

力学与热学

主讲人：丁桂军

Email:dinggj@ustc.edu.cn

Tel(O):63603213

Office:中区理化科学实验中心614

助教:

●刘祥干

Email:heplixg@mail.ustc.edu.cn

手机: 13517215356

课程QQ群: 725296066

➤课程主页

<http://staff.ustc.edu.cn/~dinggj/mechanics.html>

➤答疑课（和习题课）

两周一次，请和助教商定时间。

➤作业

每周交一次（每周五），每次课的作业课后放在课程主页，请不要迟交和抄习题解答，**逾期记为“零分”**。

使用教材：

《力学与理论力学》

上册， 杨维纮



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
中国科学技术大学国家基础科学人才培养基地物理学丛书

主 编 杨国桢 副主编 程福臻

力学与理论力学

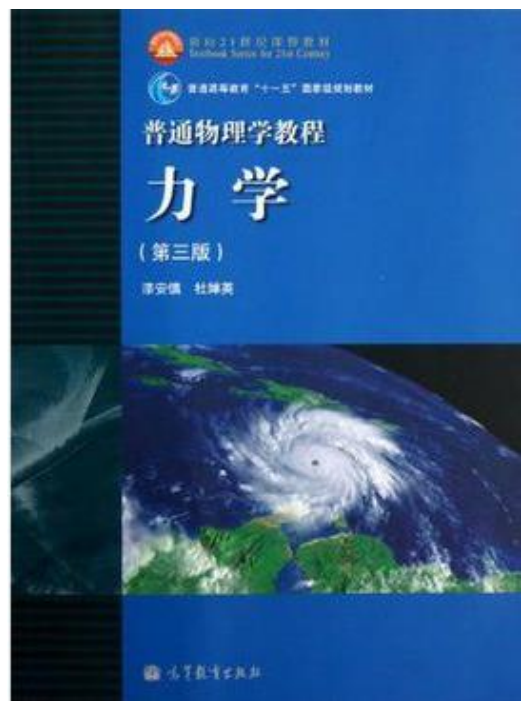
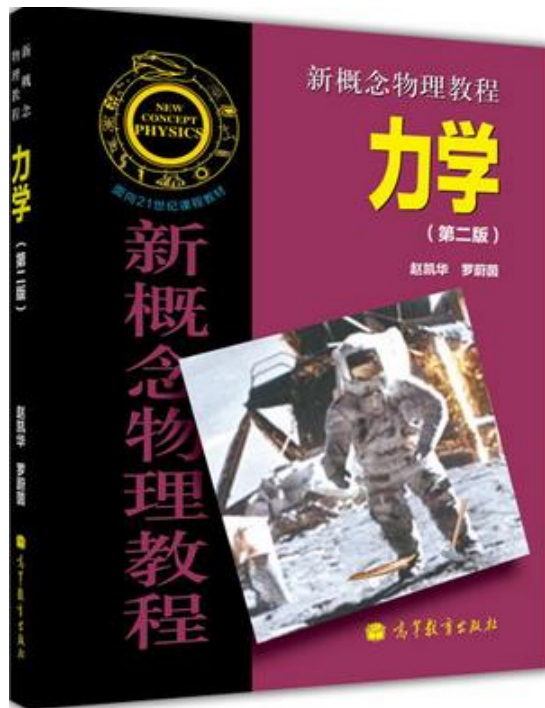
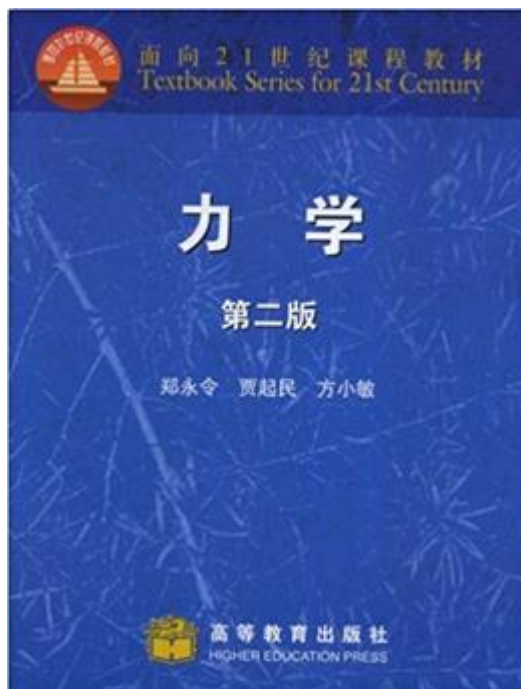
[上册]

(第二版)

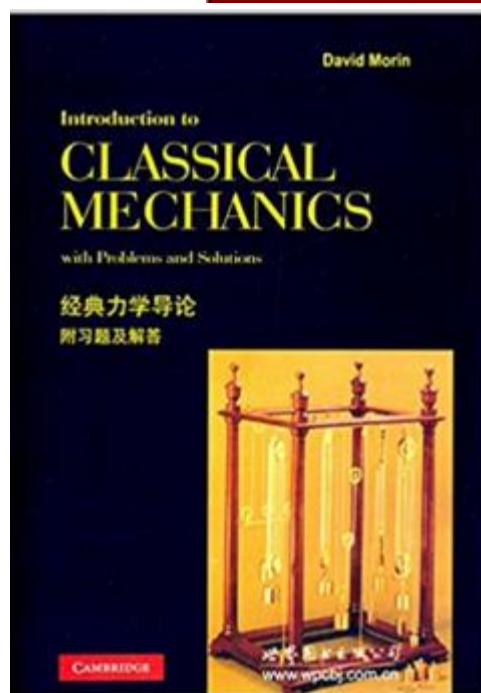
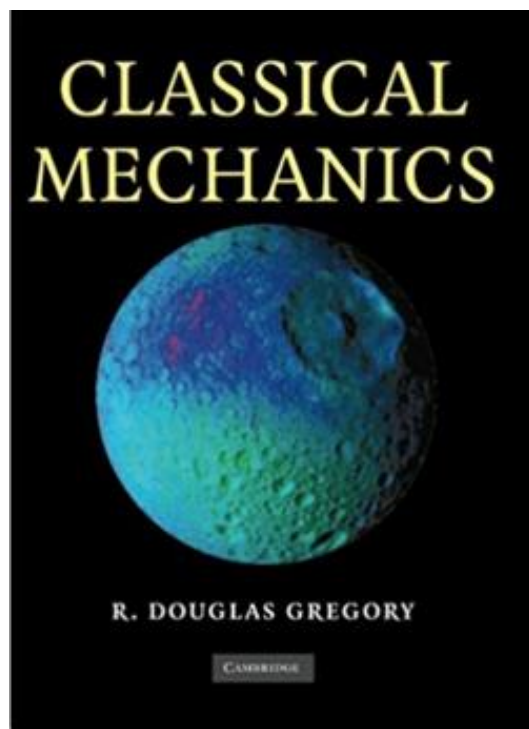
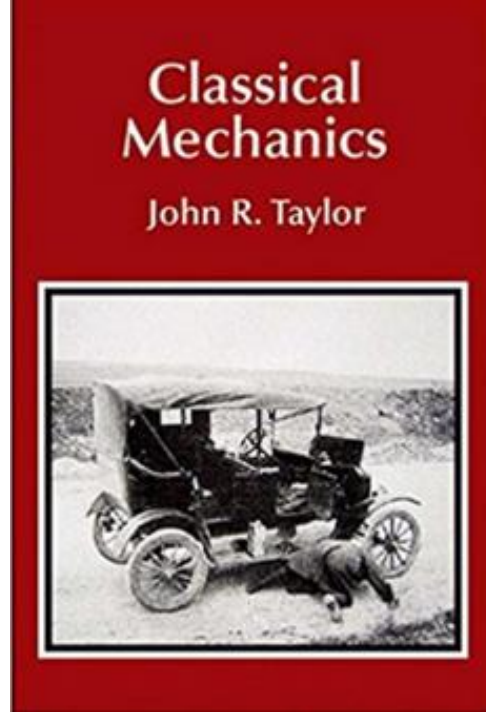
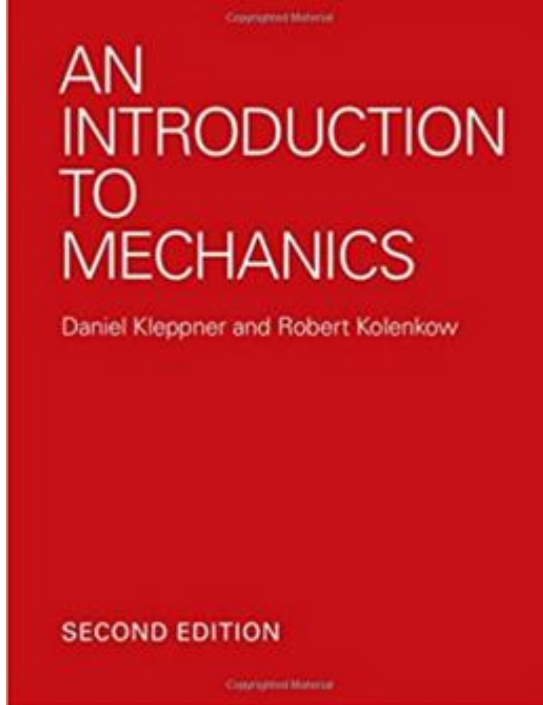
杨维纮 编著

 科学出版社

参考教材（中文）



参考教材（英文）



辅导书和习题解答

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材配套教辅

高等学校理工类课程学习辅导丛书

力学 习题与解答

主编 编著

大学出版社
UNIVERSITY PRESS

《力学与

杨维

张永德/主编
物理学大
力学
A Grand
of P
Problems
张元荣 程稼夫/编著

张永德/主编
物理学大**题典**
力学 1
上册
A Grand Dictionary
of Physics
Problems And Solutions
张元荣 程稼夫/编著

科学出版社
www.sciencep.com
中国科学技术大学出版社

网络开放课程

①麻省理工学院公开课：经典力学

中文翻译：

<http://v.163.com/special/opencourse/classicalmechanics.html>

英文原版：

<http://mit.espe.edu.ec/courses/physics/8-01-physics-i-classical-mechanics-fall-1999/index.htm>

② MIT open courseware: 8.01L Physics I: Classical Mechanics

<https://ocw.mit.edu/courses/physics/8-01l-physics-i-classical-mechanics-fall-2005/>

③ MIT open courseware: 8.012 Physics I: Classical Mechanics

<http://ocw.mit.edu/courses/physics/8-012-physics-i-classical-mechanics-fall-2008/index.htm>

④ MIT open courseware: 8.01SC Physics : Classical Mechanics

<https://ocw.mit.edu/courses/physics/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/index.htm>

致 学 生

大学物理课的头一年一向是最困难的。在第一年里，学生要接受的新思想、新概念和新方法要比在高年级或研究院课程中还要多得多。一个学生如果清楚地了解了力学中所阐述的基本物理内容，即使它还不能在复杂情况下运用自如，它也已经克服了学习物理学的大部分的真正困难了。

— 摘自《伯克利物理学教程力学卷》

关于学习方法和学风的要求

- ①重视预习和复习，主动培养自学能力，适应“粗线条”的讲课方式（讲思路、讲背景、讲重点难点）。
- ②摒弃“题海战术”认真听课、记要点。仔细阅读、理解课堂上讲授的基本概念、基本规律、基本方法。
- ③高质量地及时地完成作业，不抄袭作业。摒弃“题海战术”，努力理解题目背后的物理意义、达到进一步理解和巩固所学知识的目的。
- ④严守课堂纪律（不迟到，不影响他人听课），不得无故旷课。
- ⑤有任何意见和建议请及时反映，以便尽早调整。

要勤于思考,悟物穷理，不断建立自己的物理图象。

成绩考核与作业要求：

考核方案1： { 期中考试 : 50%
作 业 : 10% 总成绩：满分100分
期 末 考 试 : 40%

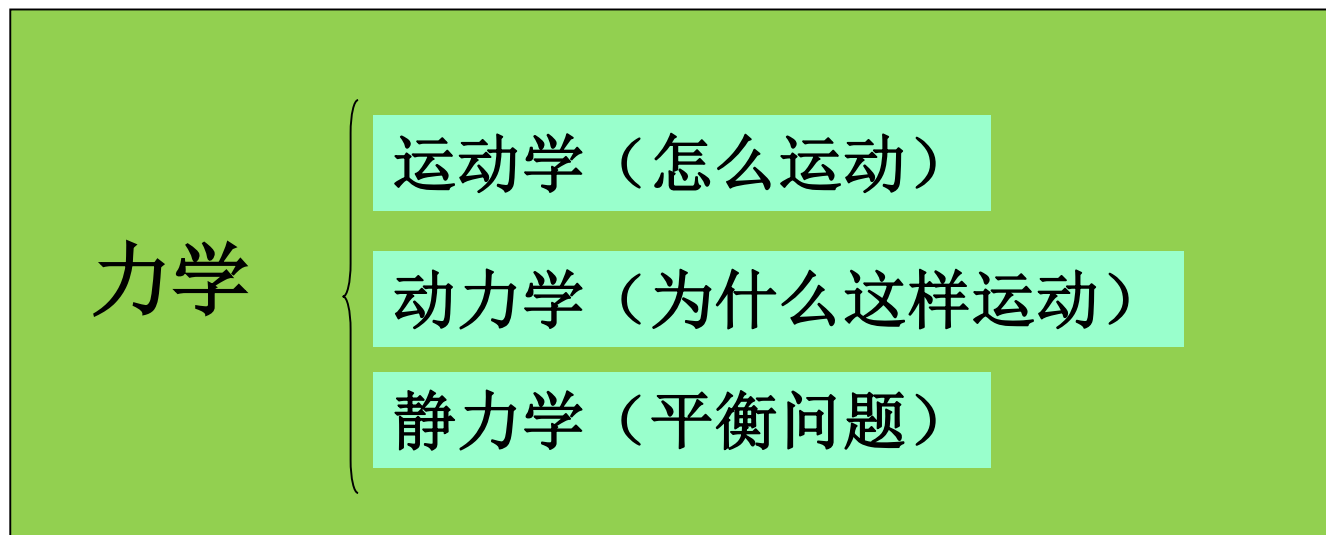
考核方案2： { 期中考试 : 60%
作 业 : 10% 总成绩：满分100分
期 末 考 试 : 30%

最后取两者的最高分！

引言：时间和空间

● 力学的研究对象——物体的机械运动

机械运动：宏观物体之间（或物体内部各部分之间的相对位置变动（具有绝对性和相对性）。



□描述物体的运动即需要指明物体什么时刻在什么位置，因此需要到用时间和空间这两个概念。

什么是时间？什么是空间？

一种或许可以接受的说法是：时间、空间是物理事件之间的一种次序，时间用以表述事物之间的顺序，空间用以表述事件之间的位置。

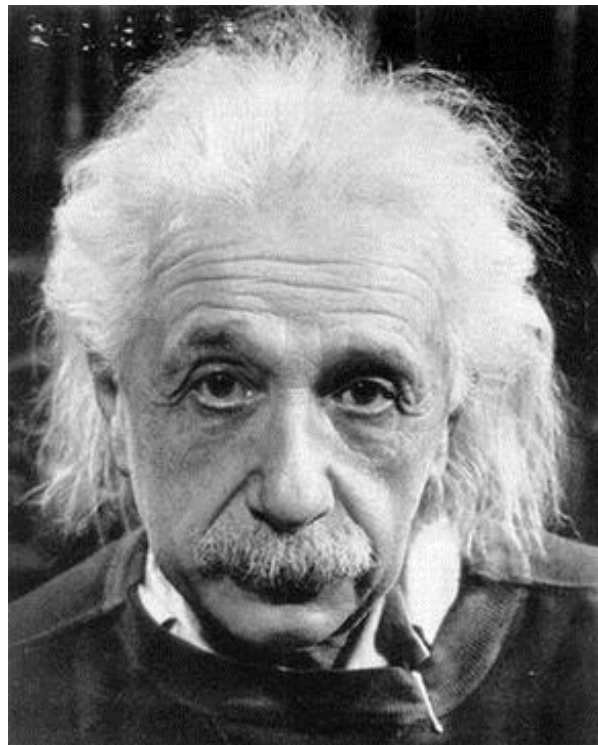


伟大的神学家及哲学家圣·奥古斯丁 (Augustine, AD354-430), 在说出了他所知道的关于时间的所有问题后——例如, 他说这句话就得花费时间——承认他确实“十分抱歉, 因为我甚至不知道我所不知道的是什么”!



牛顿

绝对时空观



爱因斯坦

狭义相对论和广义相对论

1. 绝对时空观（牛顿时空观）

牛顿对绝对空间和时间的定义：

Absolute space, in its own nature, without relation to anything external, remains always similar and immovable.. . . .

绝对空间，就其本性而言，与外界任何事物无关，而永远是相似的和不可移动的……

Absolute, true and mathematical time of itself and from its own nature, flows equally without relation to anything external.. . . .

绝对、真实与数学的时间本身，由于它的本性而均匀流逝，与外界任何事物无关……

- 绝对时空观：时间和空间的测量与物体的存在和运动没有任何关系。对于不同的参考系，长度和时间的测量结果是相同的。
- 在弱引力、低速（远低于真空光速）运动情况下，绝对时空观符合实验结果。

2. 空间的计量

空间反映物质运动的广延性。空间中两点间的距离即为长度。



米尺



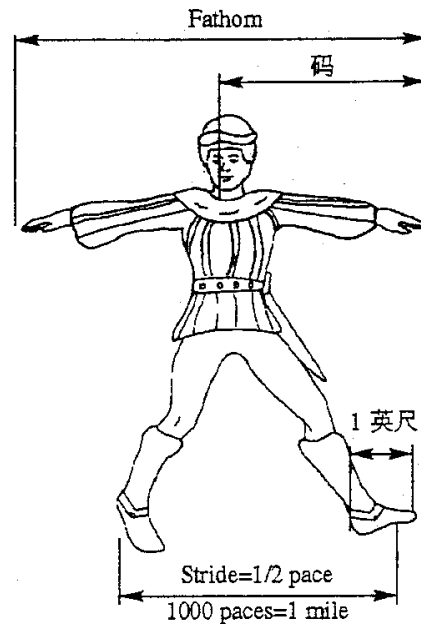
游标卡尺和螺旋测微器



显微镜



公元9世纪英国国王亨利一世



16个德国成年男子
左脚的平均长度

●长度的单位：米（m）

历史上，将通过巴黎的子午线从北极到赤道之间的长度的千万分之一定义为米。

①长度计量的实物基准：

1889年，第一届国际计量大会通过：将藏在法国的国际计量局中铂铱合金棒（米原器）在 0°C 时，两条刻度线间的距离定义为米。

缺点：这样规定的标准米不易复制，精度又不高

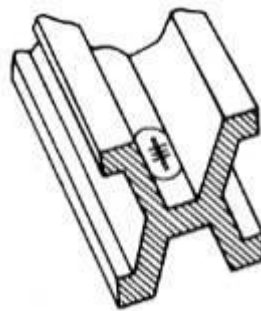
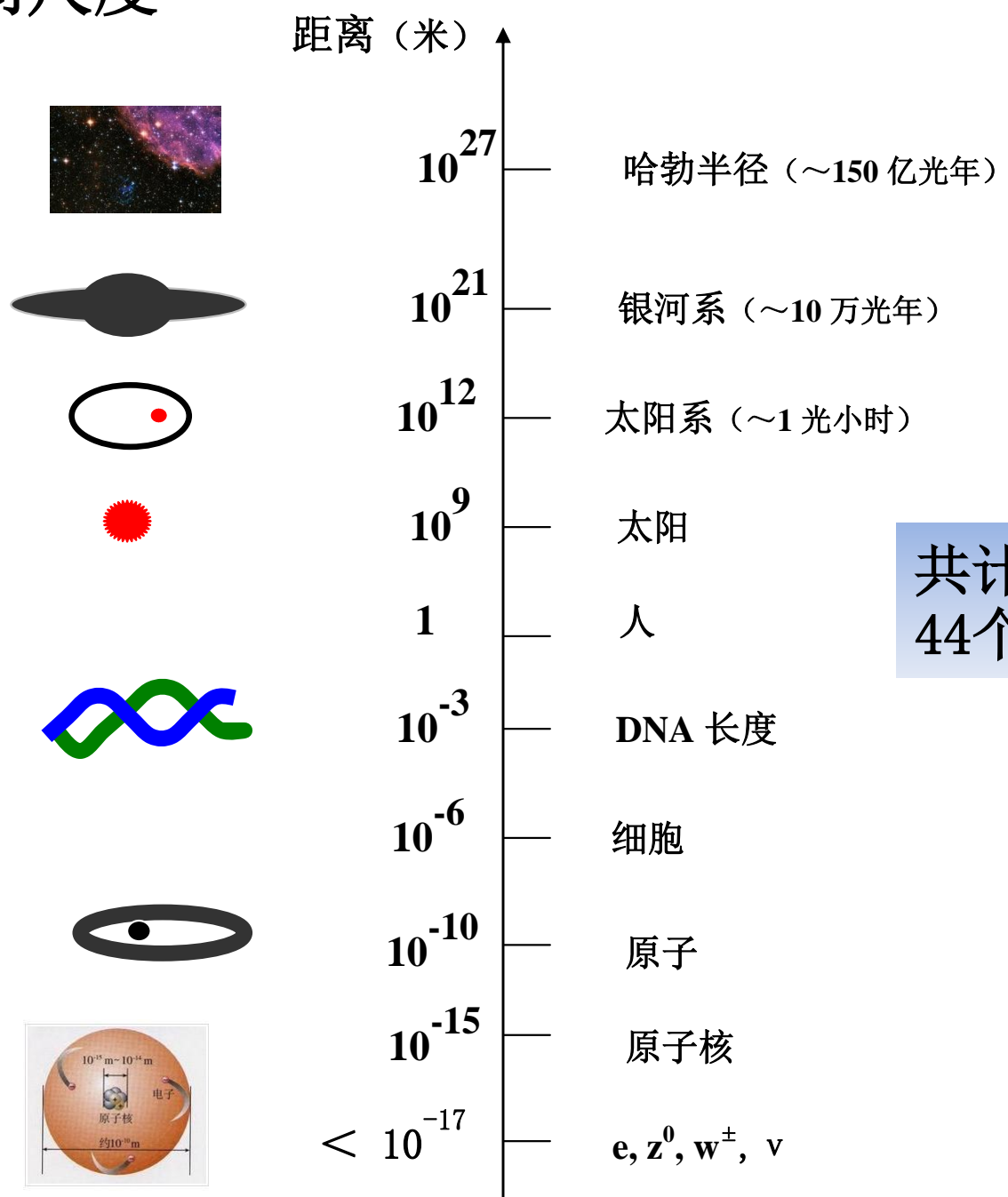


图 15-1 国际米原器

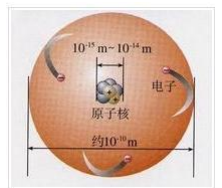
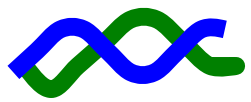
②长度的**自然基准**：（1960 年第十一届国际计量大会）氪 86 原子的橙黄色波长来定义“米”，规定“米”为这种光的波长的1 650 763.73 倍，这样规定的米叫**原子米**，其精度为 4×10^{-9} 。

③ 1983年10月召开的第十七届国际计量大会上已正式通过了新的米的定义，即用**光速值来定义“米”**：米是光在真空中在1/299 792 458秒的时间间隔内所传播的路程长度。光速 c 是一个固定的常数，即 $c = 299792458$ 米/秒。

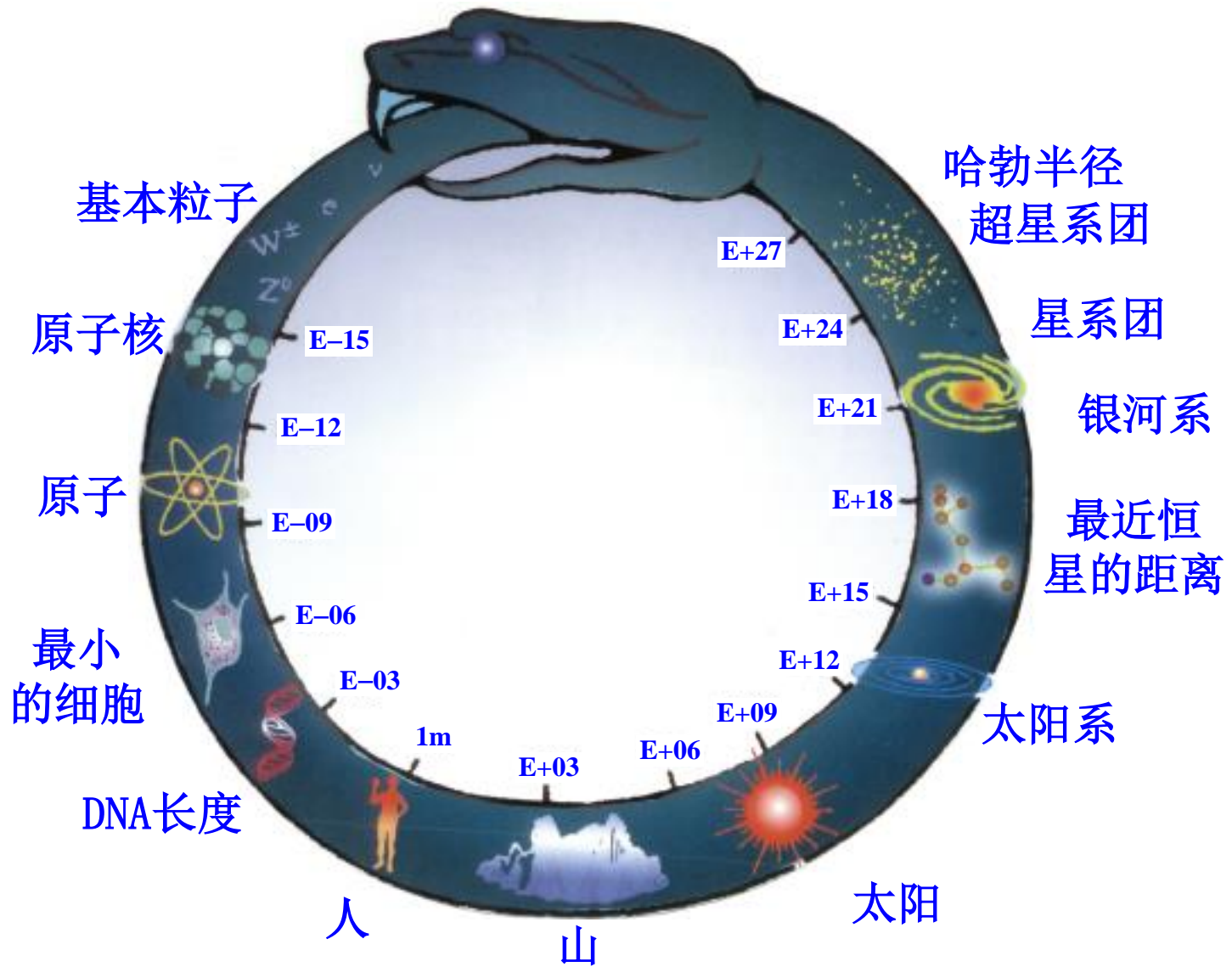
● 典型空间尺度



共计跨越了约 44 个数量级。



物质世界空间尺寸的层次性和统一性！



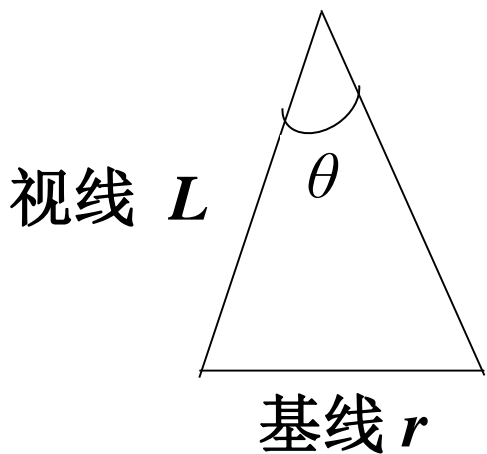
空间单位

①天文单位 (AU) : 日地距离 $1\text{AU} \approx 1.5 \times 10^{11} \text{ m}$

太阳系的直径约为 80AU , 即约 10^{13} m 。

②光年 (l.y.) : $1 \text{ l. y.} \approx 9.4607301 \times 10^{15} \text{ m}$

③差秒距 (pc) : $1\text{pc} = \frac{1\text{AU}}{1''} = \frac{1\text{AU}}{\frac{\pi}{180} \times \frac{1}{60 \times 60}}$



$$\begin{aligned} &\approx 2.06265 \times 10^5 \text{ AU} \\ &\approx 3.08568 \times 10^{16} \text{ m} \\ &\approx 3.2616 \text{ 光年} \end{aligned}$$

④埃 (Å) : $1\text{Å} = 1.0 \times 10^{-10} \text{ m}$

3. 时间的计量

时间是表征物质运动的持续性。原则上，任何具有重复性的过程或现象，都可以作为测量时间的一种钟。

- 太阳的升没表示天；
- 月亮的盈亏是农历的月；
- 四季的循环称作年；
-



为统一使用时间，有必要确定时间的单位和标准。

➤选择一天或一秒作为时间的某个标准单位，并把所有其它的时间表示为这个单位的倍数或分数。

➤选择一只标准的钟，使全世界所有的钟有一个统一的计时（格林尼治时间和时区）。

●时间的单位：秒（s）

①时间计量的**实物基准**——**地球自转**

秒： 1 秒 = 平均太阳日 \times (1 / 8 6 4 0 0)

太阳日： 太阳连续两次经过某处子午面的时间间隔；

平均太阳日： 一年之内全部太阳日的平均。

②时间的**自然基准**：1967年10月在第十三届国际度量衡会议上规定位于海平面上的铯原子的基态的两个超精细能级在零磁场中跃迁辐射的周期T与1秒的关系为

$$1 \text{秒} = 9,192,631,770 \text{ T}$$

这样的时间标准称为**原子时**



铯原子钟

用铯钟作为计时标准，误差若按一个周期计算，测量精度要比秒表作時計提高 10^{10} 倍，即误差下降到秒表的 10^{10} 之一。

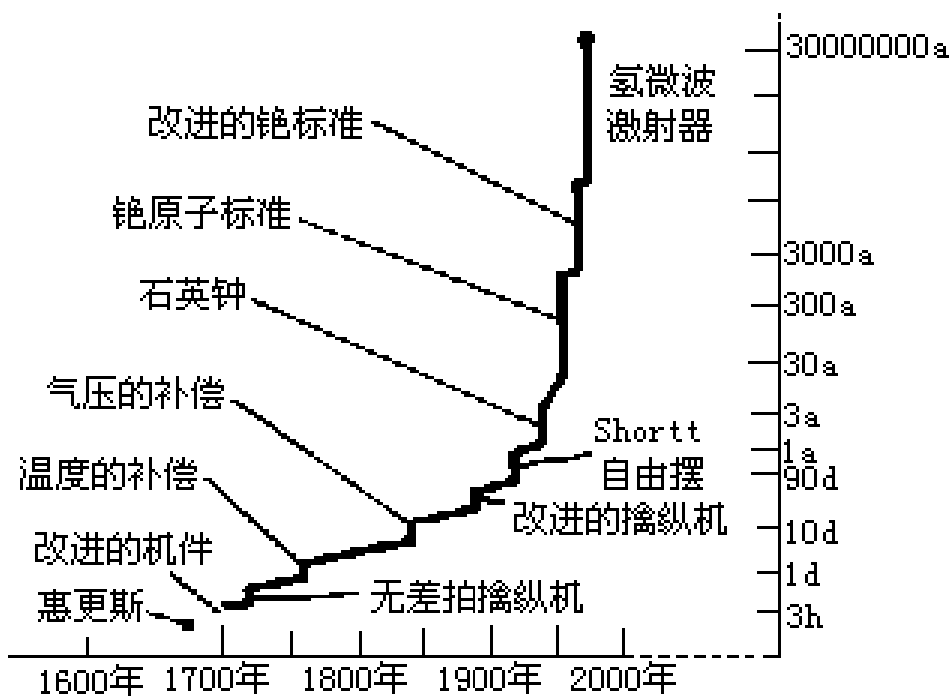


图1-2 时钟的改进

图中右端标出各种钟快慢1秒钟所经过的时间
(a、d、h分别为年、日、小时的符号)

自从人类发明机械计时的时钟以来，400年来时间计量准确度的提高是惊人的，现代的原子的计时误差已小于 10^{-12} 秒/天。目前，**时间是测量得最准确的一个基本量。**

●短的时间

- ① “天”与“小时” 沙漏
- ② “小时”与“秒” 机械摆
- ③ 电子摆与高频振荡电路
- ④ 介子寿命与传播距离



传递弱相互作用的矢量粒子 W^{\pm} 和 Z^0 的寿命只有 $10^{-25}s$ ，大致相当于光通过质子所花时间的百分之一。

目前物理学中涉及的最小时间是 $\sqrt{Gh/c^5} = 1.35 \times 10^{-43}s$ ，称为普朗克时间。比普朗克时间还要小的范围内，时间的概念可能就不再适用了。

●长的时间

① “天” 与 “年”

② 稍长的时间 树木年轮、沉积物

③ 更长的时间 放射性物质半衰期



在这种情况下，并不出现周期性，但存在一种“规则性”。

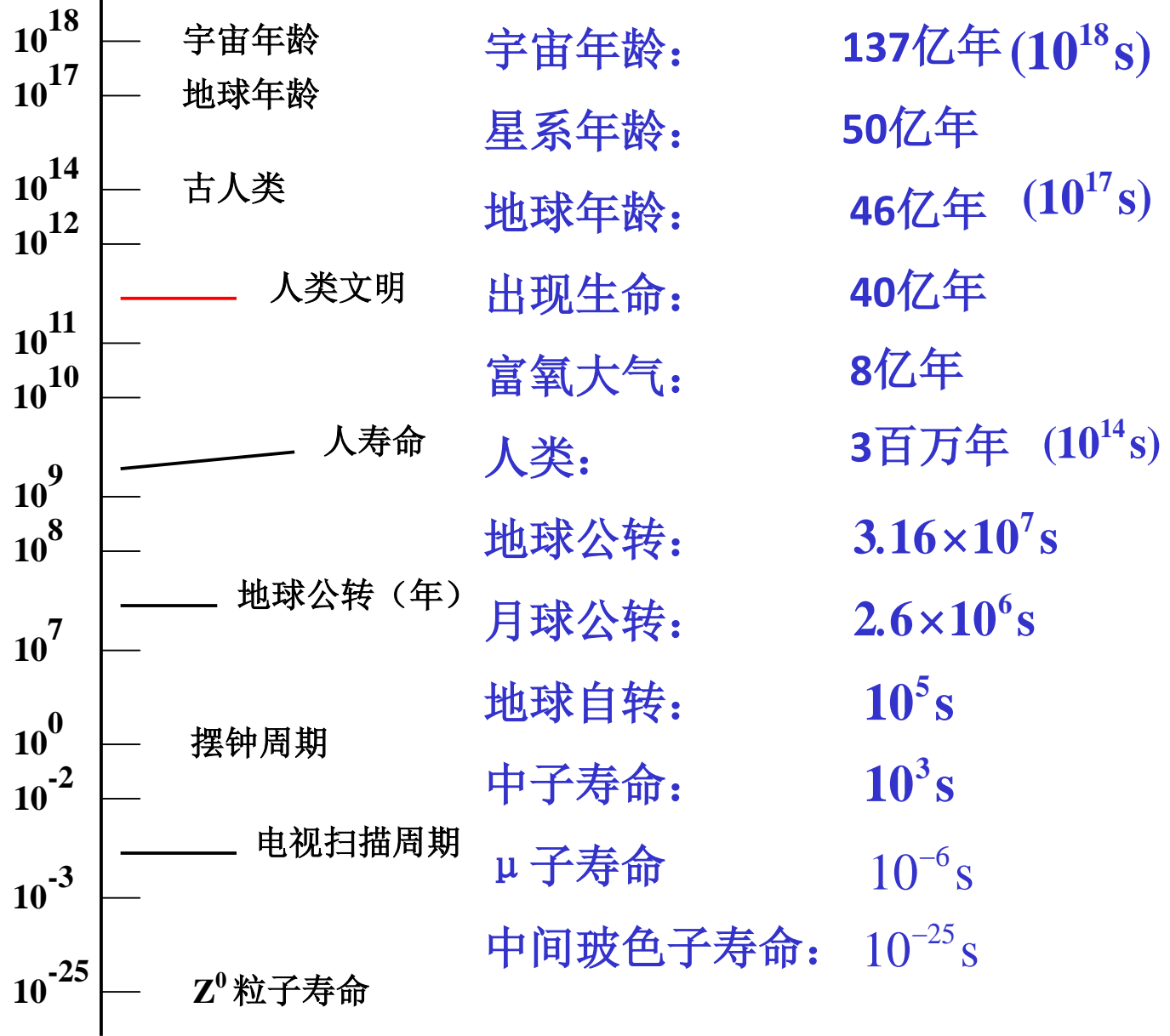
$$N = N_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{-t/T}$$

地球的年龄约为46亿年；太阳系的年龄也为46亿年；宇宙的年龄大约为100亿年到200亿年（ $6 \times 10^{17} \text{s}$ ），最新成果认为是约137亿年。宇宙是有起点的，谈论更早的时间似乎是没有意义的。

物理学中涉及的最长时间是 10^{38}s ，它是质子寿命的下限。

●典型时间尺度

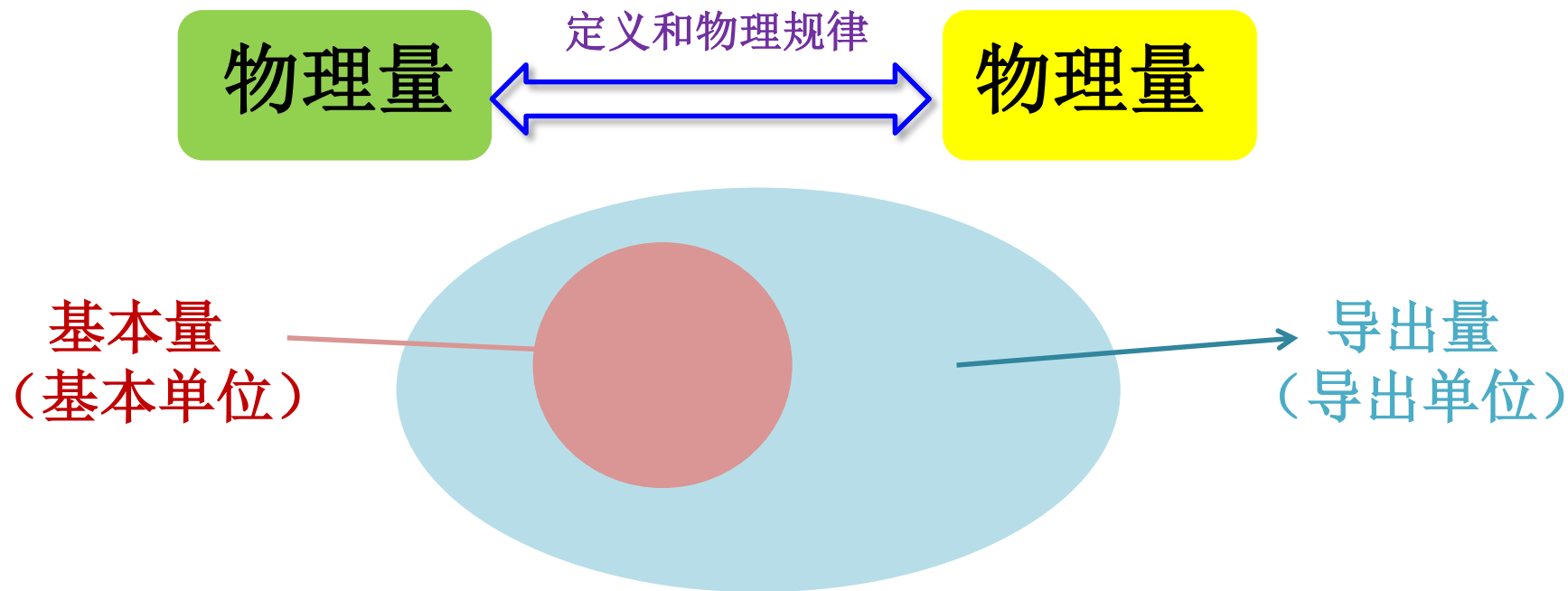
时间 (秒)



共计跨越了约43个数量级

4. 单位制和量纲

物理学中，物理公式总是和一定的“单位制”相联系，“单位制”就是各物理量间相互配套的一组单位。



基本单位：选定几个物理量作为基本量，人为地规定其单位，称为基本单位制。

导出单位：从基本量导出的量称为导出量，其单位是基本单位的组合，称为导出单位。

●国际单位制(SI: Le Système International d'Unites)

基本量:长度 质量 时间 电流 温度 物质的量 光强度

单位: m kg s A K mol cd

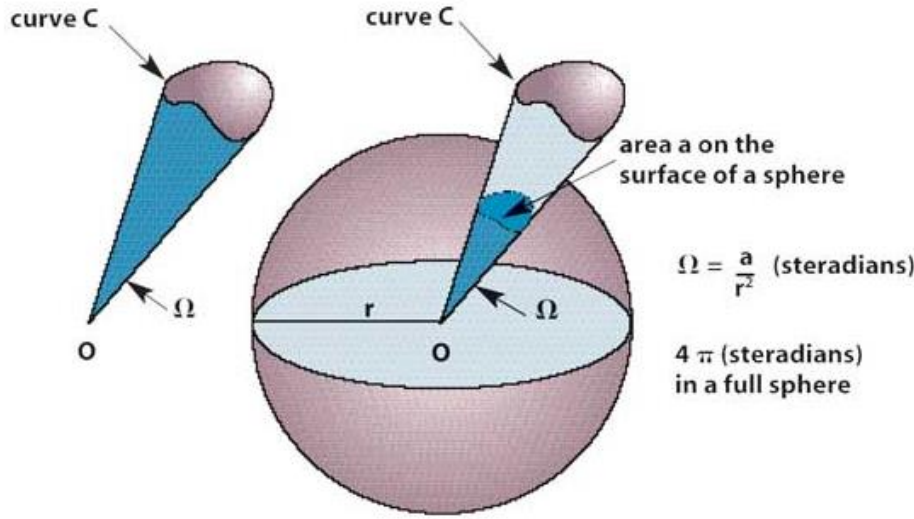
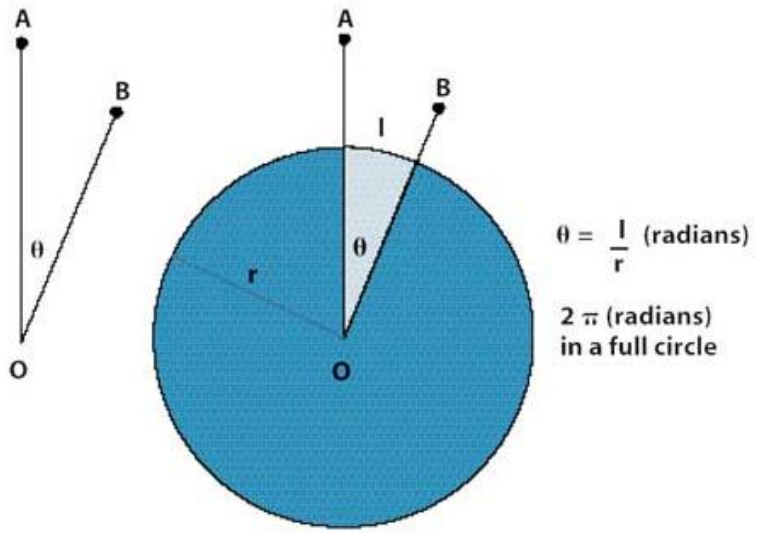
导出量:速度 加速度 力 动量 ...

单位: m/s m/s² N kg·m/s ...

辅助单位: 平面角 立体角

单位: rad sr (球面度)

辅助单位可以参与导出单位, 如角速率 rad/s



● SI词冠

我们研究的对象跨越如此巨大的数量级范围，单一的单位（如秒、米），用起来就很不方便了，通常的做法是采用一些词冠来代表一个单位的十进倍数或十进分数，如千（kilo）代表倍数 10^3 ，厘（centi）代表分数 10^{-2} 。

➤ 国际单位制所用的词冠 (<1)

数量级	英文名	缩写符号	中译名
10^{-1}	deci	d	分
10^{-2}	centi	c	厘
10^{-3}	milli	m	毫
10^{-6}	micro	μ	微
10^{-9}	nano	n	纳[诺]
10^{-12}	pico	p	皮[可]
10^{-15}	femto	f	飞[母托]
10^{-18}	atto	a	阿[托]
10^{-21}	zepto	z	仄[普托]
10^{-24}	yocto	y	幼[克托]

➤ 国际单位制所用的词冠 (>1)

数量级	英文名	缩写符号	中译名
10	deca	da	十
10²	hecto	h	百
10³	kilo	k	千
10⁶	mega	M	兆
10⁹	giga	G	吉[咖]
10¹²	tera	T	太[拉]
10¹⁵	peta	P	拍[它]
10¹⁸	exa	E	艾[克萨]
10²¹	zeta	Z	泽[塔]
10²⁴	yota	Y	尤[塔]

5. 量纲式

基本量选定后，导出量的量纲可由基本量的量纲的组合而得。

量纲：表示一个物理量由基本量的幂次组合的式子。

在国际单位制中，表示力学量 Q 的量纲式为

$$\dim Q = L^\alpha M^\beta T^\gamma \quad \alpha, \beta, \gamma \text{ 为量纲指数}$$

L 为长度的量纲， M 为质量的量纲， T 为时间的量纲。

如：速度的量纲 $\dim v = LT^{-1}$

加速度的量纲 $\dim a = LT^{-2}$

力的量纲 $\dim F = LMT^{-2}$

圆心角的量纲 $\dim \varphi = L^0 M^0 T^0$

量纲法则：①只有量纲相同的才能相等，相加减！
②指数函数、对数函数、三角函数的宗量量纲必须为0.

●量纲分析的实用意义

①在量纲相同的单位制之间进行单位转换。

例如：牛顿（N）与达因（dyn）的换算关系

$$\dim F = LMT^{-2}$$

$$\because 1m = 100cm, 1kg = 1000g$$

$$\therefore 1\text{牛顿} = 100 \times 1000 \text{达因} = 10^5 \text{达因}$$

②验证公式：等式两边量纲必须相同

$$v^2 = 2ax \quad \text{等式两边量纲相同，可能正确}$$

$$v^2 = 2ax^2 \quad \text{等式两边量纲不相同，一定不正确}$$

③为推导某些复杂公式提供线索

用量纲分析的方法，甚至不知道定律和物理机制的细节，就可以进行一些定性的判断。

例题2: 当直升飞机停在空中时，其消耗的功率取决于机翼的长度 l ，机翼提供的垂直向下的推力 F 和空气的密度 ρ 三个因素。试问，若由于飞机负荷增加而使整个机身重量增加1倍，直升飞机的功率应该增大为原来的几倍？

解: 题目不要求导出直升机的功率与 l 、 F 、 ρ 的确切关系式，只要求当 F 增加1倍时功率增大的倍数，故可用量纲分析法解本题。

1.分析影响因素，列出函数方程

根据题意可知，飞机消耗的功率 P 与机翼的长度 l ，机翼提供的垂直向下的推力 F 和空气的密度 ρ 有关，用函数关系式表示为

$$P = f(l, F, \rho)$$

2.将 P 写成 l 、 F 、 ρ 的指数乘积形式，即

$$P = kl^a F^b \rho^c \quad \text{其中} k \text{为无量纲的常数}$$

3.写出量纲表达式

$$\dim P = (\dim l)^a (\dim F)^b (\dim \rho)^c$$

4. 选用L、T、M作为基本量纲，表示各物理量的量纲为

$$\dim P = \mathbf{ML}^{-2}\mathbf{T}^{-3}, \quad \dim l = \mathbf{L}, \quad \dim F = \mathbf{MLT}^{-2}, \quad \dim \rho = \mathbf{ML}^{-3}$$

带入功率P的量纲表达式，可得

$$\mathbf{ML}^2\mathbf{T}^{-3} = \mathbf{L}^a \mathbf{M}^b \mathbf{L}^b \mathbf{T}^{-2b} \mathbf{M}^c \mathbf{L}^{-3c} = \mathbf{M}^{b+c} \mathbf{L}^{a+b-3c} \mathbf{T}^{-2b}$$

5. 根据量纲法则（等式两边量纲相同）

$$\begin{cases} b + c = 1 \\ a + b - 3c = 2 \\ -2b = -3 \end{cases} \quad \longrightarrow \quad a = -1, \quad b = \frac{3}{2}, \quad c = -\frac{1}{2}$$

6. 带入指数乘积式

$$P = kl^{-1} F^{\frac{3}{2}} \rho^{-\frac{1}{2}}$$

由此可知当F增大1倍时，功率P应增大 $2^{\frac{3}{2}} = 2\sqrt{2}$ 倍。