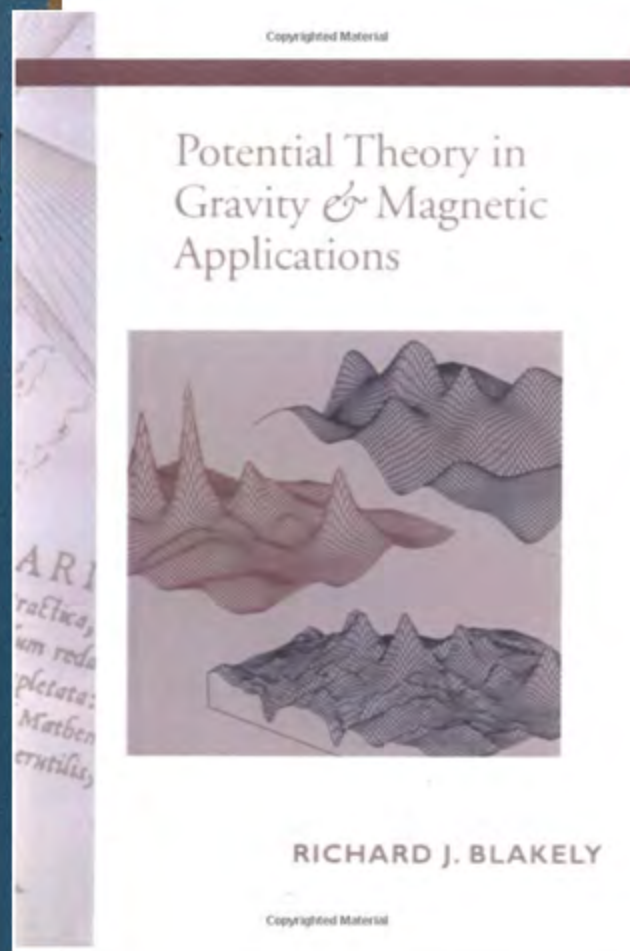
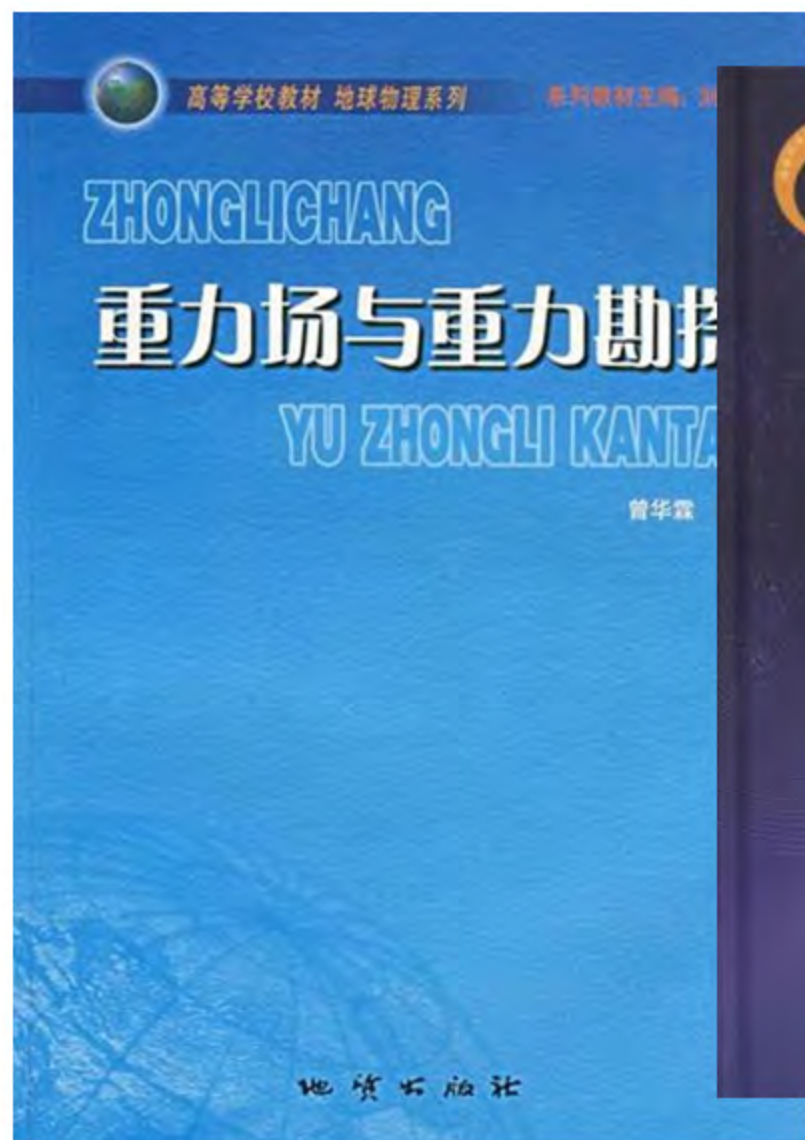
地球物理学院
中国石油大学（北京）



个人信息

- 姓名：陈涛
- 电子邮件：geophysics@aliyun.com（提交作业，问题咨询）
- GitHub：<https://geogoku.github.io/>（发布作业，课程资料）
- 办公室：地质楼602北侧
- 答疑时间：周三下午

参考资料



参考资料

1、英文期刊:

《Geophysics research letters》

《Journal of Geophysical research》

《Geophysical Journal International》

《Geophysics》

《Reviews of Geophysics》等。

2、中文期刊:

《中国科学 (D辑) 》

《地球物理学报》

《地球物理学进展》

《石油地球物理勘探》

《石油勘探与开发》等。

考核说明



缺勤三次及以上考勤为0分

课程简介

专业必修课，48学时，3学分

地球物理学主要是应用多学科手段对地下地质构造进行地球物理解译，因而要求解释者对于不同方法的优势与特色有较强的认知。重力学（包含固体潮）作为一门重要的地球物理分支学科，同时具有很强的理论性和实用性。很多场景，比如地球深部构造研究、资源勘探、水文工程、环境勘察、考古、流体监测等都需要重力探测手段提供支撑。在油气勘探领域，人工地震是主要的勘探手段。但是随着“双碳”战略的实施，宽口径就业已经逐渐成为趋势。因此，本课程对《重力与固体潮》的理论基础和实际应用进行介绍。



课程简介

如何学好《重力与固体潮》？

概念、原理的理解 + 公式推导 + 动手实践

比如说：

重力异常 + 表达式 + 球体重力异常图

课程简介

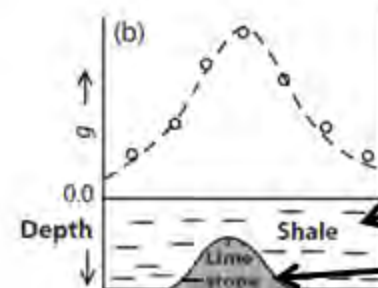
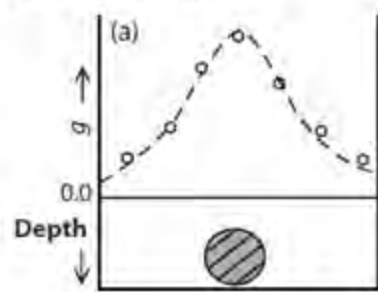
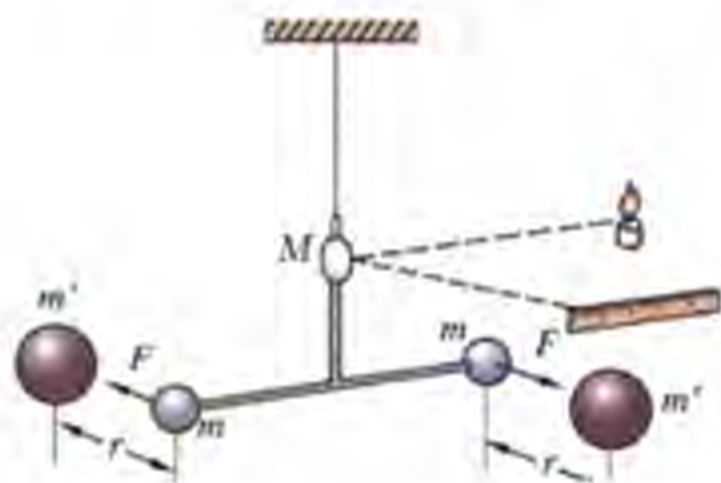
概念原理

- 重力场、重力位、正常重力场、地球重力场模型、重力异常、自由空气重力异常、布格重力异常、均衡重力异常
- 重力仪测量原理、零点漂移、零点读数法
- 固体潮、引潮力

.....

课程简介

- **重力学基本原理**：以研究对象（矿产资源或地质构造）与围岩存在着**密度上的差异**为前提条件的，从观测重力值中去掉与研究对象无关的各种因素的影响，获得单纯由矿体或构造等**密度不均匀体**产生的**重力异常**，通过对异常的处理、反演、解释，达到找矿勘探和研究地质构造的目的。



页岩
灰岩

课程简介

- 核心要素:

- 1、获得地下物质密度不均匀体引起的重力变化（即重力异常）
- 2、利用重力变化研究地下物质密度分布
- 3、根据密度分布，结合其他资料，解决地质问题

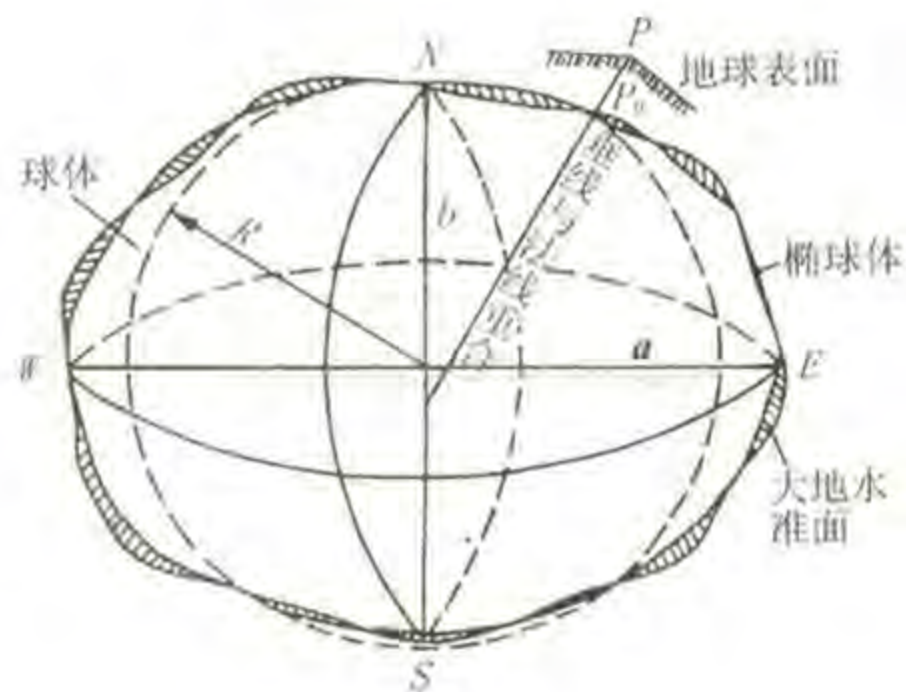
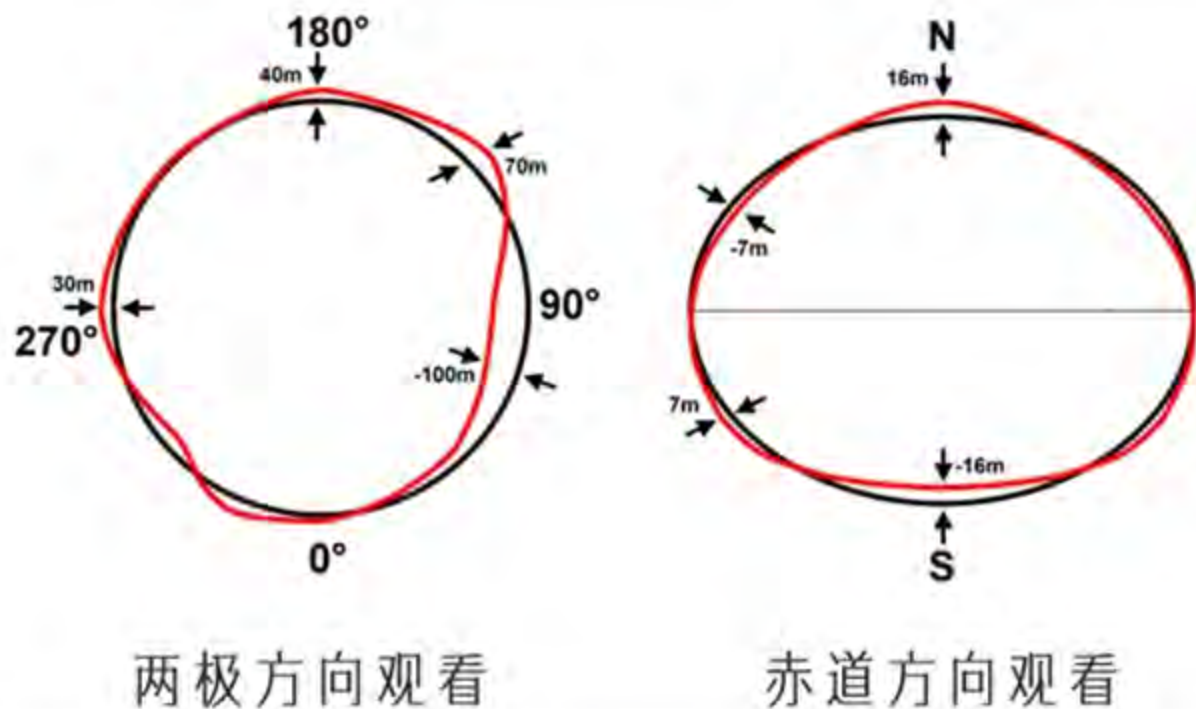
- 本课程将围绕上述内容展开:

- 1、地球重力场、重力仪器与重力测量、重力资料整理与重力异常获取
- 2、重力资料处理、正反演
- 3、岩（矿）石密度测定与分析、地质解释



课程简介

- **固体潮基本原理**: 以地球形变为研究对象, 通过观察固体潮引起的重力异常变化, 达到研究地球内部结构和天体引力的目的。



大地水准面与参考椭球对比

课程简介

- 核心要素:

- 1、地球月球之间的引力变化规律
- 2、根据行星尺度的重力变化，研究地球形变

- 本课程将围绕上述内容展开:

- 1、固体潮的产生机理
- 2、引潮力与球体刚性模型
- 3、固体潮的校正
- 4、地球形变

课程目标

- 掌握通识教育及地球物理学科专业知识，了解学科发展前沿
- 使学生树立严肃认真，实事求是，理论联系实际的科学作风
- 能够将所学知识用于解释本专业领域的现象
- 应用重力学方法解决专业领域的经典问题

《重力与固体潮》

第一讲 绪论

第二讲 地球重力场

第三讲 地球固体潮

第四讲 岩矿石的密度

第五讲 重力仪及测量方法

第六讲 重力数据预处理

(均衡校正+固体潮校正)

第七讲 重力异常正演

第八讲 重力异常处理

第九讲 重力异常反演

第十讲 重力与固体潮应用

课程安排

《重力与固体潮》

基本理论

第一讲 绪论

第二讲 地球重力场

第三讲 地球固体潮

第四讲 岩矿石的密度

观测整理

第五讲 重力仪及测量方法

第六讲 重力数据预处理

(均衡校正+固体潮校正)

处理解释

第七讲 重力异常正演

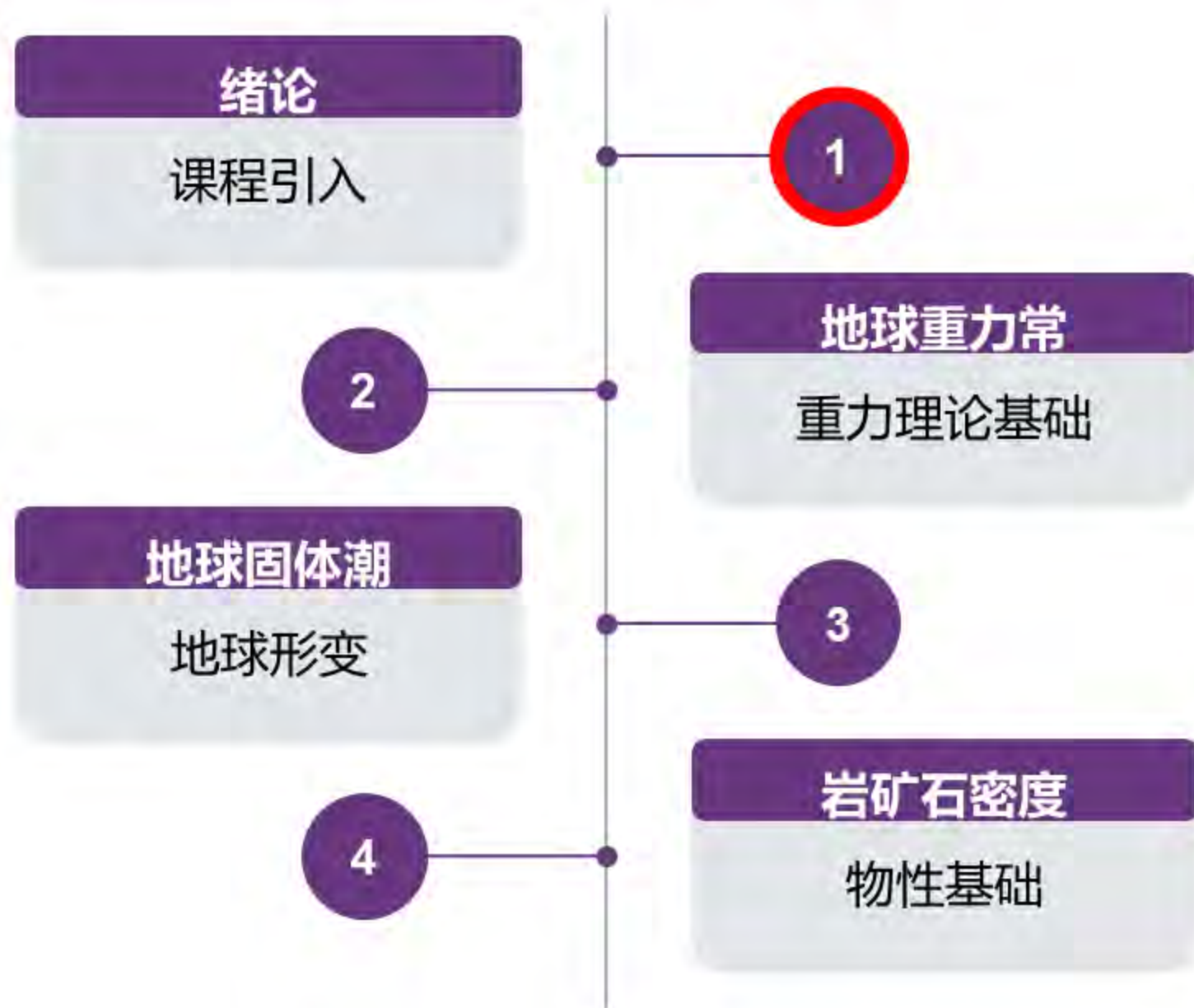
第八讲 重力异常处理

第九讲 重力异常反演

第十讲 重力与固体潮应用



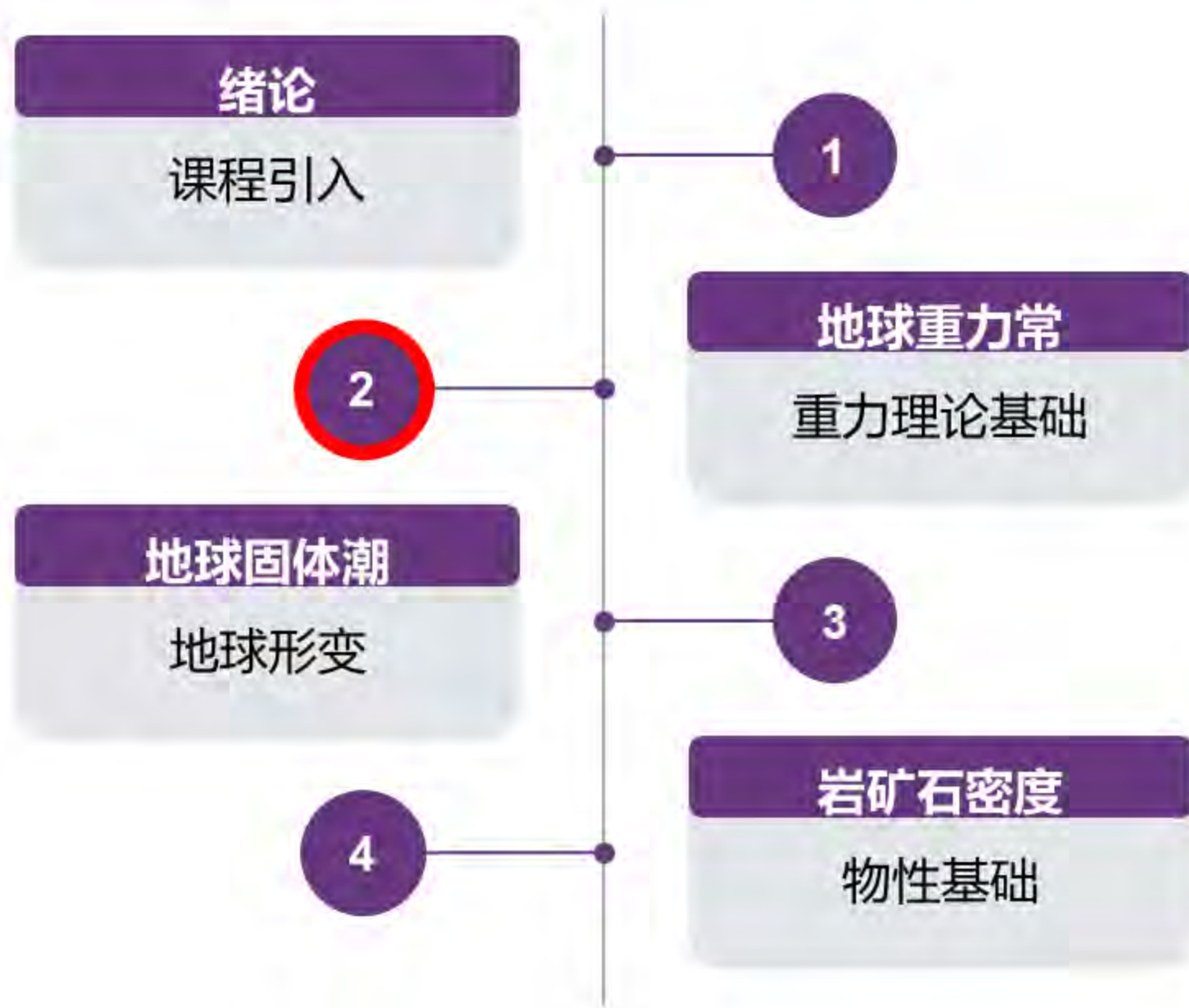
课程内容、重点难点



- 1.1 重力
- 1.2 固体潮
- 1.3 重力应用



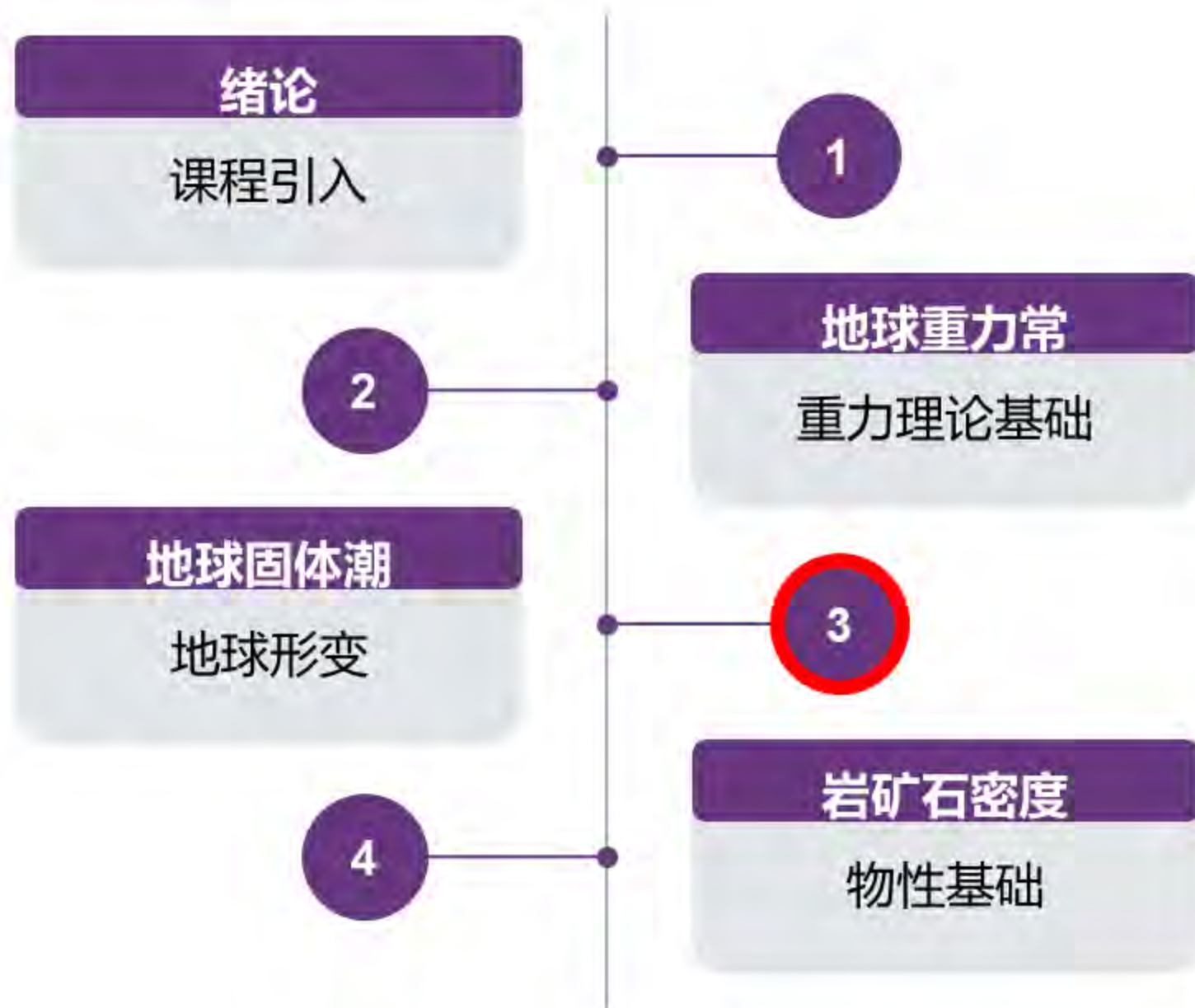
课程内容、重点难点



- 2.1 人们对地球重力场的认识
- 2.2 地球重力场
- 2.3 重力等位面
- 2.4 正常重力公式
- 2.5 重力异常



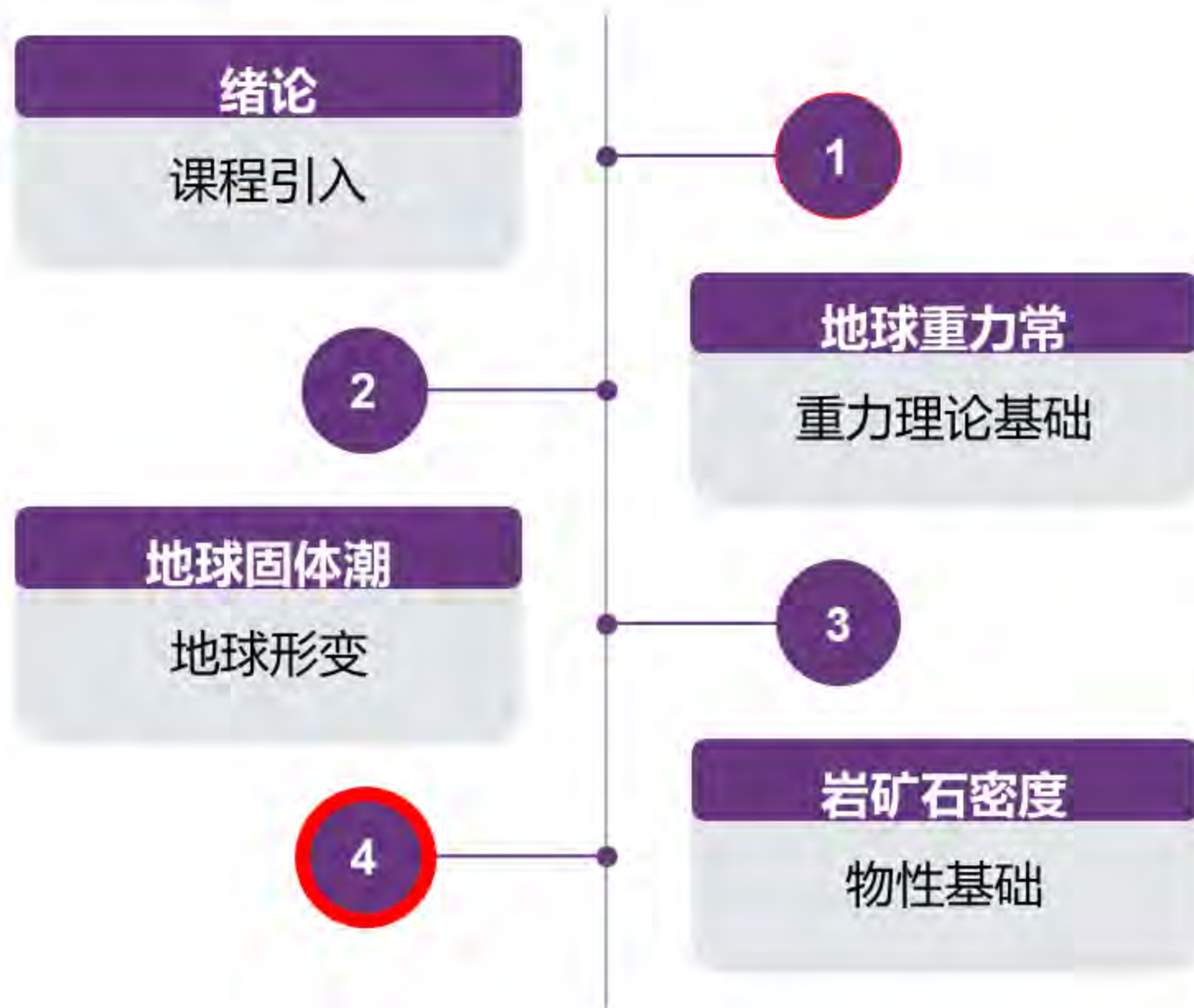
课程内容、重点难点



- 3.1 固体潮
- 3.2 起潮力
- 3.3 球状刚体地球模型
- 3.4 地球形变



课程内容、重点难点



- 4.1 岩矿石的密度
- 4.2 影响岩矿石密度的因素
- 4.3 岩矿石标本的测定
- 4.4 地层平均密度的估计



课程内容、重点难点

重力仪及测量

观测理论

5

重力数据预处理

数据→异常

6

“

5.1 重力仪

5.2 影响重力仪精度的因素

5.3 重力野外测量



课程内容、重点难点

重力仪及测量

观测理论

5

重力数据预处理

数据→异常

6

“

6.1 基点网平差

6.2 固体潮校正

6.3 零点校正

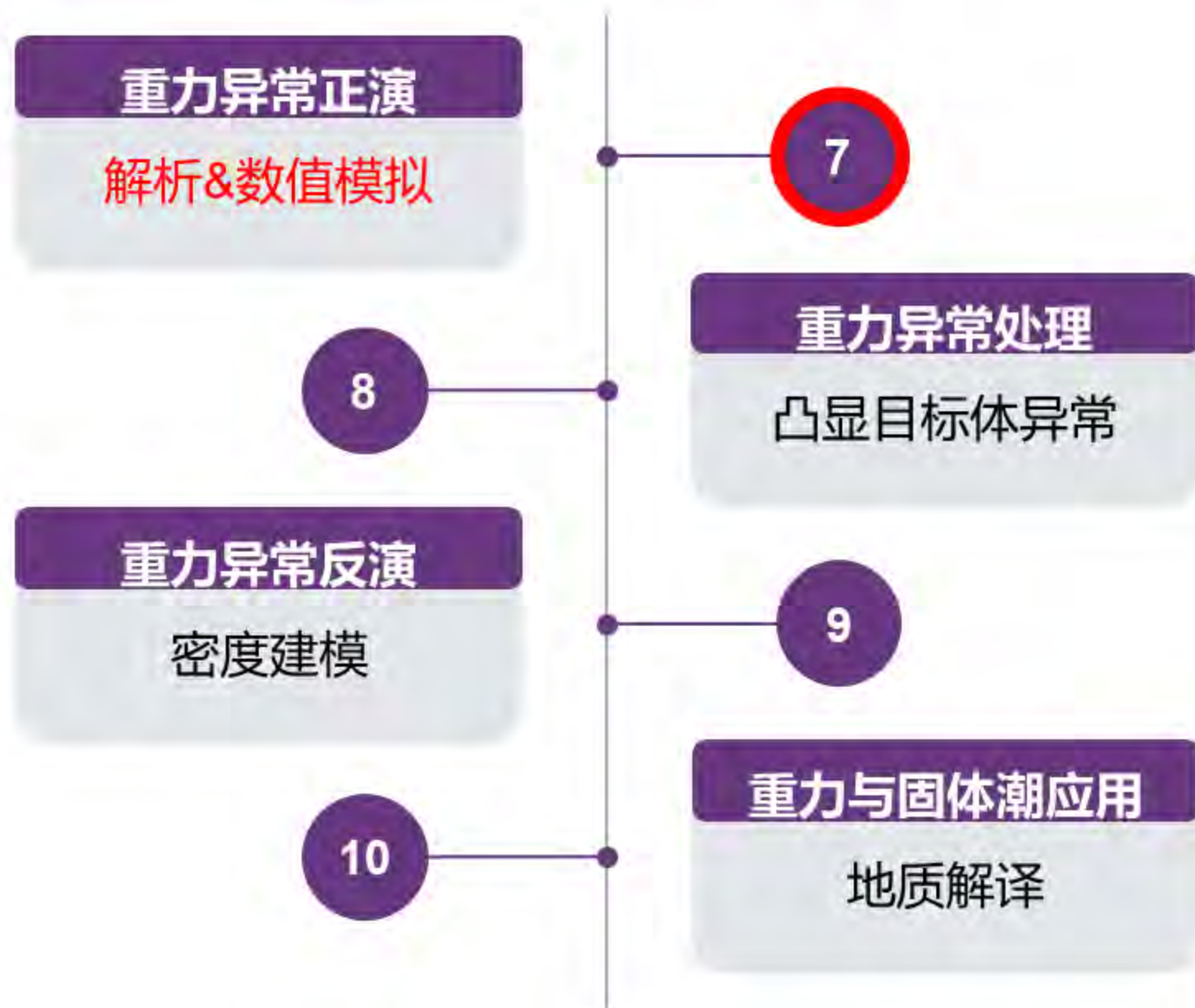
6.4 布格重力异常

6.5 均衡重力异常

6.6 重力异常的图示



课程内容、重点难点



- 7.1 基本公式
- 7.2 简单形体的正演
- 7.3 复杂形体的正演
- 7.4 正演模拟实验



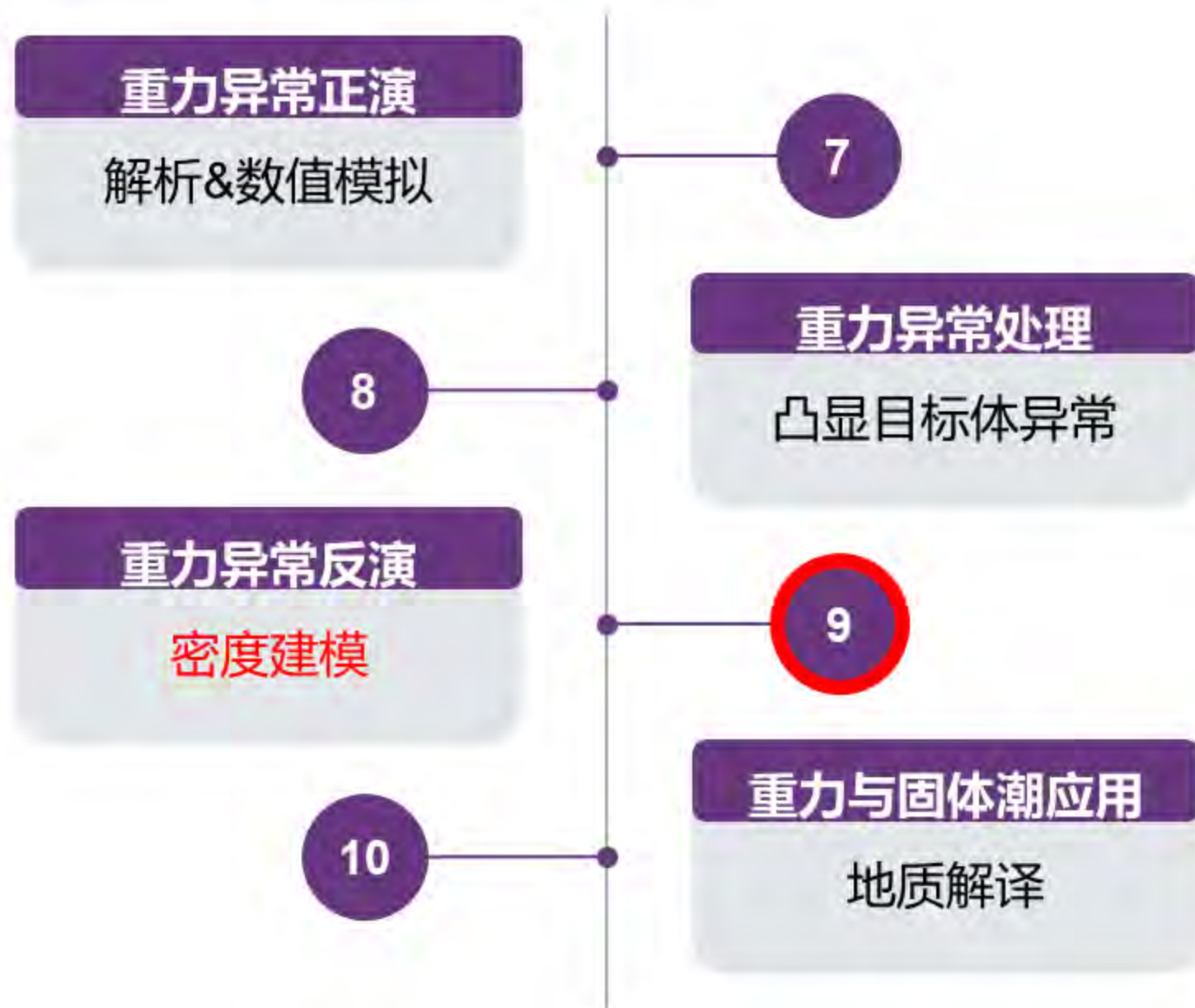
课程内容、重点难点



- 8.1 引起重力异常的地质因素
- 8.2 场分离
- 8.3 空间延拓
- 8.4 重力异常导数



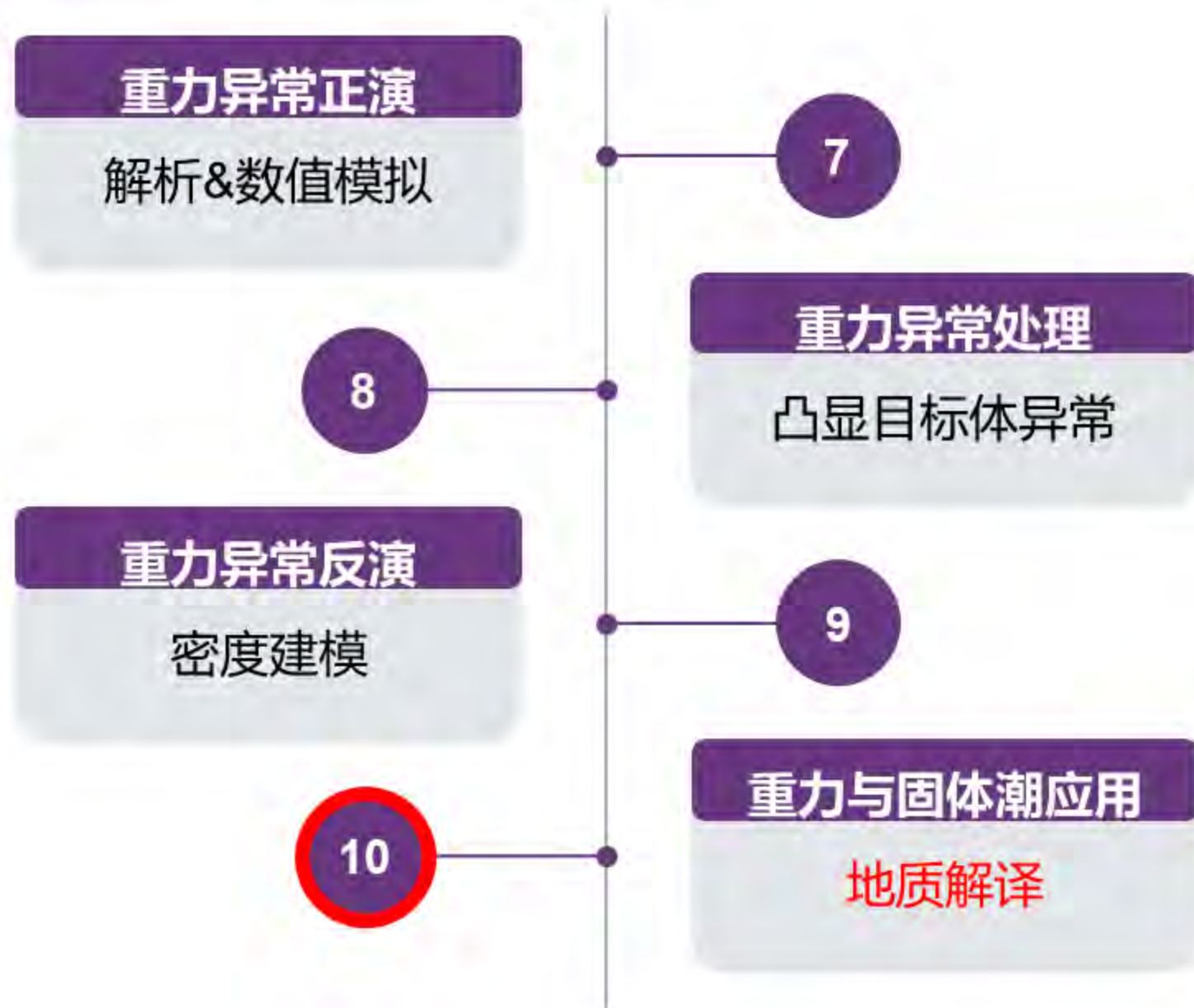
课程内容、重点难点



- 9.1 重力异常反问题
- 9.2 选择法
- 9.3 线性反演法



课程内容、重点难点



- 10.1 什么是地质解释
- 10.2 重力异常的识别
- 10.3 重力异常的解释应用

符号说明

标量采用*斜体*，矢量和矩阵采用**加粗字母**

名称	符号
密度	ρ
重力场强度	\mathbf{g}
引力位	V
重力梯度	\mathbf{T}



课前测试

- 简述你对引力/重力的认识
- 地球的形状
- 地球的潮汐



目 录

第一节 地球的形状

1. 地球的形状

亚里士多德：地球是圆形的。



物理老师：地球是椭圆形的。



网友：地球是梨形的。



1. 地球的形状

四大文明古国人眼中的地球



1. 地球的形状



古巴比伦人的地球观：
大地是个龟背般隆起的空心山，
大陆四面环绕着海水，
有一个浑圆的巨大天罩盖在上面。

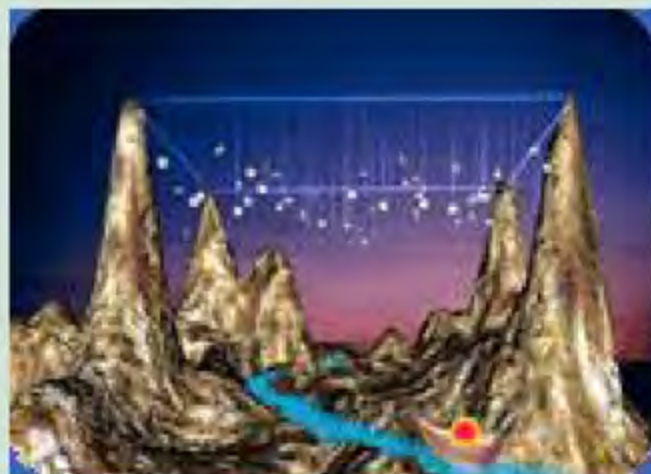


古印度人的地球观：
大地是一个圆盾，
由三头大象驮着，
站在乌龟背上。

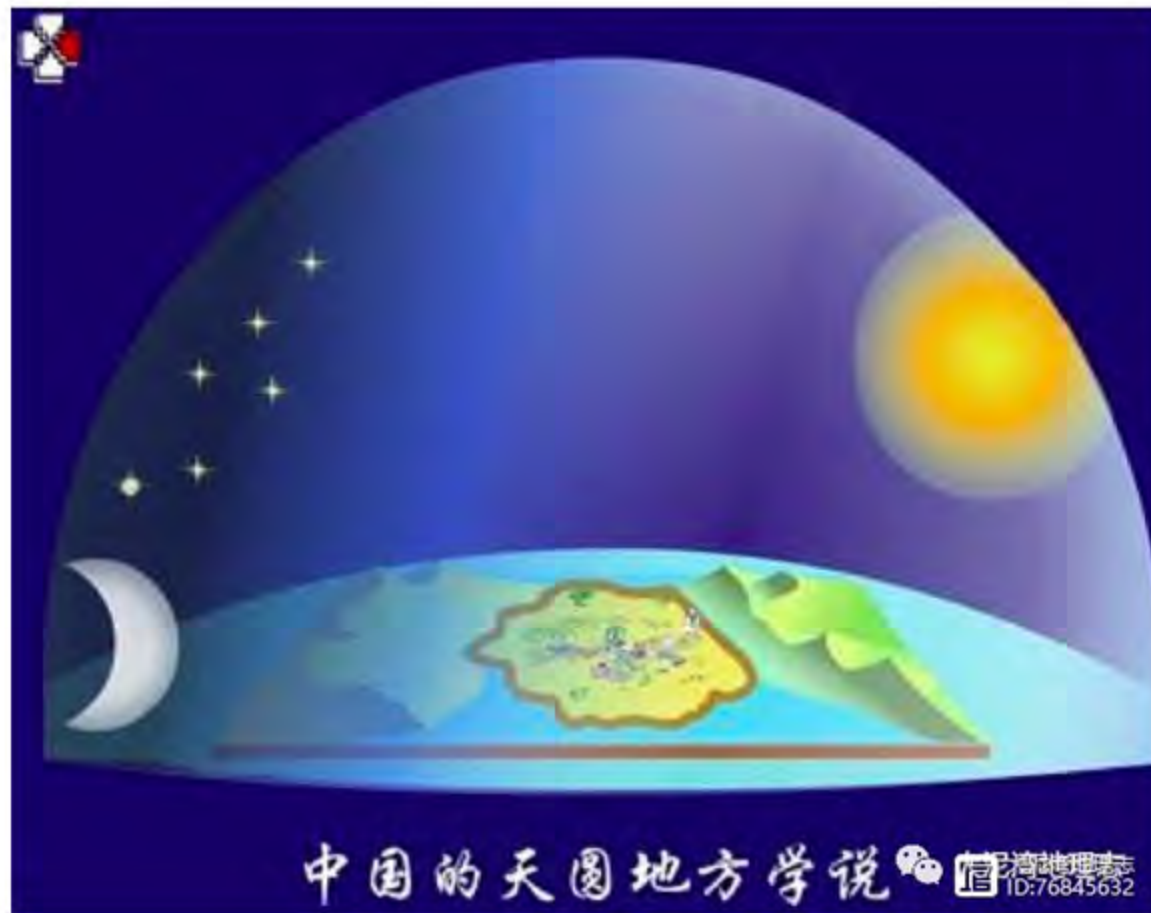


1. 地球的形状

古代埃及人对地球的认识



天被高高的山撑着, 星星则从天上垂下来; 太阳乘着一艘小船, 顺着一条大河流到各地



中国的天圆地方学说

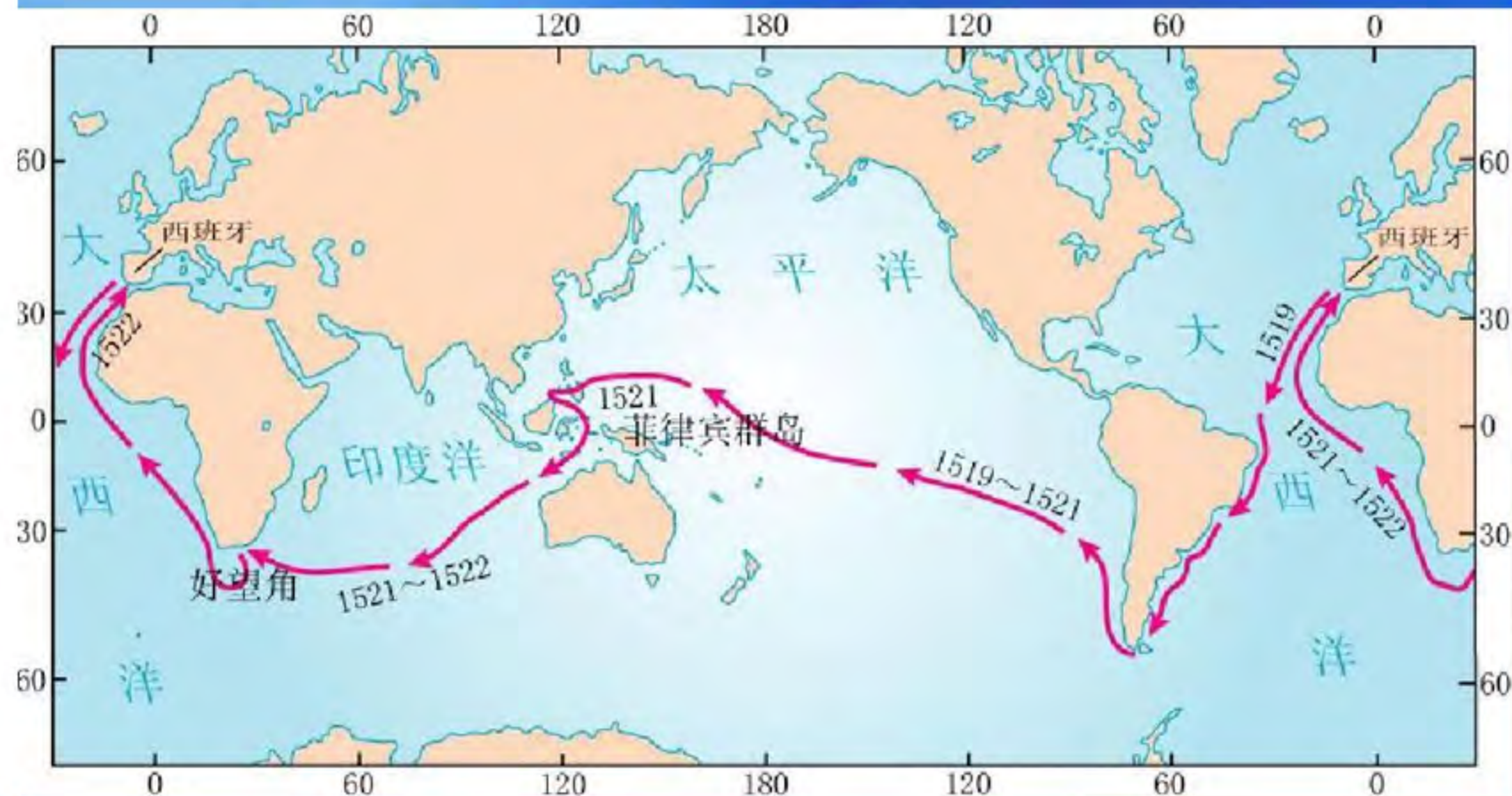
经济地理学 ID:76845632

1. 地球的形状



(1480年—1521年)

麦哲伦环球航行路线图





1. 地球的形状

The Blue Marble



阿波罗17号卫星拍摄的地球
1972年12月，距离地球45,000公里处



NASA公布的高清地球图像



1. 地球的形状

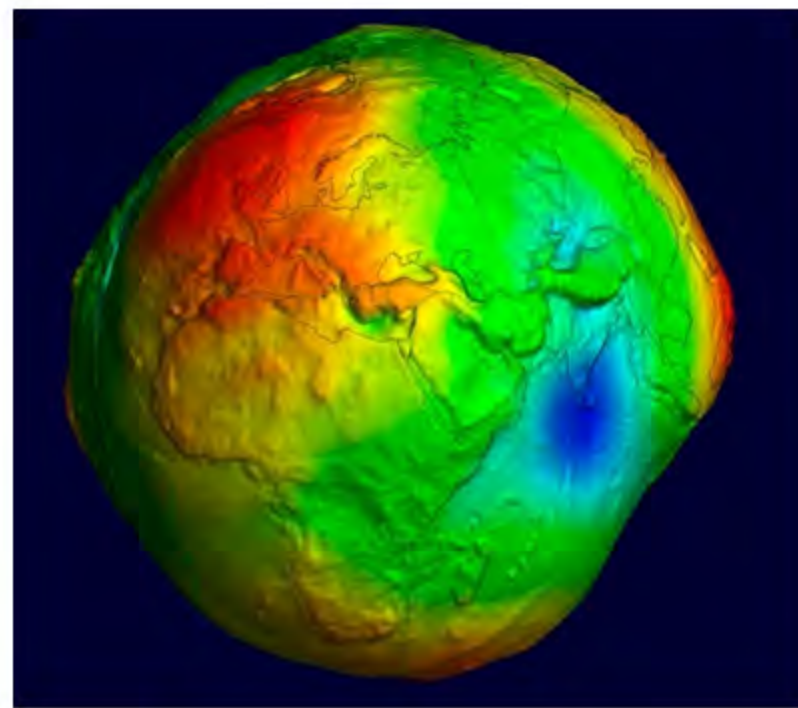
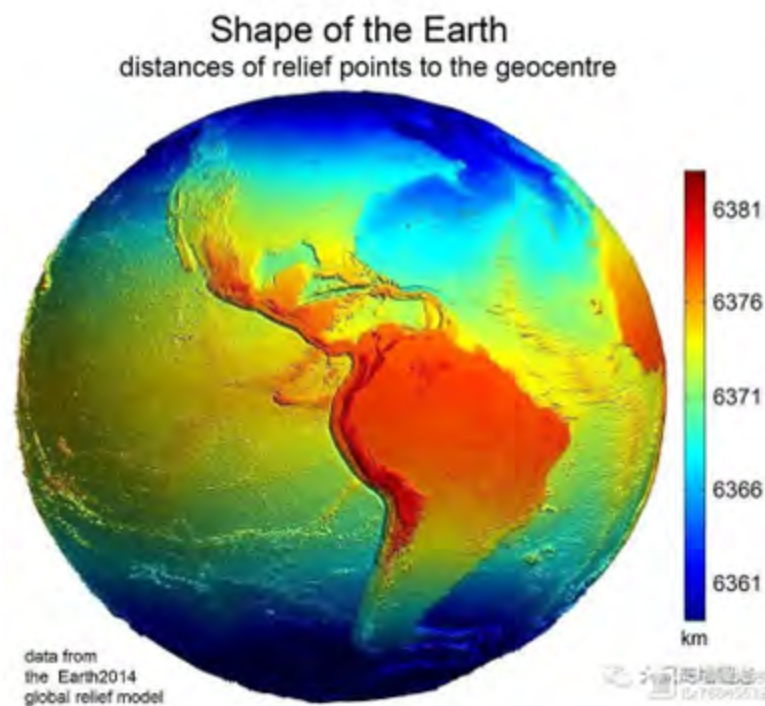




1. 地球的形状



北斗史地研究所



地球？土豆？

目 录

第一节 地球的形状

第二节 重力

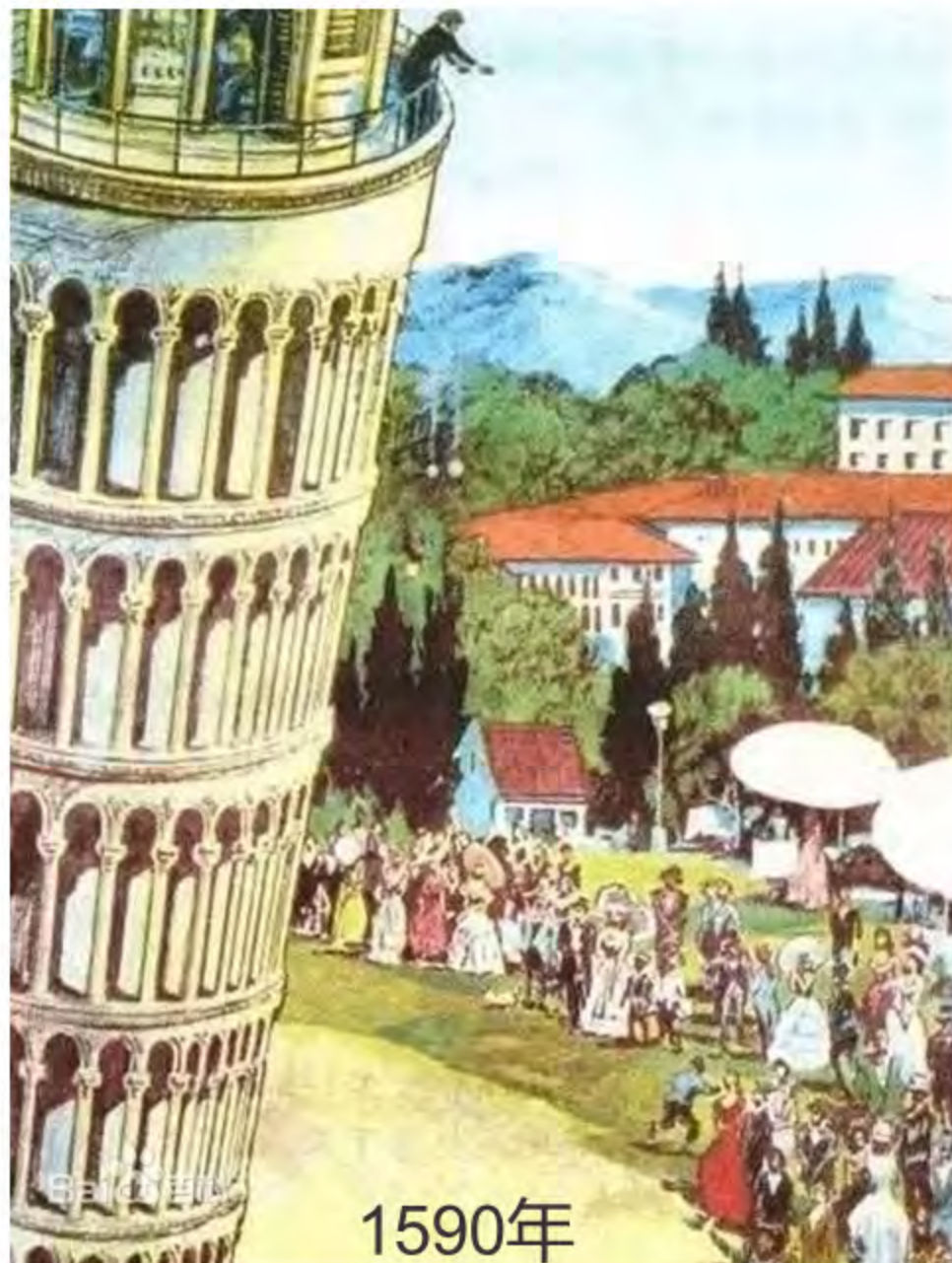


2. 重力

伽利略测量的是什么物理量



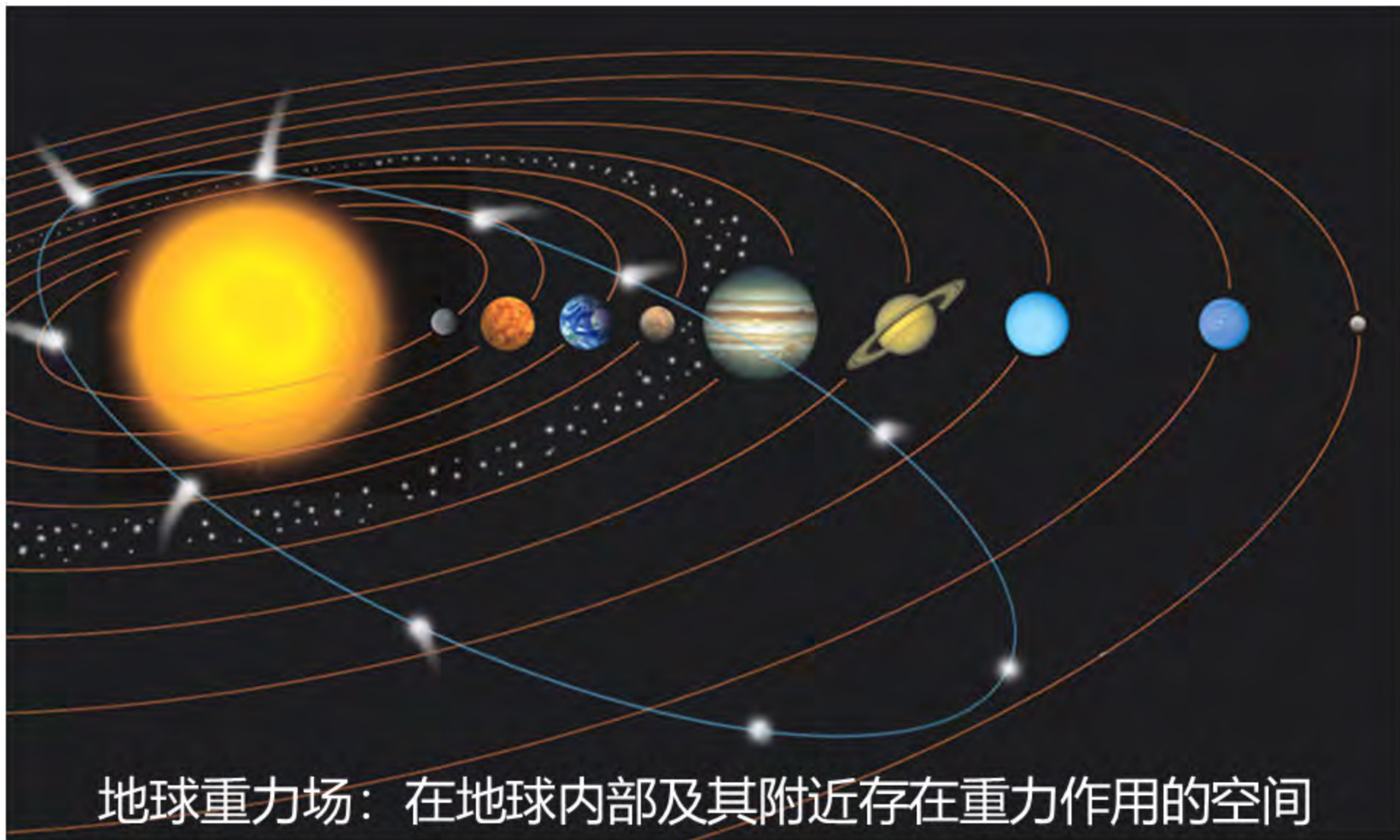
1564年-1642年



1590年



2. 重力





2. 重力

Apply Math Model for “g” to these Scenarios:

Scenario	Radius (m)	Mass(kg)
A	2.43×10^6	3.2×10^{23}
B	6.0173×10^6	4.88×10^{24}
C	3.38×10^6	6.42×10^{23}
D	6.98×10^7	1.901×10^{27}
E	5.82×10^7	5.82×10^{26}
F	2.35×10^7	8.68×10^{25}
G	2.27×10^7	1.03×10^{26}
H	1.15×10^6	1.02×10^{22}
I	6.38×10^6	5.98×10^{24}

2. 重力

INVESTIGATING PLANETARY GRAVITATIONAL FIELD STRENGTH

$$g = \frac{Gm}{R^2} \quad G = 6.673 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$$

Celestial Body	Radius (m)	Mass (kg)	$g (\text{N/kg})$
A	2.43×10^6	3.2×10^{23}	$g_A = \frac{Gm}{R^2} = \frac{6.673 \times 10^{-11} (\frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}) \cdot 3.2 \times 10^{23}}{(2.43 \times 10^6 \text{ m})^2}$ $g_A = 3.61 \text{ N/kg} \Rightarrow \text{A must be Mercury}$
B	6.073×10^6	4.88×10^{24}	$g_B = \frac{Gm}{R^2} = \frac{6.673 \times 10^{-11} (\frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}) \cdot 4.88 \times 10^{24}}{(6.073 \times 10^6 \text{ m})^2}$ $g_B = 8.83 \text{ N/kg} \Rightarrow \text{B must be Venus}$
C	3.38×10^6	6.42×10^{23}	$g_C = \frac{Gm}{R^2} = \frac{6.673 \times 10^{-11} (\frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}) \cdot 6.42 \times 10^{23}}{(3.38 \times 10^6 \text{ m})^2}$ $g_C = 3.75 \text{ N/kg} \Rightarrow \text{C must be Mars}$
D	6.98×10^7	1.901×10^{27}	$g_D = \frac{Gm}{R^2} = \frac{6.673 \times 10^{-11} (\frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}) \cdot 1.901 \times 10^{27}}{(6.98 \times 10^7 \text{ m})^2}$ $g_D = 26.037 \text{ N/kg} \Rightarrow \text{D must be Jupiter}$
E	5.82×10^7	5.68×10^{26}	$g_E = \frac{Gm}{R^2} = \frac{6.673 \times 10^{-11} (\frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}) \cdot 5.68 \times 10^{26}}{(5.82 \times 10^7 \text{ m})^2}$ $g_E = 11.1878 \text{ N/kg} \Rightarrow \text{E must be Saturn}$
F	2.35×10^7	8.68×10^{25}	$g_F = \frac{Gm}{R^2} = \frac{6.673 \times 10^{-11} (\frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}) \cdot 8.68 \times 10^{25}}{(2.35 \times 10^7 \text{ m})^2}$ $g_F = 10.48 \text{ N/kg} \Rightarrow \text{F must be Uranus}$
G	2.27×10^7	1.03×10^{26}	$g_G = \frac{Gm}{R^2} = \frac{6.673 \times 10^{-11} (\frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}) \cdot 1.03 \times 10^{26}}{(2.27 \times 10^7 \text{ m})^2}$ $g_G = 13.3385 \text{ N/kg} \Rightarrow \text{Neptune}$
H	1.15×10^6	1.02×10^{22}	$g_H = \frac{Gm}{R^2} = \frac{6.673 \times 10^{-11} (\frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}) \cdot 1.02 \times 10^{22}}{(1.15 \times 10^6 \text{ m})^2}$ $g_H = 0.605 \text{ N/kg} \Rightarrow \text{Pluto}$
I	6.38×10^6	5.98×10^{24}	$g_I = \frac{Gm}{R^2} = \frac{6.673 \times 10^{-11} (\frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}) \cdot 5.98 \times 10^{24}}{(6.38 \times 10^6 \text{ m})^2}$ $g_I = 9.8035 \text{ N/kg} \Rightarrow \text{Earth}$

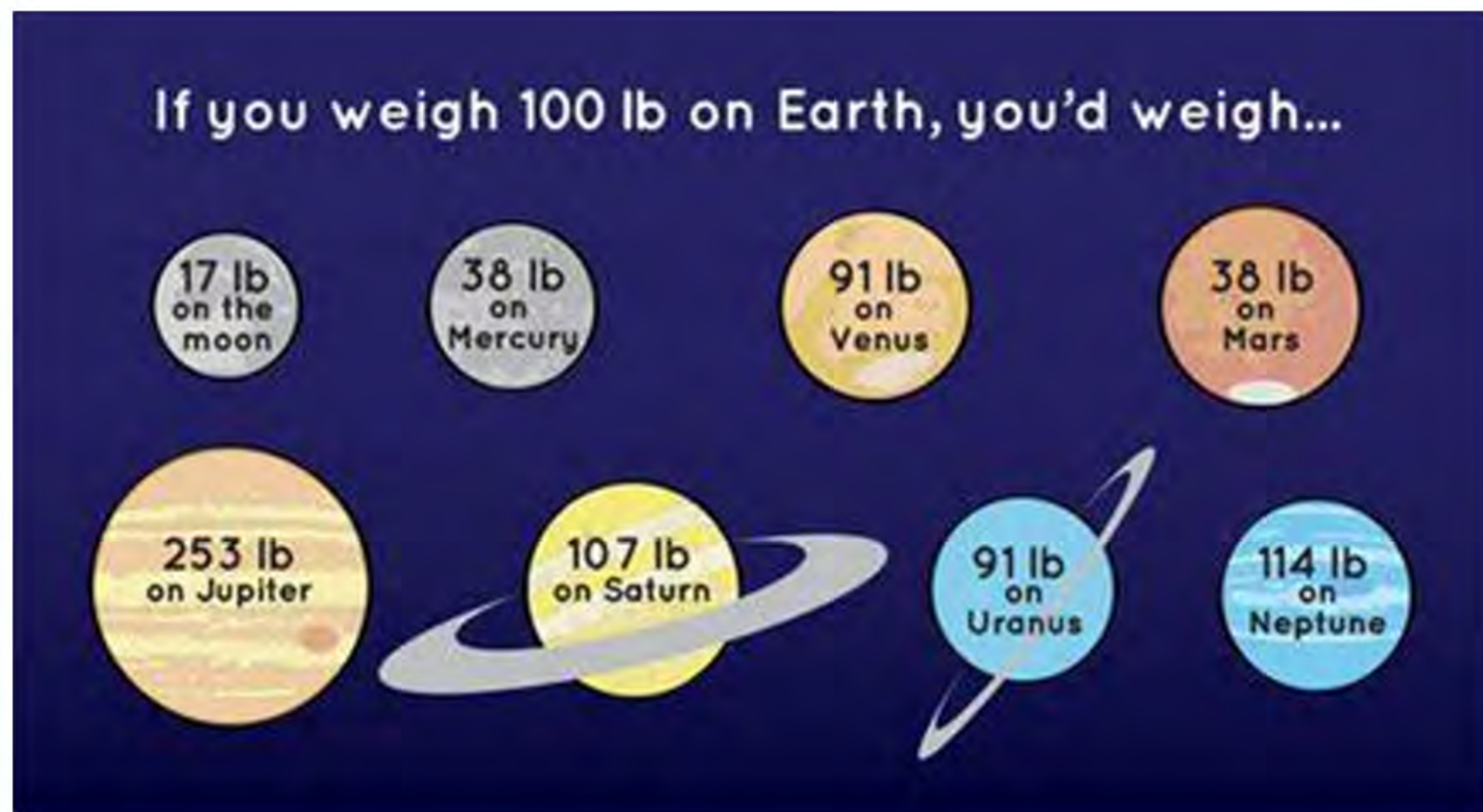


2. 重力

Celestial Body (Planet/Moon)	Gravitational Field Strength (N/kg)
Earth	9.81
Earth's Moon	1.67
Jupiter	26.0
Mars	3.75
Mercury	3.61
Neptune	13.3
Pluto	0.64
Saturn	11.2
Uranus	10.5
Venus	8.83



2. 重力



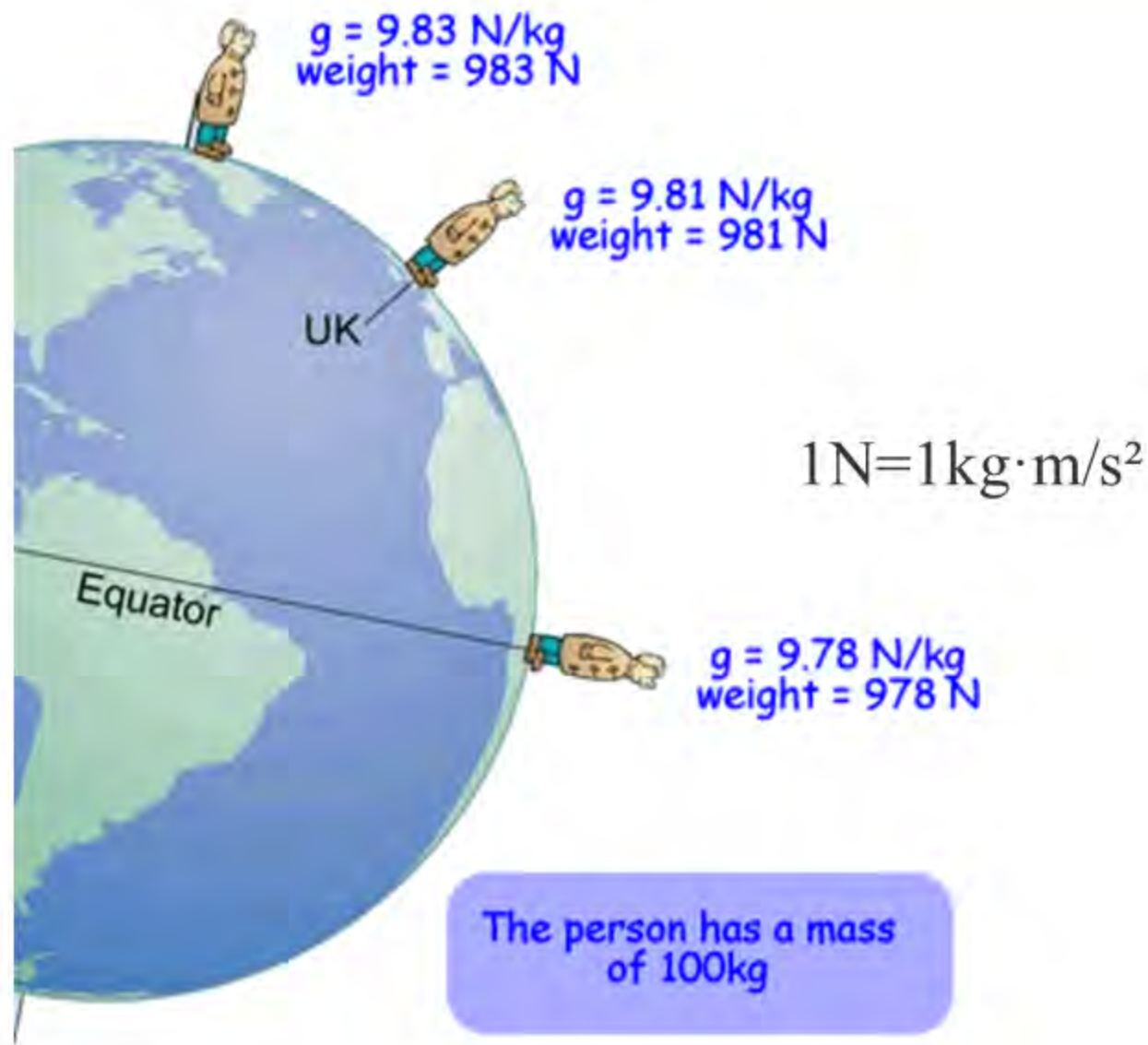
1磅 = 4.4482牛顿



2. 重力



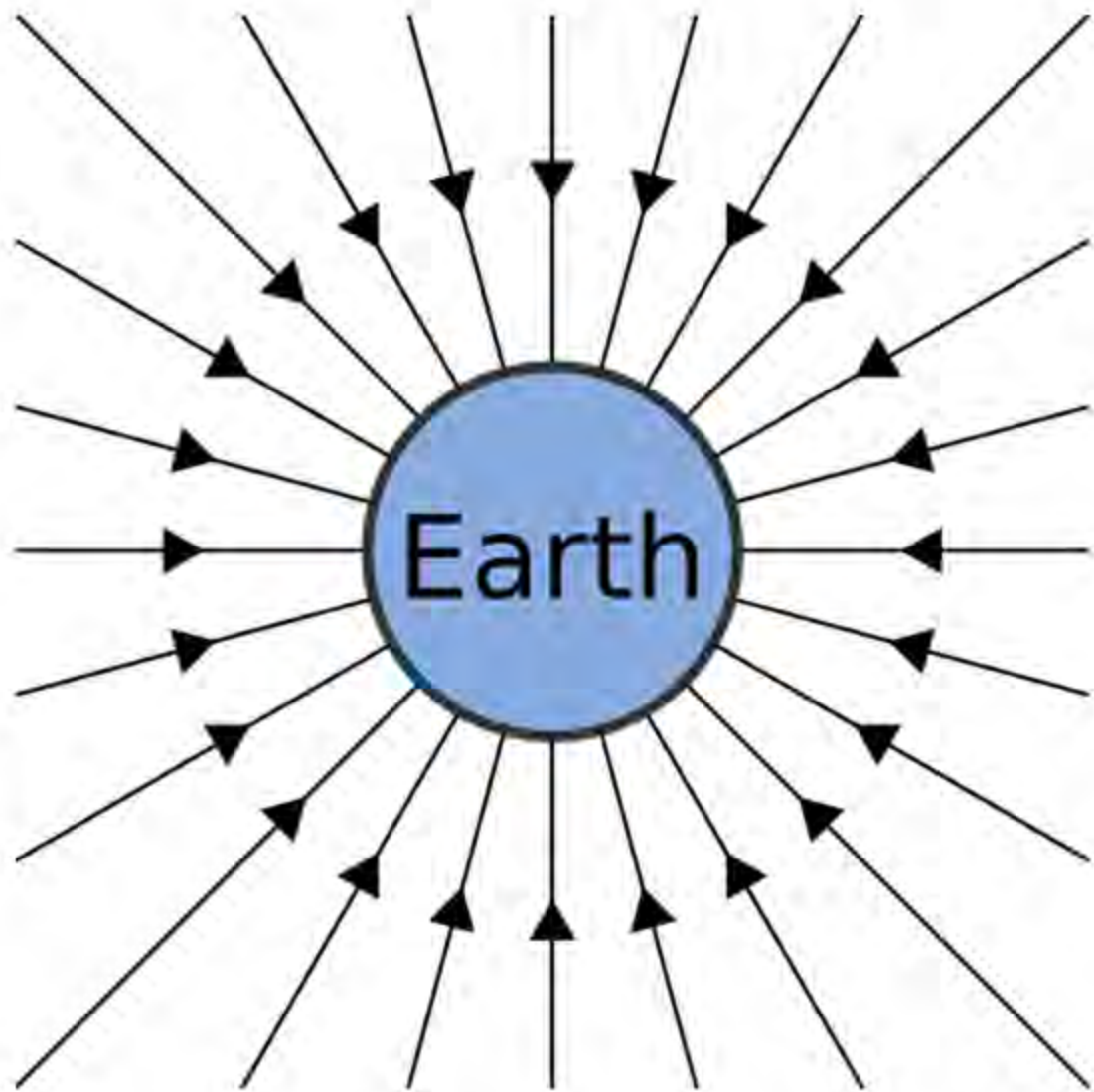
为什么不同地方的同一个人重量不一样?





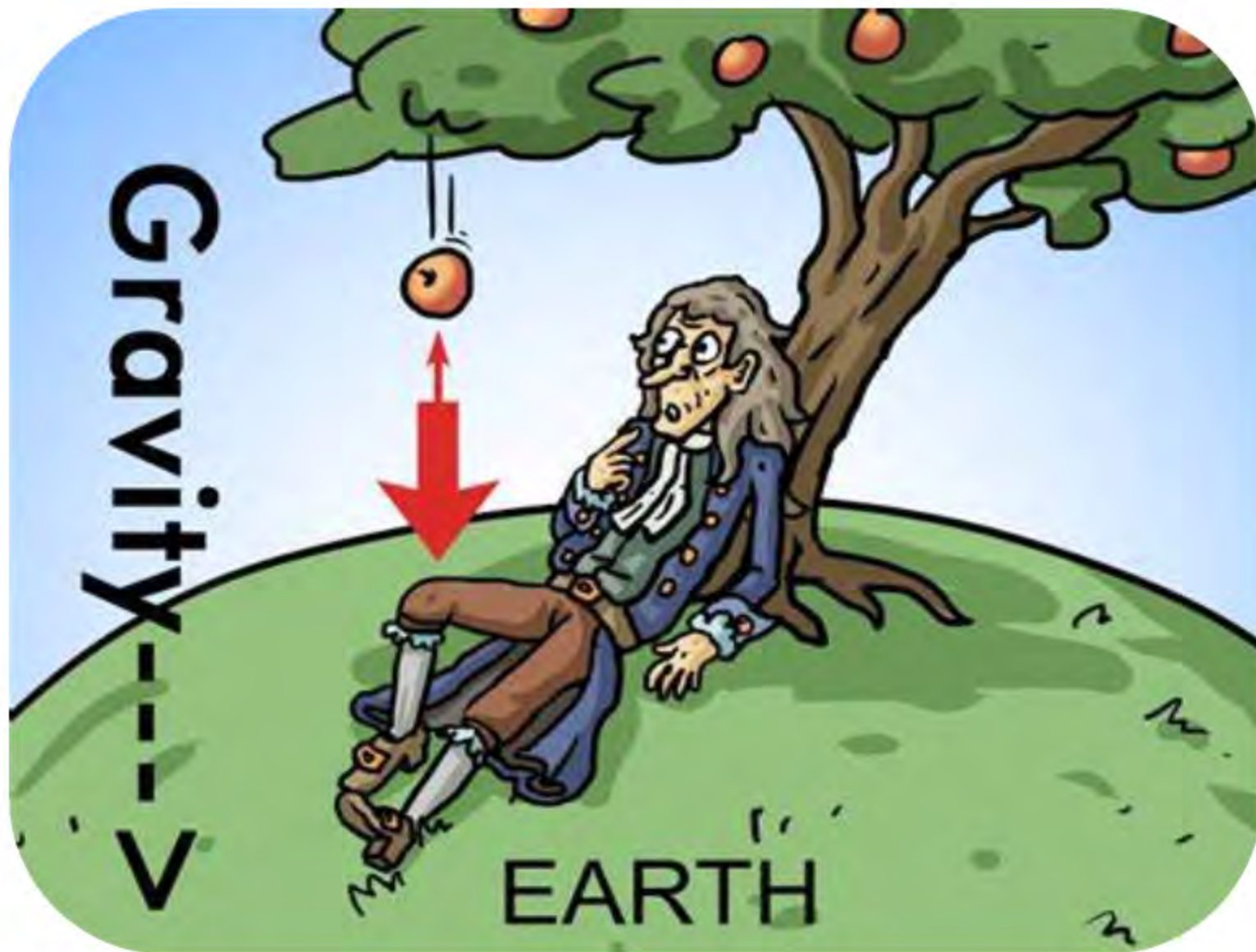
2. 重力

这是什么物理量的方向



2. 重力

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$



2. 重力

重力、重力加速度、引力？

目 录

第一节 地球的形状

第二节 重力

第三节 固体潮

3. 固体潮





3. 固体潮

海水是怎么动起来的



3. 固体潮

赶海



3. 固体潮

五一去海边,超全赶海攻略奉上!



2023年3月30日 一、选择合适的时间和地点 赶海需要注意潮汐和天气情况,最好在涨潮前两个小时和落潮时进行。此外,避免在恶劣的天气条件下赶海,比如风暴、大雨等。在选择赶海地点时,要确保该地...

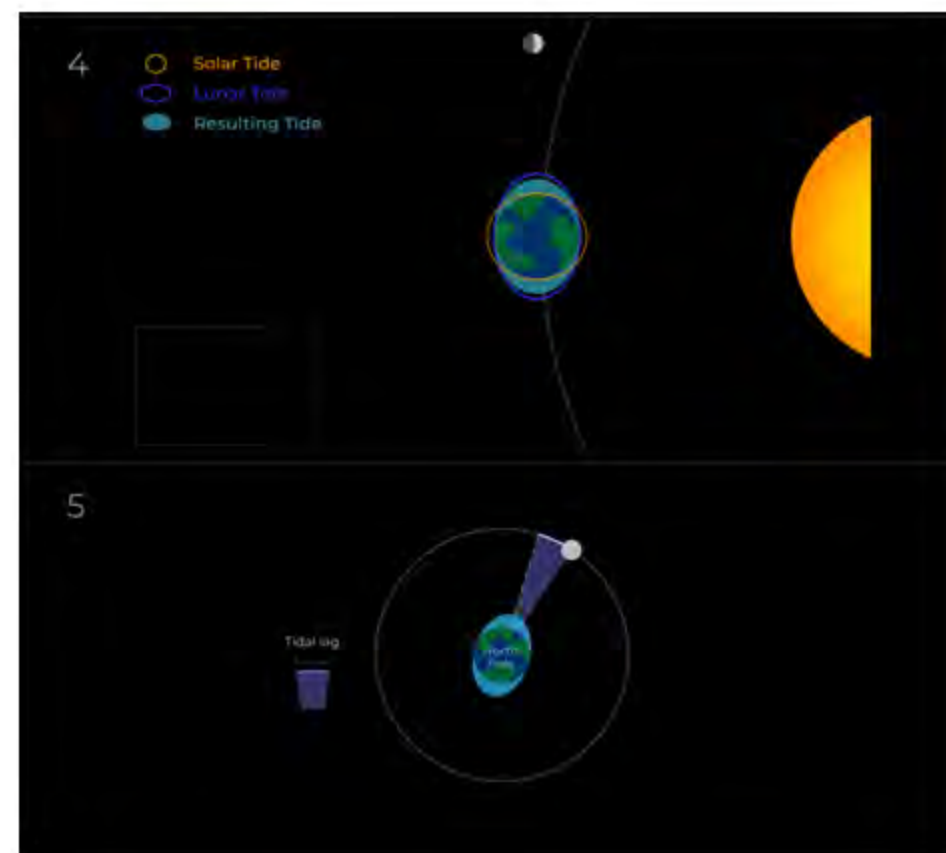
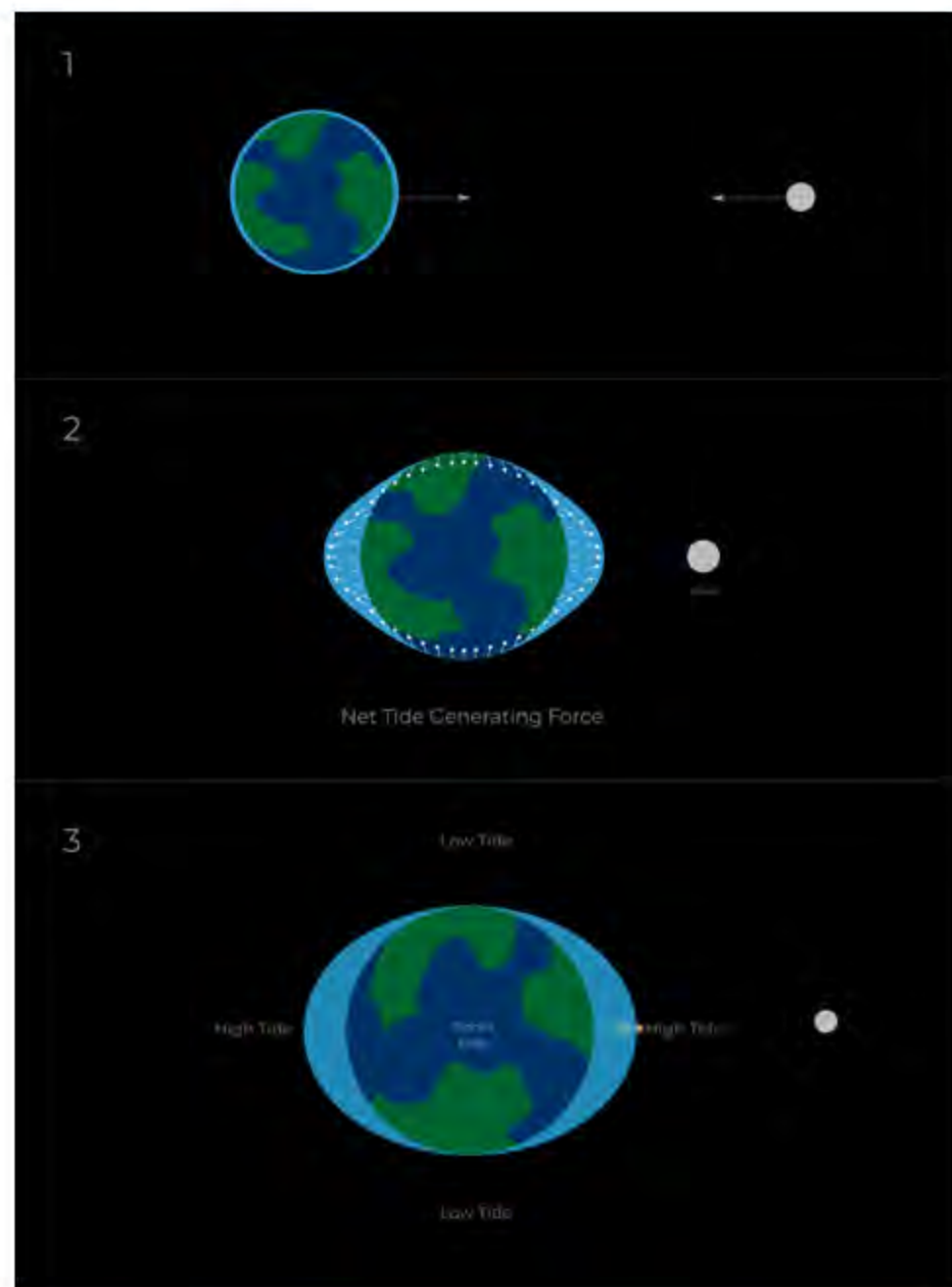
每分钟在路上

赶海





3. 固体潮



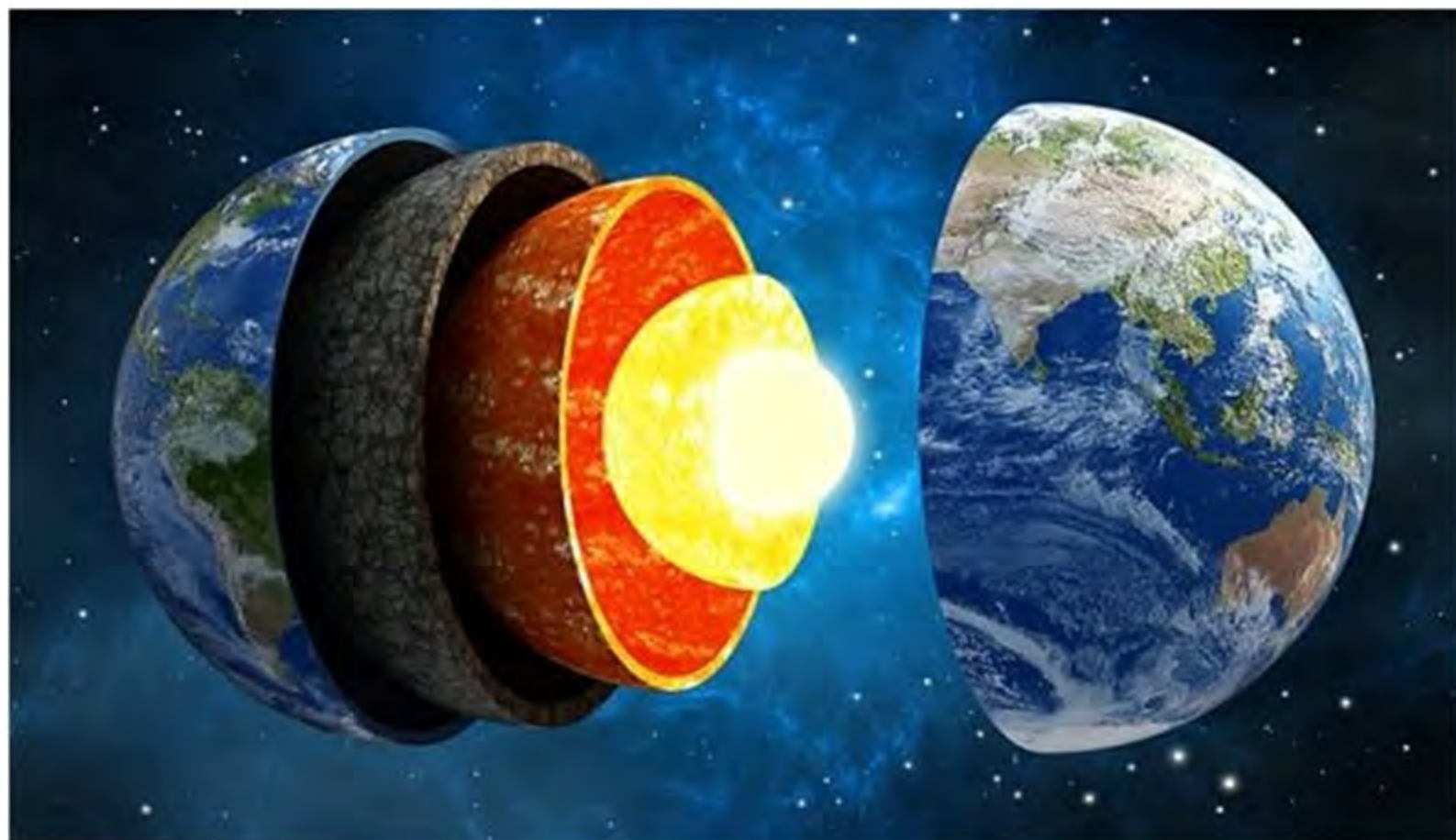
月球引力潮汐作用原理，潮汐现象动画演示
(xiaohongshu.com)

3. 固体潮

- ① The Moon and Earth exert a gravitational pull on each other. On Earth, the Moon's gravitational pull causes the oceans to bulge out on both the side closest to the Moon and the side farthest from the Moon. These bulges create high tides. The low points are where low tides occur.
- ② The Moon's gravitational pull on Earth, combined with other, tangential forces, causes Earth's water to be redistributed, ultimately creating bulges of water on the side closest to the Moon and the side farthest from the Moon.
- ③ Rising and ebbing tides happen as Earth's landmasses rotate through the tidal bulges created by the Moon's gravitational pull. Our observer sees the tides rise when passing through the bulges, and fall when passing through the low points. Of course, in reality the Earth isn't a smooth ball, so tides are also affected by the presence of continents, the shape of the Earth, the depth of the ocean in different locations, and more. The timing and heights of the tide near you will be affected by those additional elements.
- ④ Twice a month, when the Earth, Sun, and Moon line up, their gravitational power combines to make exceptionally high tides, called spring tides, as well as very low tides where the water has been displaced. When the Sun is at a right angle to the Moon, moderate tides, called neap tides, result. From our view on Earth, these tides coincide with certain lunar phases since they occur when the Moon reaches specific positions in its orbit.
- ⑤ Earth's tidal bulges don't line up exactly with the Moon's position. Because the Moon is orbiting in the same direction as the Earth rotates, it takes extra time for any point on our planet to rotate and reach exactly below the Moon. This means that the high tide bulges are never directly lined up with the Moon, but a little ahead of it.



3. 固体潮





3. 固体潮

海浪
waves

潮汐
tides

固体潮
Solid tides



目 录

第一节 地球的形状

第二节 重力

第三节 固体潮

第四节 重力的应用



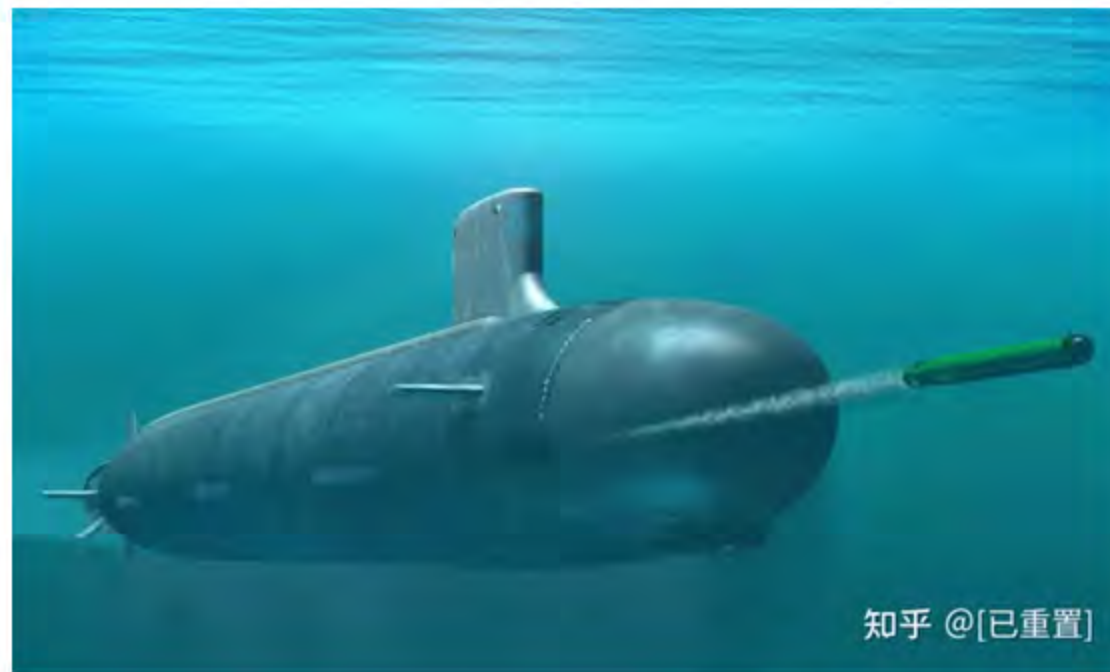
4. 重力的应用





4. 重力的应用

军事





4. 重力的应用

军事





4. 重力的应用

石油勘探

为什么是高的重力异常

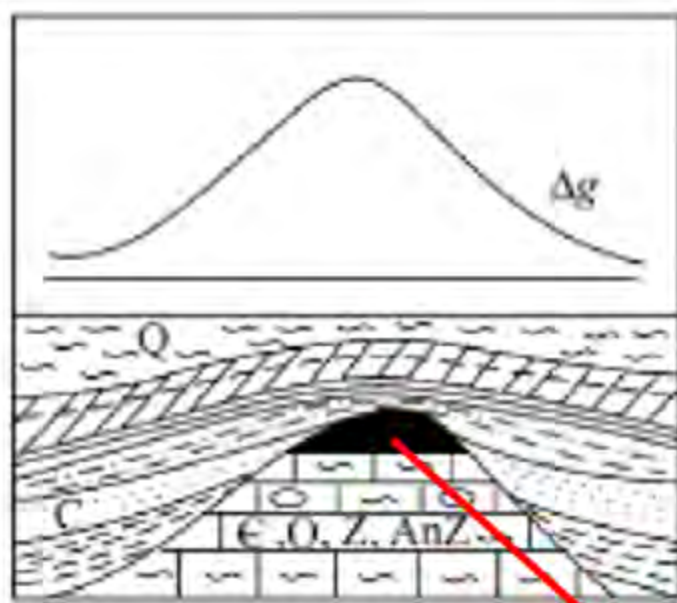


图 10-9 古潜山储油构造

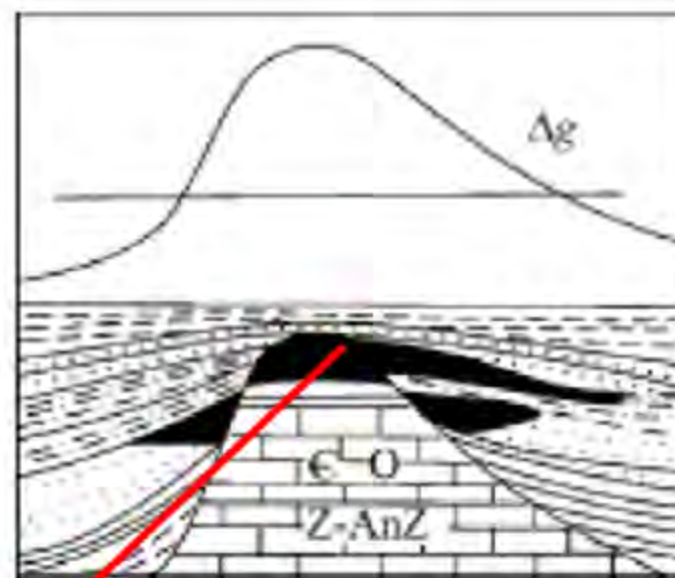
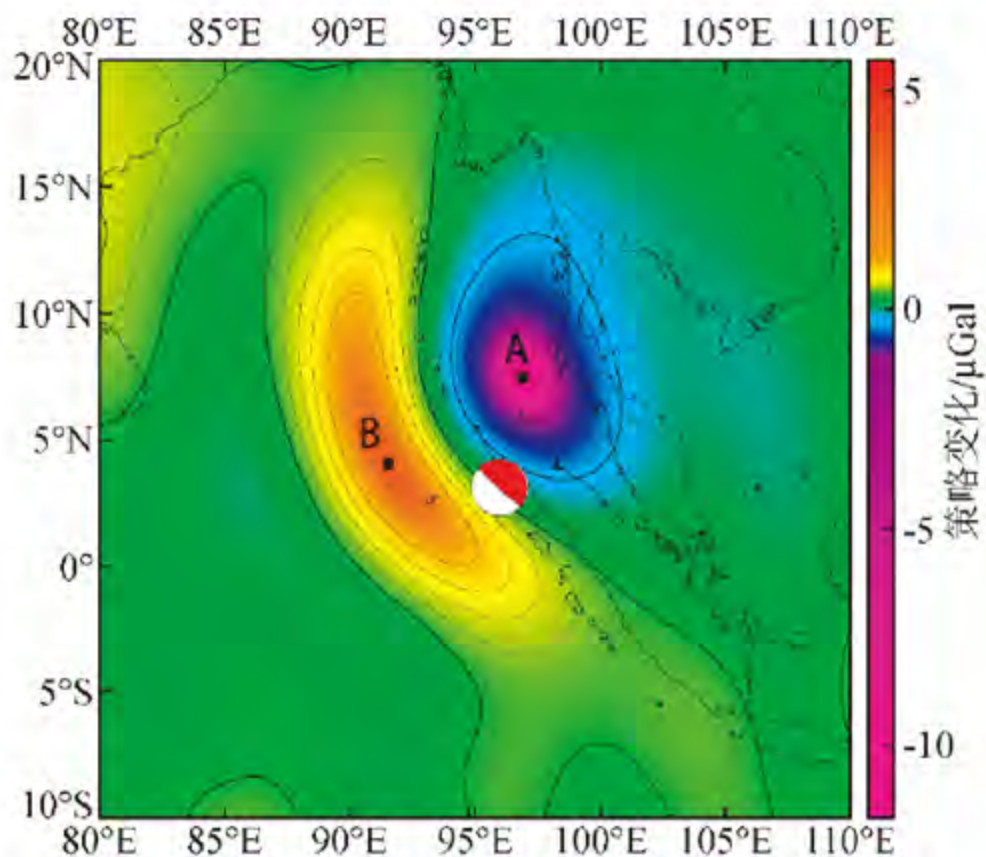


图 10-10 断层切割、封闭储油构造

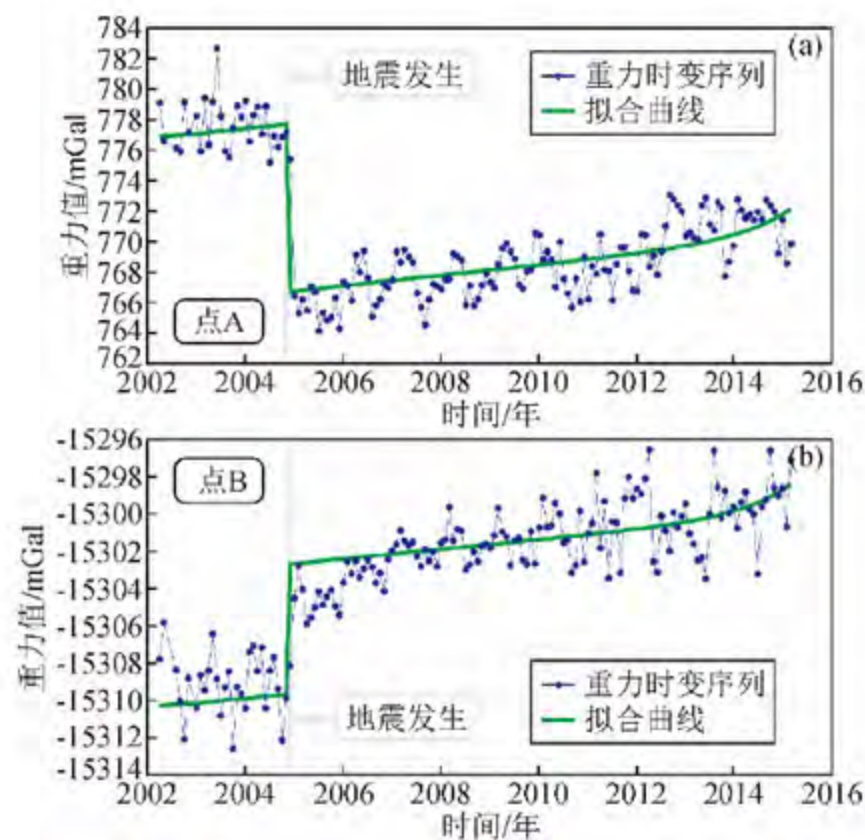
石油



4. 重力的应用



GRACE观测到2004年苏门答腊地震的同震重力变化

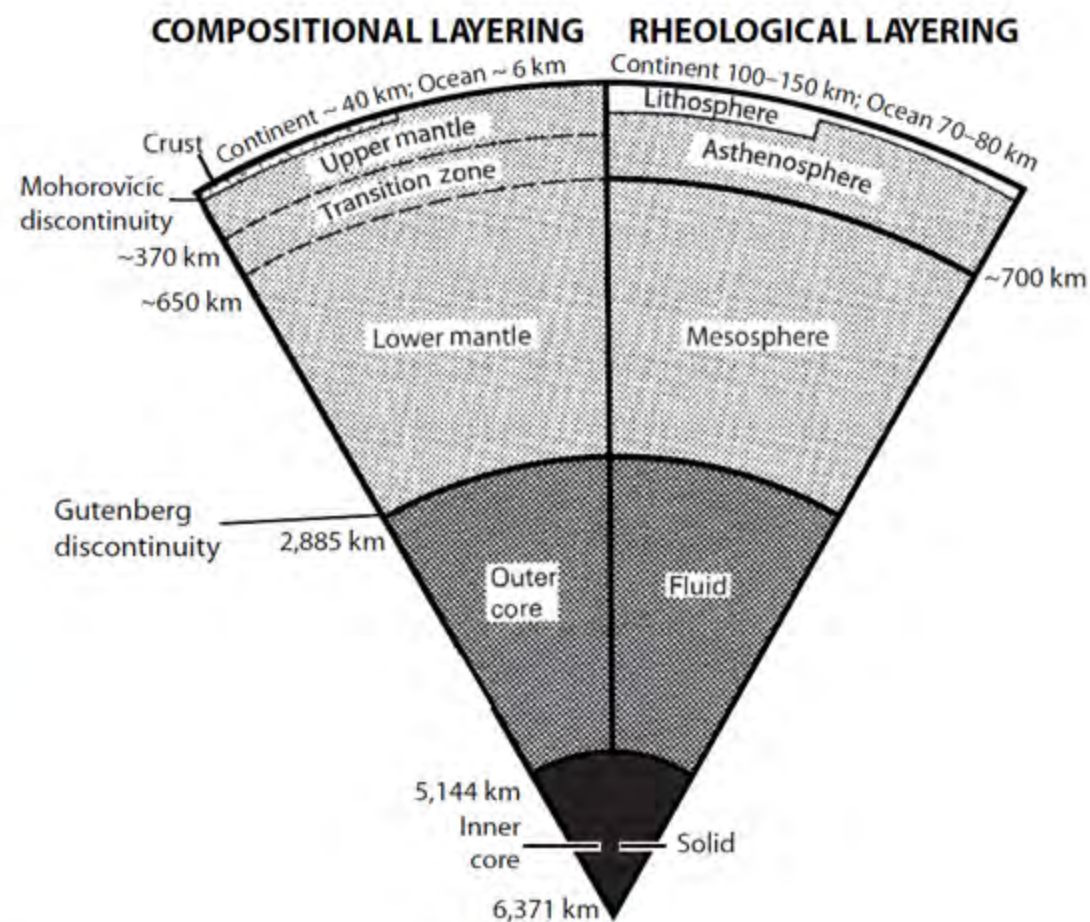
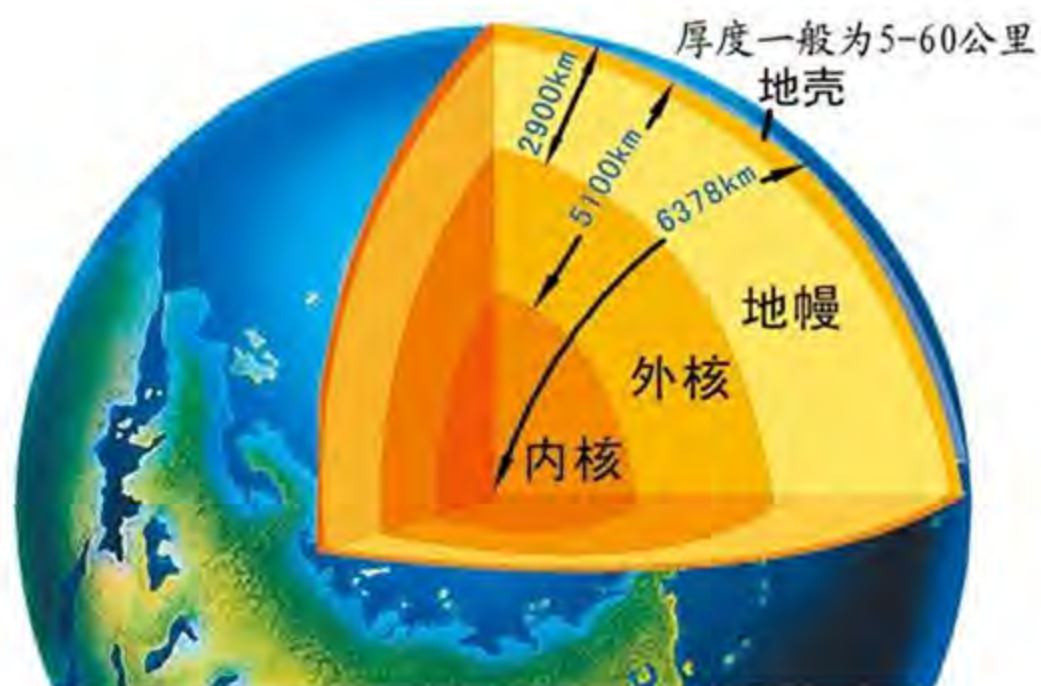


苏门答腊地震的单点重力变化序列



4. 重力的应用

深部构造

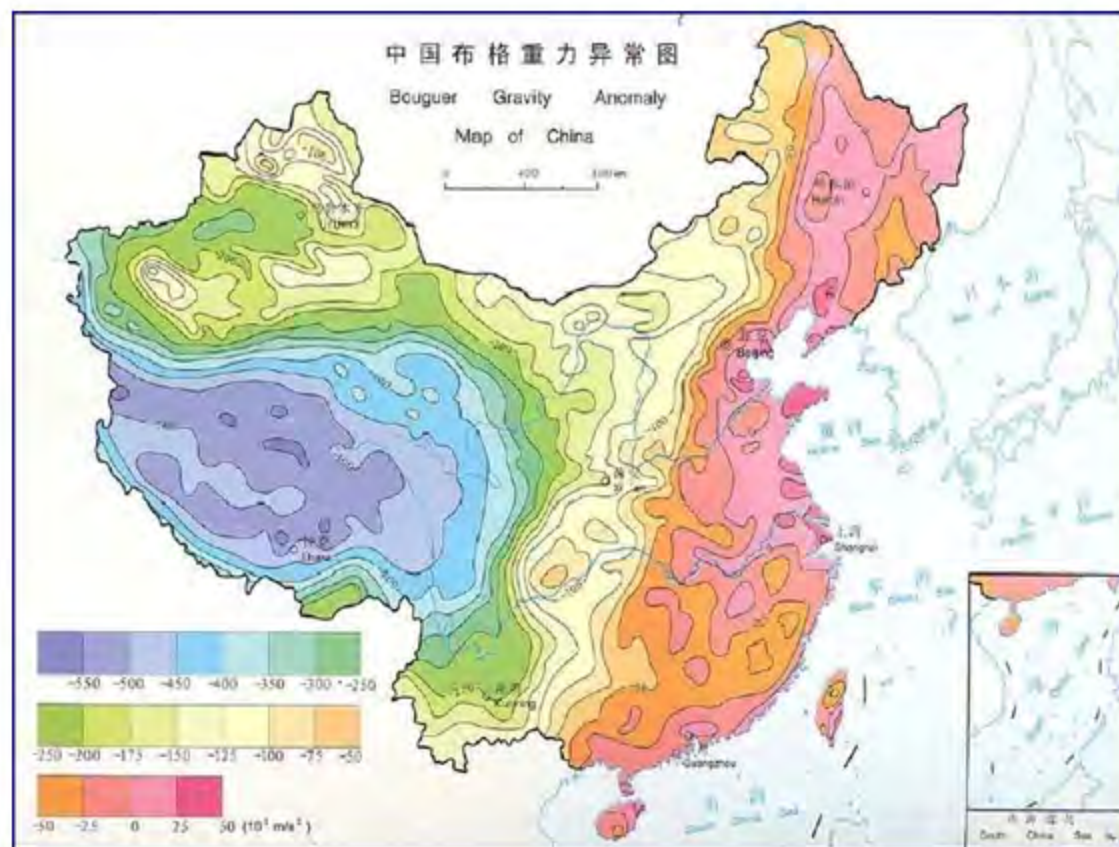


地壳和地幔的分界面是什么？



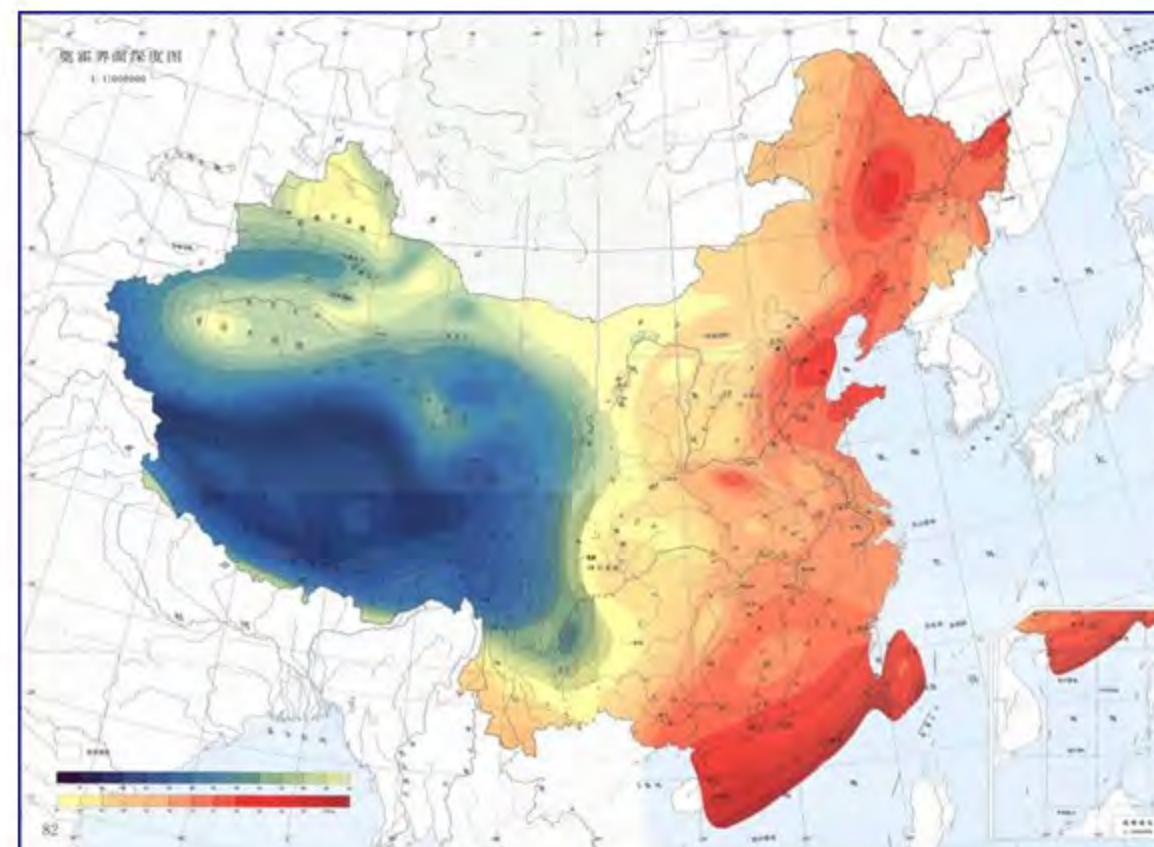
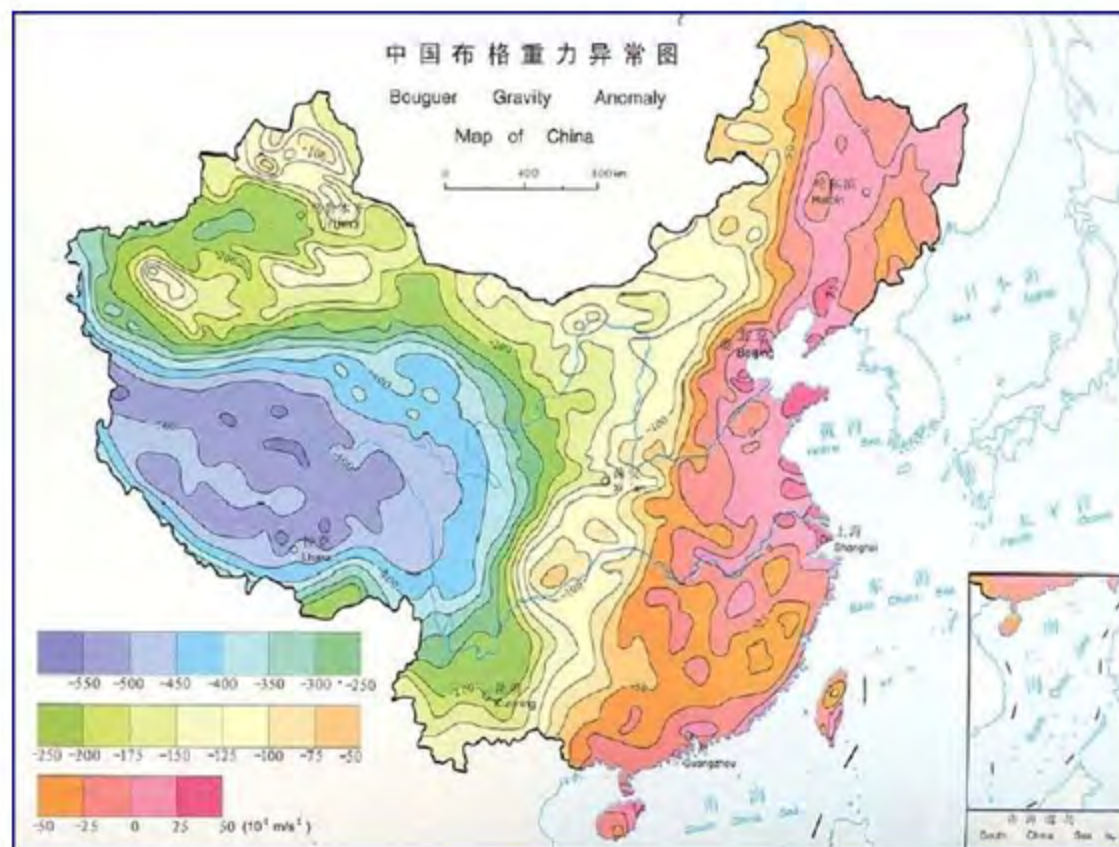
4. 重力的应用

深部构造



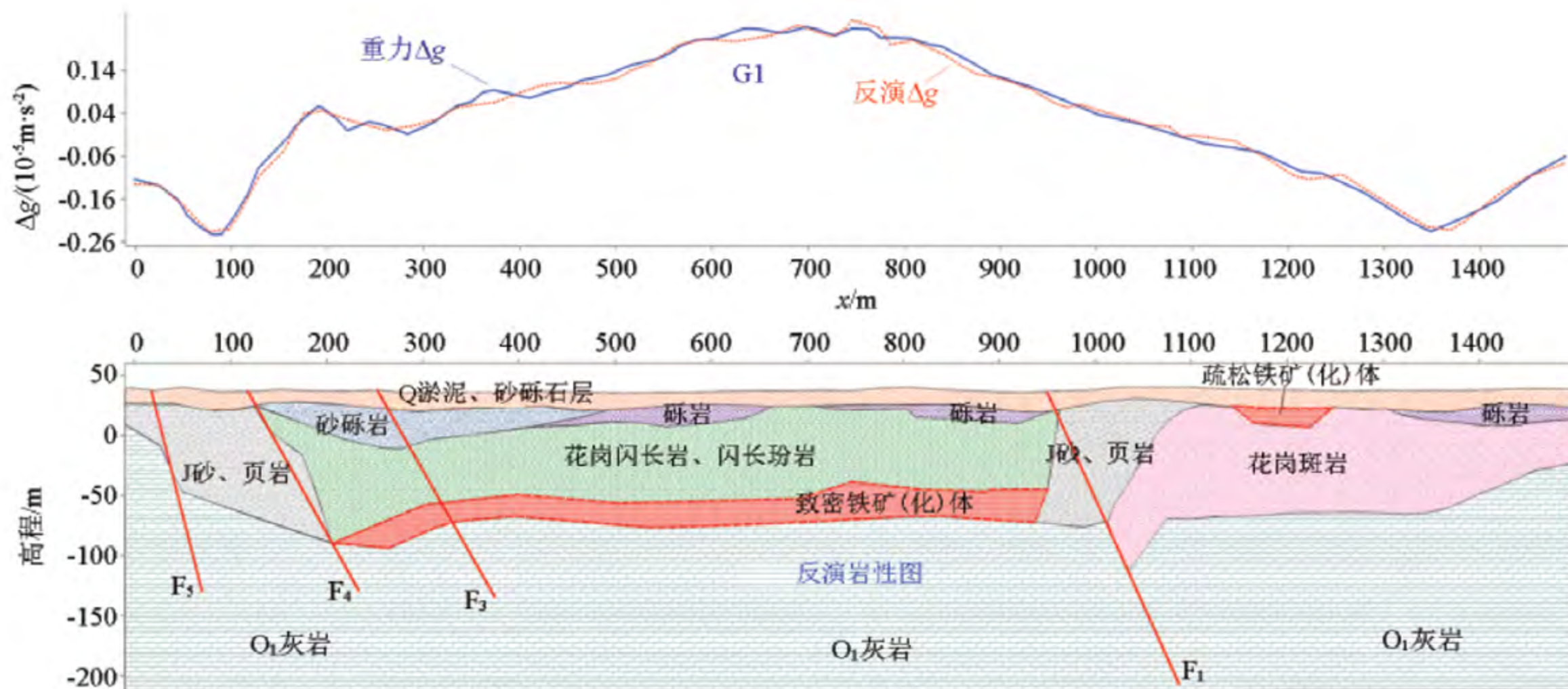
4. 重力的应用

深部构造



4. 重力的应用

基地填图、追索断裂



4. 重力的应用

大地测量



人类首次在珠峰使用重力测量

5月27日，2020珠峰高程测量登山队8名攻顶队员登顶珠穆朗玛峰，此时，距离1960年中国人首次登顶珠峰，已是整整60年。

值得自豪的是，使用GNSS接收机通过北斗卫星进行高精度定位测量，雪深雷达探测仪探测了峰顶雪深，重力仪进行了重力测量。测量所用高精度测量仪器均由我国自主研发，这也是人类首次在珠峰峰顶开展重力测量。

不同海拔位置的重力加速度 g 不同，重力仪通过测量珠峰峰顶的重力加速度 g ，反推算出珠峰高程，从而使珠峰高程数据更加可靠。

请点击下方链接，关注央视报道更多关于登顶珠峰的精彩内容。

Z400
型重
力仪



4. 重力的应用

储能

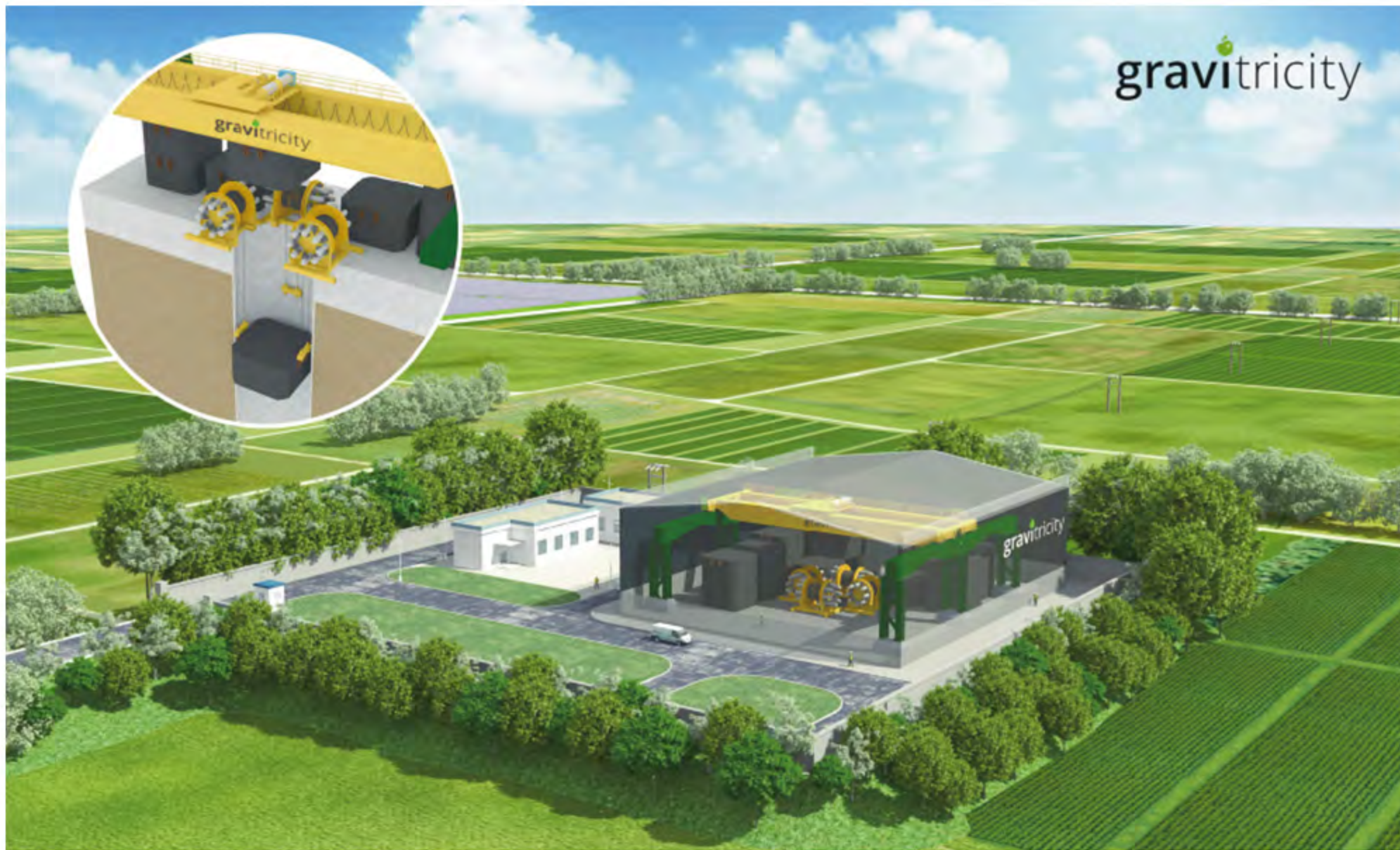


Gravitricity公司的250 kW重力储能示范项目，已连接至电网。塔高15 m，利用两个25 t重物存储能量



4. 重力的应用

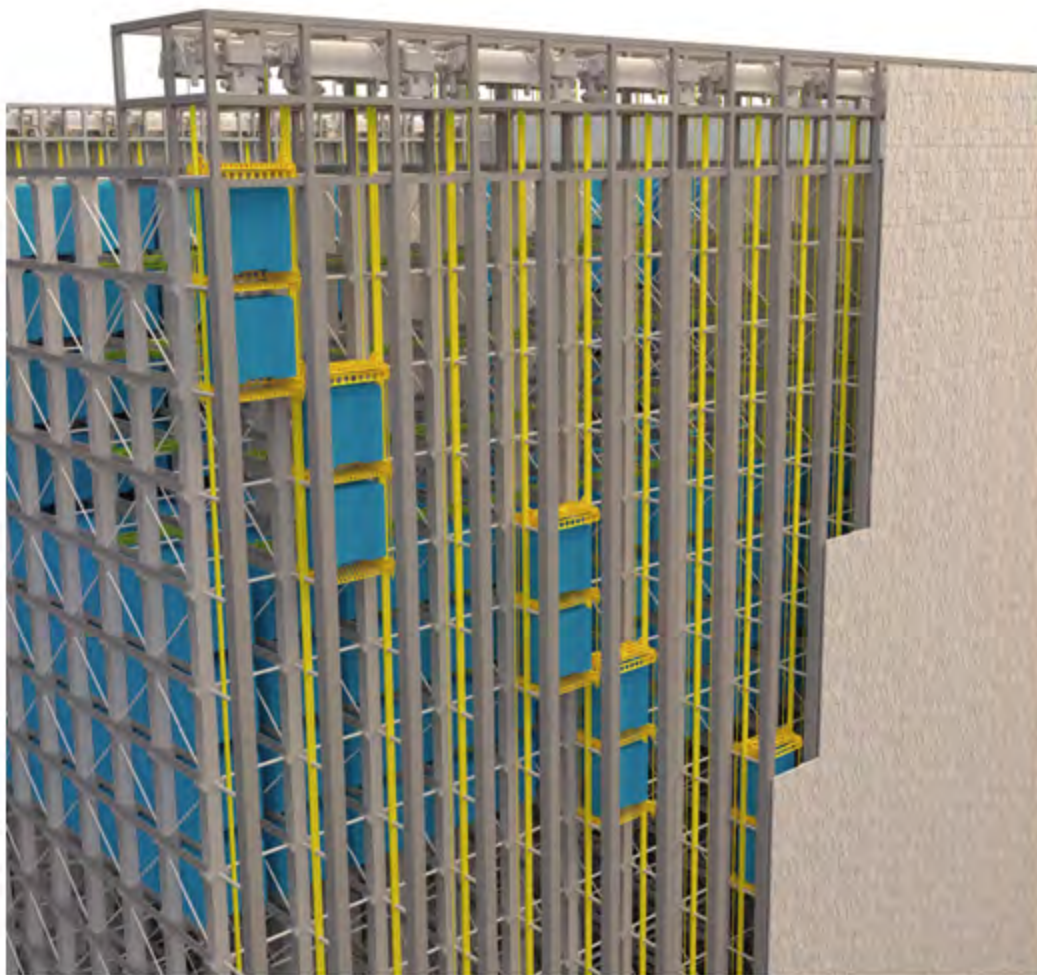
储能





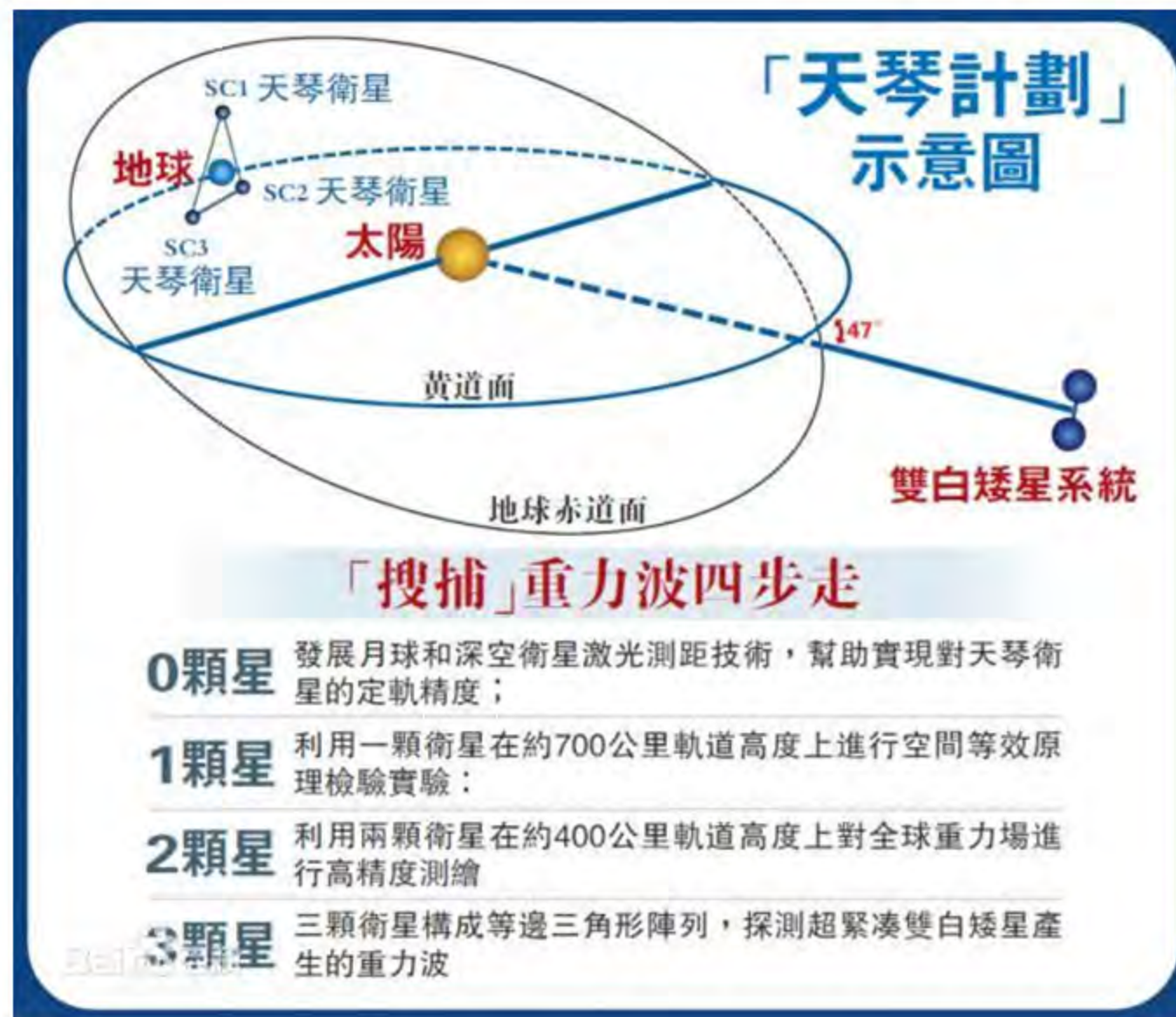
4. 重力的应用

储能



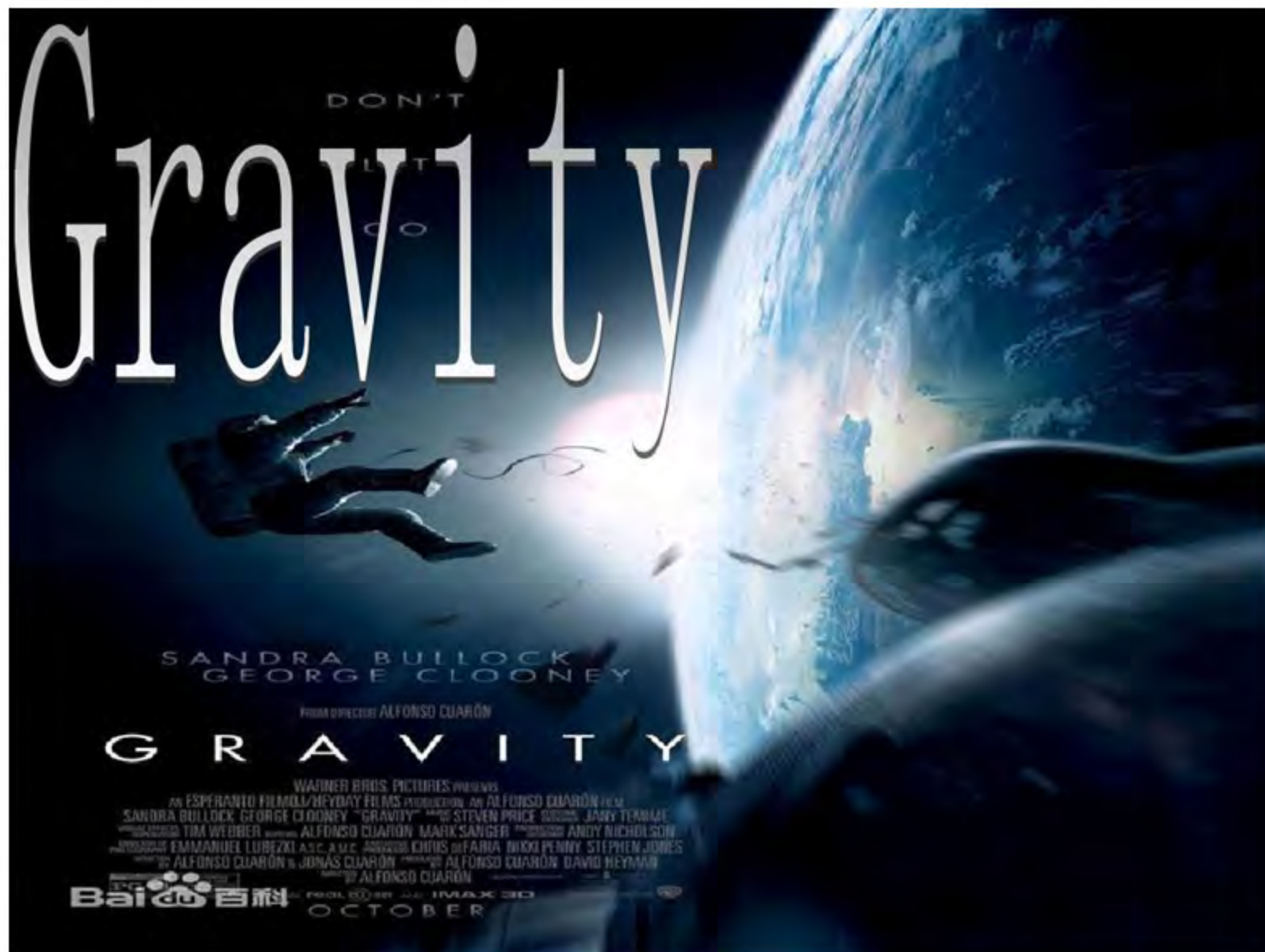
4. 重力的应用

天体研究





4. 重力的应用





4. 重力的应用



小节

- 重力概述
- 固体潮





课后习题

- 不同星球的加速度
- 固体潮和潮汐的区别



课程结束

陈涛

