

# Física I (MAT/INF)

①

- Princípios básicos da física clássica:  
Determinismo e reversibilidade
- Vetores
- Movimento: conceito de derivada e integral  
Cinemática em 1D, 2D e 3D
- Dinâmica: conceito de força, massa  
Leis de Newton  
Força de viscosidade ("Lei de movimento de Aristóteles")  
Movimento circular uniforme
- Estática
- Trabalho e energia cinética
- Conservação de energia
- Sistema de partículas: Momento linear e sua conservação  
Colisões

Princípios básicos da física clássica :

Determinismo e reversibilidade ( Sunskind-Theoretical minimum )

- O que é física clássica?

Física clássica é a física que não leva em conta a mecânica quântica; inclui as equações de Newton para o movimento de partículas, a teoria de Maxwell para o eletromagnetismo e a teoria de Einstein da relatividade geral.

→ Física clássica pode ser entendida como um conjunto de princípios ou regras que governam todos os fenômenos para os quais a incerteza quântica não é importante.

Essas regras gerais são chamadas mecânica clássica

→ Em física clássica se você sabe tudo sobre o sistema em um dado instante e também conhece as equações que governam como o sistema muda, então você pode prever o futuro. Dizemos que as leis da física clássica são determinísticas

→ Se isso também for verdade quando trocamos o futuro pelo passado, então as equações vão também dizer tudo sobre o passado. Neste caso dizemos que o sistema é reversível

## → Conceitos fundamentais

③

- Sistema  $\equiv$  conjunto de objetos: particular, campos, etc...
- Um sistema que é o universo inteiro ou que é tão isolado de tudo que se comporta como se nada mais existisse é um sistema fechado
- Um sistema pode ocupar diferentes estados (ex. um estado pode ser o conjunto de posições ocupadas pelas partículas que definem um sistema em um dado instante)
  - conjunto de todos os estados possíveis de um sistema é chamado espaço de estados
- Um sistema que muda com o tempo é o que chamamos de um sistema dinâmico
  - Um sistema dinâmico é constituído por um espaço de estados e uma lei de movimento (ou lei dinâmica). Uma lei de movimento é uma regra que diz qual é o próximo estado do sistema, dado o estado atual

Ex: a) exemplo mais simples (trivial): sistema com apenas um estado possível.

$\boxed{A}$

Uma lei dinâmica determinística e reversível seria

$\circlearrowleft \boxed{A}$

ou seja, começando no estado  $A$ , no instante seguinte vamos para  $A$ .

b) Exemplo com dois estados

$\boxed{A}$

$\boxed{B}$

Tem duas leis possíveis:

$\circlearrowleft \boxed{A}$

$\circlearrowleft \boxed{B}$

ou

$\boxed{A} \rightleftarrows \boxed{B}$

Podemos escrever expressões matemáticas para esses sistemas dinâmicos. Considerando o tempo como uma variável discreta, rotulada por números inteiros  $n$ , e definindo uma variável para descrever o possível estado do sistema:

(9)

$\sigma \rightarrow$  variável que descreve os estados do sistema

Obs: o número de variáveis necessárias para especificar um estado de um sistema é chamado de número de graus de liberdade do sistema. No caso que estamos considerando, o sistema tem um grau de liberdade.

Vamos considerar que  $\sigma = 1$  se o estado for A e  $\sigma = -1$  se o estado for B.

Temos então para as leis do movimento:

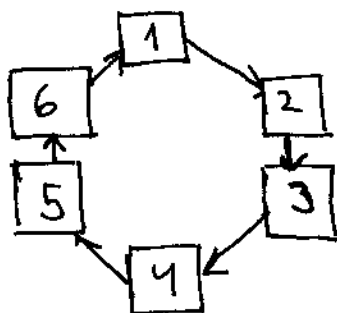
$$\begin{array}{c} \rightarrow \end{array} \boxed{A} \quad \begin{array}{c} \rightarrow \end{array} \boxed{B} \quad \Rightarrow \quad \sigma(M+1) = \sigma(M)$$

e

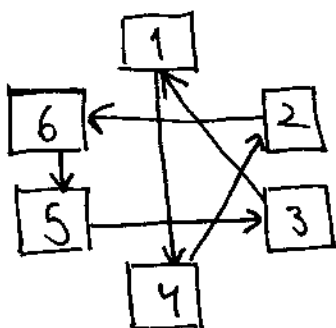
$$\boxed{A} \begin{array}{c} \rightarrow \\ \leftarrow \end{array} \boxed{B} \quad \Rightarrow \quad \sigma(M+1) = -\sigma(M)$$

Podemos generalizar a discussão aumentando o número de estados.

ex: Considere 6 estados. Uma possível lei dinâmica seria:

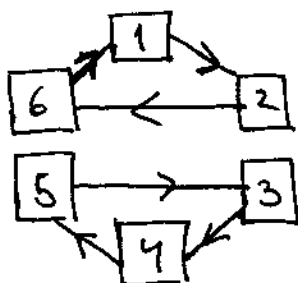


É interessante observar que a maneira como rotulamos os estados não é fundamental, ou seja, a lei dinâmica:



é equivalente a lei anterior, basta renomear os estados.

Uma lei que não é equivalente a estas duas seria, por exemplo:



(5)

Existem diversas outras leis que podemos pensar em definir para um espaço de 6 estados... Tente pensar em uma forma de classificar todas as possibilidades.

Observe que todas as leis dinâmicas discutidas nos exemplos anteriores são determinísticas e reversíveis. Todas as leis da física clássica no nível fundamental são assim.

Obs: É possível construir leis determinísticas e irreversíveis.

ex:



Este sistema dinâmico é determinístico pois começando de qualquer estado sempre sabemos qual é o próximo, é sempre possível prever o futuro. Por outro lado, o sistema não é reversível pois se estamos no estado [2] não é possível dizer se viemos de [1] ou [3], ou seja, não é possível determinar o passado. Dizemos, de forma equivalente que o sistema não é determinístico no passado.



Podemos ver isso invertendo as setas, ou seja, invertendo o tempo.



O sistema com tempo invertido não é determinístico

→ O fato que as leis dinâmicas não determinísticas e reversíveis é uma verdade fundamental da natureza, até onde sabemos. Tal fato é conhecido como a lei da conservação da informação.

Obs: no exemplo considerado, uma regra simples para verificar a conservação da informação é se certificar que em cada estado tem apenas uma seta saindo e uma entrando, se isso não acontecer o sistema não conserva informação.

(6)

Podemos generalizar ainda essa discussão para um número infinito de estados

ex:

...  $\boxed{-2}$   $\boxed{-1}$   $\boxed{0}$   $\boxed{1}$   $\boxed{2}$  ...

podemos identificar os estados por um número inteiro  $N$ . Uma regra dinâmica possível seria:

$$N(m+1) = N(m) + 1$$

...  $\boxed{-2} \rightarrow \boxed{-1} \rightarrow \boxed{0} \rightarrow \boxed{1} \rightarrow \boxed{2} \dots$

Algumas outras regras (note que nem todas são possíveis, pois violam a conservação da informação):

$$N(m+1) = N(m) - 1$$

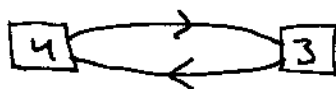
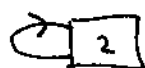
$$N(m+1) = N(m) + 2$$

$$N(m+1) = N(m)^2$$

$$N(m+1) = (-1)^{N(m)} N(m)$$

. Vimos que é possível ter leis dinâmicas que reparam o espaço de estados em vários ciclos

ex:



sempre que isso acontece é como se existisse uma "memória" no sistema de forma que ele se lembra de qual ciclo ele começou. Se o sistema começa em um estado de um dado ciclo, a lei dinâmica não leva o sistema para um estado fora desse ciclo. Essa memória é chamada de lei de conservação (isso é diferente da lei de conservação de informação, que é mais fundamental)

(7)

## - Limites de precisão

Uma observação importante sobre o que discutimos até aqui diz respeito à precisão que podemos alcançar ao tentar prever o futuro.

Memo no contexto da física clássica, o determinismo diz que podemos prever o futuro em princípio, mas na prática isso pode simplesmente não ser possível.

Em mecânica clássica de Newton, por exemplo, estaríamos interessados em prever a posição de uma partícula usando as equações de Newton e sabendo as posições e velocidades das partículas em um dado instante. Mas para ser capaz de prever a posição futura exata de uma partícula, nós teríamos que saber as condições iniciais exatamente. A posição de uma partícula, por exemplo, é descrita por números reais, mas para definir exatamente um valor real você precisa de uma quantidade infinita de informações, ou seja,

todas as coisas decimais precisam ser conhecidas. Uma tarefa impossível na prática.

Uma questão natural que surge portanto é o quanto o estado futuro de um sistema mecânico depende do estado inicial. A resposta é que para a grande maioria dos sistemas depende bastante. Em geral pequenas variações das condições iniciais podem levar a uma grande diferença no estado futuro. Sistemas que se comportam dessa forma são chamados sistemas caóticos.

Portanto, mesmo sistemas determinísticos possuem limitação prática para a capacidade de prever o futuro.