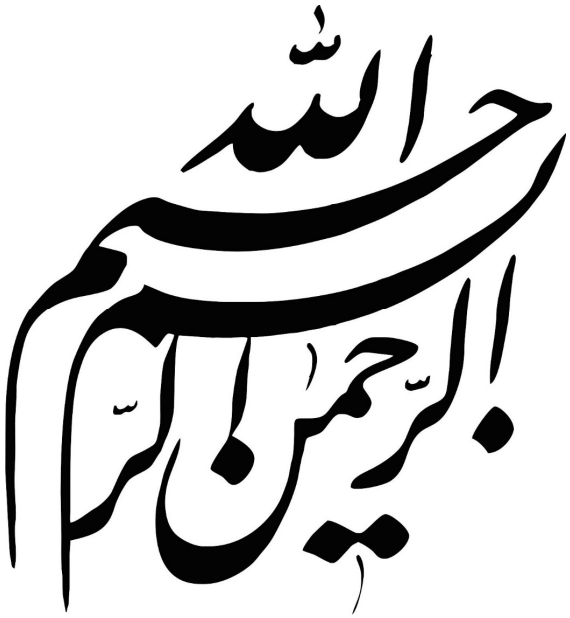


Textbook:

"Analytical mechanics", G. R. **Fowles and G. L. Cassiday, 7** th edition.

Additional references:

1- "Mechanics", K. R. **Symon, 3**rd edition.

2- "Classical dynamics of particles and systems", S. T. Thornton and J. B. **Marion.**

3- "An introduction to mechanics", D. **Kleppner and R. J. Kolenkow.**

4- "Introduction to classical mechanics", A.P. **Arya, 2**nd edition.

5- "Classical Mechanics", H. **Goldstein, C. Poole and J. Safko, 3**rd edition.

6- "Mechanics", Landau and Lifshitz.

7- “Introduction to Classical Mechanics” **A P French& M G Ebison** (Chapman& Hall)

8- “Introduction to Classical Mechanics” **D. Morin** (CUP) (good for Lagrangian Dynamics and many examples).

9- “Classical Mechanics : a Modern Introduction”, **M W McCall** (Wiley 2001)

10- “Mechanics Berkeley Physics Course” Vol I C **Kittel et al.** (McGraw Hill)

11- “Physics for Scientists & Engineers ”, (Chapters on Mechanics) **P.A Tipler & G. Mosca** (W H Freeman)

12- “Classical Mechanics ” **T W B Kibble & F H H Berkshire** (Imperial College Press)

Syllabus

1- Fundamental Concepts: Vectors

2- Newtonian Mechanics: Rectilinear Motion of a Particle

3- Oscillations

4- General Motion of a Particle in Three Dimensions

5- Noninertial Reference Systems

6- Gravitation and Central Forces

What is Classical Mechanics?

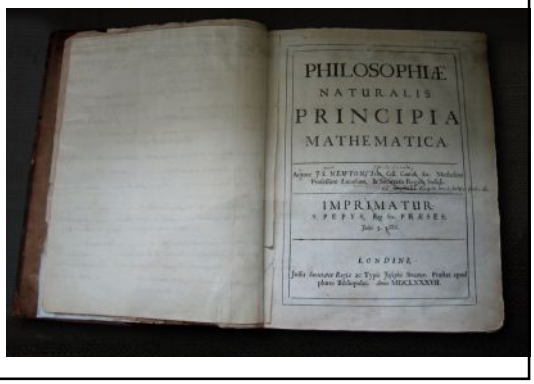
Classical mechanics is the study of the motion of bodies in accordance with the general principles first enunciated by Sir Isaac Newton in his Philosophiae Naturalis Principia Mathematica (1687). Classical mechanics is the foundation upon which all other branches of Physics are built. It has many important applications in many areas of science:

Astronomy (motion of stars and planets)

Molecular and nuclear physics (collisions of atomic and subatomic particles)

Geology (e.g., the propagation of seismic waves)

Engineering (eg structures of bridges and buildings)



Classical Mechanics covers:

- The case in which bodies remain at rest
- Translational motion– by which a body shifts from one point in space to another
- Oscillatory motion– e.g., the motion of a pendulum or spring
- Circular motion–motion by which a body executes a circular orbit about another fixed body [e.g., the (approximate) motion of the earth about the sun]
- More general rotational motion–orbits of planets or bodies that are spinning
- Particle collisions (elastic and inelastic)

Forces in mechanics

Relative magnitude of forces:

- Strong force - nuclear : ~ 1
- Electromagnetism - charged particles : ~ $\frac{1}{137}$
- Weak force - β decay : 10^{-5}
- Gravitational - important for masses, relative strength : ~ 10^{-39}

Classical Mechanics valid on

Not too fast

v << c [speed of light in vacuum]
If too fast, time is no longer absolute - need special relativity.

Not too small

very small Particles actually have wave-like properties :
for scales >> , wave properties can be ignored

Not too large

Space is “flat” in classical mechanics - curvature of space is ignored
in Newtonian mechanics, time is absolute

۲.۱ سنجش فضا و زمان: یکاها[1] و ابعاد مشخص کردن کامل هر کمیت فیزیکی

یکای طول

از سال ۱۹۸۳ به بعد، متر استاندارد برحسب سرعت نور مشخص و تعریف شده است. متر عبارت است از فاصله‌ای که نور در مدت‌زمان ۱/۲۹۹۷۹۲۴۵۸ ثانیه در خلأ می‌پیماید. به بیان دیگر، این تعریف سرعت نور را ۲۹۹۷۹۲۴۵۸ متر بر ثانیه تعیین می‌کند. واضح است که این تعریف استاندارد طول را به استاندارد زمان وابسته می‌کند.

یکای زمان

"ثانیه عبارت است از طول مدت اجرای ۹٬۱۹۲٬۶۳۱٬۷۷۰ دورهٔ تناوب تابش متناظر با گذار بین دو تراز فوق‌ریز اتم سزیم ۱۳۳".

Example 2.3 Light-Year

Astronomical distances are sometimes described in terms of *light-years (ly). A light-year* is the distance that light will travel in one year (yr). How far in meters does light travel in one year?

$$1\ \text{year} = (365.25\ \text{day})\left(\frac{24\ \text{hours}}{1\ \text{day}}\right)\left(\frac{60\ \text{min}}{1\ \text{hour}}\right)\left(\frac{60\ \text{s}}{1\ \text{min}}\right) = 31{,}557{,}600\ \text{s}.$$

$$1\ \text{ly} = \left(\frac{299{,}792{,}458\ \text{m}}{1\ \text{s}}\right)\left(\frac{31{,}557{,}600\ \text{s}}{1\ \text{yr}}\right)(1\ \text{yr}) = 9.461\times10^{15}\ \text{m}.$$

یکای جرم

مفهوم جرم، که در این کتاب به‌کار می‌بریم، همان مفهوم ذره یا نقطهٔ مادی، یعنی هویتی دارای جرم اما بدون امتداد فضایی (مکانی) است. واضح است که این ذره یک آرمان‌سازی بدون موجودیت است، و وجود خارجی ندارد. با همهٔ این احوال، این مفهوم به‌عنوان تقریب مفید اشیاء فیزیکی در شرایطی خاص، به‌کار می‌آید، یعنی در وضعیتی که بعد شیئی در مقایسه با ابعاد محیط اطرافش کوچک باشد. نمونه‌های این مورد عبارت‌اند از حشره‌ای روی صفحهٔ گرامافون، توپ بیسبالی در حال حرکت در هوا، و گردش زمین در مداری به‌دور خورشید.

ابعاد

مفاهیم جرم، طول، و زمان بنیادی‌تر از یکاهای دلخواهی‌اند که مقیاس اندازه‌گیری آنها انتخاب می‌کنیم. جرم، طول، و زمان، سه بعد مقدماتی تمام کمیتهای فیزیکی را مشخص می‌کنند. ما نمادهای $[M]$، $[L]$، و $[T]$ را برای مشخص کردن این سه بعد مقدماتی به‌کار می‌بریم. بعد هر کمیت فیزیکی به‌صورت ترکیب جبری $[M]$، $[L]$، و $[T]$ تعریف می‌شود که لازم است به‌طور کامل اندازه‌گیری آنها کمیت فیزیکی را مشخص کند. به بیان دیگر، بعد هر کمیت فیزیکی را می‌توان به‌صورت $[M]^{\alpha}[L]^{\beta}[T]^{\gamma}$ نوشت، که α، β، و γ به‌ترتیب توانهای این بعدهای مقدماتی به‌شمار می‌آیند. مثلاً، بعد شتاب a عبارت است از

$$[\alpha] = \left[\frac{L/T}{T}\right] = [L][T]^{-2}$$

International System of Units

The system of units most commonly used throughout science and technology today is the *Système International (SI). It consists of seven base quantities and their corresponding base units:*

Base Quantity	Base Unit
Length	meter (m)
Mass	kilogram (kg)
Time	second (s)
Electric Current	ampere (A)
Temperature	kelvin (K)
Amount of Substance	mole (mol)
Luminous Intensity	candela (cd)

اشتباه باشد، به‌کار می‌رود. تمام معادلات باید از سازگاری ابعادی برخوردار باشند. بعد یک کمیت فیزیکی در سمت چپ هر معادله باید با ترکیب ابعاد تمام کمیتهای فیزیکی در سمت راست آن یکسان باشد. مثلاً، در مثال ۳.۵.۶، سرعت ماهواره‌ای در مداری دایره‌ای به شعاع R_c حول زمین

$$v_c = \left(\frac{gR_e^{۲}}{R_c}\right)^{۱/۲}$$

$$\left(\frac{([L][T]^{-۲})[L]^{۲}}{[L]}\right)^{\frac{۱}{۲}} = ([L]^{۲}[T]^{-۲})^{\frac{۱}{۲}} = [L][T]^{-۱}$$

همسانی ابعادی این معادله می‌تواند صحیح باشد، می‌تواند صحیح هم نباشد.

تعیین روابط از طریق تحلیل ابعادی

تحلیل ابعادی می‌تواند به‌صورت روشی برای به‌دست آوردن روابط بین کمیتهای فیزیکی نیز به‌کار رود بدون اینکه با زحمت زیادی به جزئیات تحلیل مبتنی بر قوانین فیزیکی وارد شویم. مثلاً،

زمان تناوب آونگ

آونگ سادهٔ مثال ۲.۲.۳ را در نظر می‌گیریم. این آونگ شامل یک وزنهٔ کوچک به‌جرم m است که به انتهای ریسمانی صلب و بدون جرم به‌طول l آویخته شده است. وقتی آن را از حالت تعادل، مدت زمانی، τ، که طول می‌کشد یک دور کامل حرکتش را انجام دهد

ابتدا، پارامترهایی را تعیین می‌کنیم که به آونگ مرتبط می‌شوند.

هر عامل دیگر مربوط به آنها را از ملاحظات خود حذف می‌کنیم

جرم صفر، انعطاف‌ناپذیر، و بدون مقاومت هوا و اصطکاک

فقط سه چیز باقی می‌ماند:

جرم گلولهٔ آونگ، m، طول ریسمان آن، l، و شتاب گرانشی، g

بعد زمان تناوب آونگ $[T]$

و ترکیب m، l، و g که با زمان تناوب مساوی قرار می‌گیرد باید ابعادش به $[T]$ تبدیل شود

$$\tau \propto m^{\alpha} l^{\beta} g^{\gamma}$$

$$[T] = [M]^{\alpha}[L]^{\beta}([L]^{\gamma}[T]^{-۲\gamma})$$

چون توانی از $[M]$ در سمت چپ وجود ندارد، هر $\alpha = ۰$ و جرم گلولهٔ آونگ بی‌تأثیر

$[T]$ در هر دو طرف این معادله یکسان باشد، باید داشته باشیم $\gamma = -\frac{۱}{۲}$

بعد $[L]$ در هر دو طرف یکسان شود، باید $\beta + \gamma = ۰$ یا $\beta = \frac{۱}{۲}$

$$\tau \propto \sqrt{\frac{l}{g}}$$

زاویهٔ تاب خوردن آونگ، را در نظر نگرفته‌ایم

تحلیل ابعادی به‌تنهایی این کمیت را به ما نمی‌دهد

تحلیل مشروحتر بر مبنای قوانین

فیزیکی باید به نتیجه‌ای بینجامد که با آنچه از تحلیل ابعادی ساده به‌دست می‌آید سازگار باشد، وگرنه باید علت این ناسازگاری را درک کنیم. وقتی به چنین مشکلی برمی‌خوریم، پی‌می‌بریم که احتمال نزدیک به یقین می‌رود که در تحلیل خود اشتباهاتی مرتکب شده باشیم.

وقتی توابع مثلثاتی در روابط گنجیده باشند، فقدان بعد آنها تحلیل ابعادی را نقش بر آب

Dimensions of Some Common Mechanical Quantities

Quantity	Dimension	MKS unit
Angle	dimensionless	Dimensionless = radian
Solid Angle	dimensionless	Dimensionless = sterradian
Area	L^2	m^2
Volume	L^3	m^3
Frequency	T^{-1}	s^{-1} = hertz = Hz
Velocity	$L \cdot T^{-1}$	$m \cdot s^{-1}$
Acceleration	$L \cdot T^{-2}$	$m \cdot s^{-2}$
Angular Velocity	T^{-1}	$rad \cdot s^{-1}$
Angular Acceleration	T^{-2}	$rad \cdot s^{-2}$
Density	$M \cdot L^{-3}$	$kg \cdot m^{-3}$
Momentum	$M \cdot L \cdot T^{-1}$	$kg \cdot m \cdot s^{-1}$
Angular Momentum	$M \cdot L^2 \cdot T^{-1}$	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}$
Force	$M \cdot L \cdot T^{-2}$	kg〈m〈s^{-2} = newton = N
Work, Energy	$M \cdot L^2 \cdot T^{-2}$	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$ = joule = J
Torque	$M \cdot L^2 \cdot T^{-2}$	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$
Power	$M \cdot L^2 \cdot T^{-3}$	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$ = watt = W
Pressure	$M \cdot L^{-1} \cdot T^{-2}$	$kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$ = pascal = Pa