



# Mecânica Clássica

Revisão de conceitos  
em Mecânica

Lucas Stori de Lara

Ponta Grossa, 02/2020

## Site do curso:

lucasstori.wixsite.com/curso

lucasstori@ma x curso x

lucasstori.wix.com/curso

Self-assembly of func Principal Measurement and co Effect of CO2 diffusio Using MATLAB to Vis Adv Funct Mater 200 www.sandia.gov/~sjp Nanopetro Research

Cri

Cursos de Física **F** UFRG Matemática - Agronomia - Engenharia de Alimentos  
**FÍSICA**

HOME SOBRE AGRONOMIA ALIMENTOS MATEMÁTICA NOTÍCIAS E EVENTOS FALE CONOSCO

**Cursos de Física**

Página de acesso aos cursos de física para as áreas de Matemática, Agronomia e Engenharia de Alimentos.

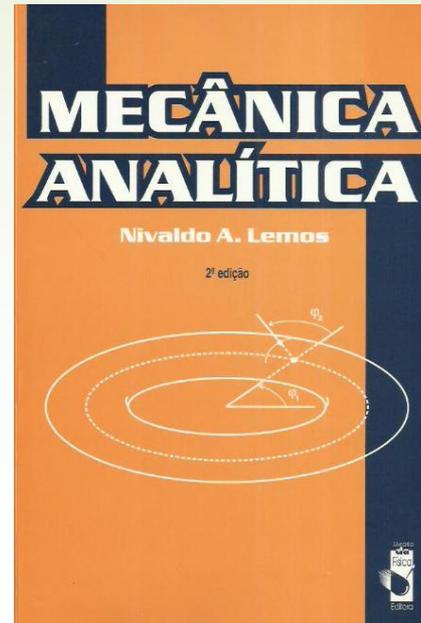
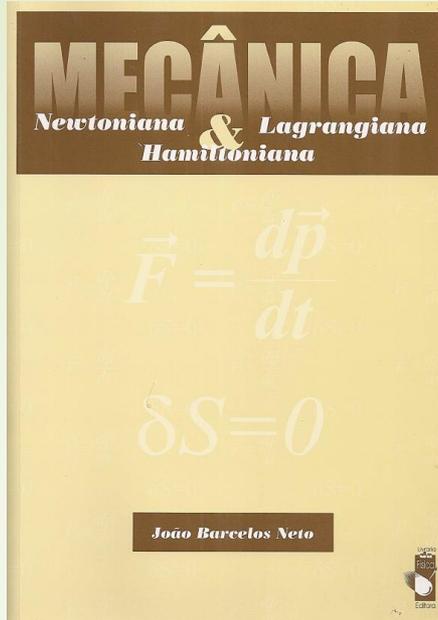
Agronomia

Alimentos

Matemática

PRÓXIMOS EVENTOS FALE CONOSCO NOTÍCIAS

Início das Aulas - Matemática Departamento de Física 24 de Março de 2016



## Bibliografia

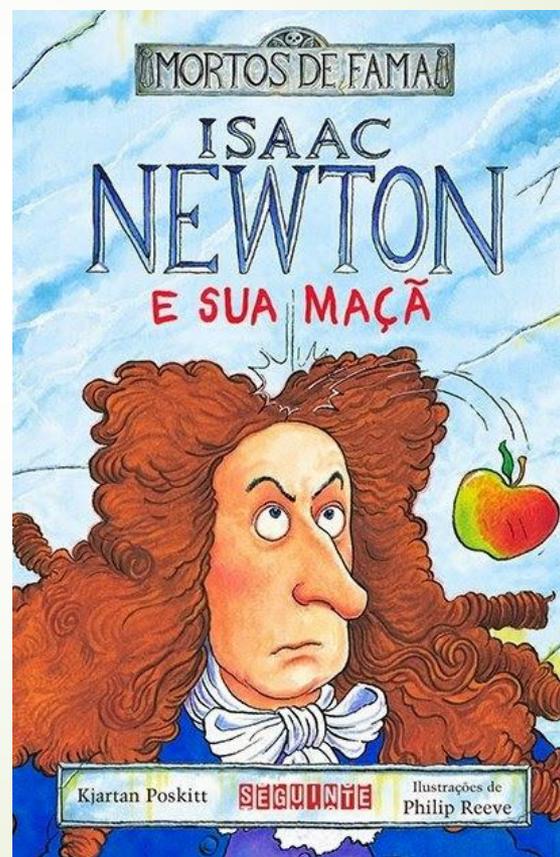
1. João Barcelos Neto, Mecânica Newtoniana, Lagrangiana e Hamiltoniana.
2. Nivaldo A. Lemos, Mecânica Analítica.

## MÉTODO DE AVALIAÇÃO



- Provas (NP), Listas (Li) e Apresentações (AP)
- As provas terão peso de 50% na nota final e os 50% restantes serão para os trabalhos e Apresentações.
- Portanto, a nota semestral (NS) será computada da seguinte maneira:
  
- O número de provas e trabalhos teóricos a serem realizados no semestre serão definidos de acordo com o andamento das aulas.

# Mecânica Clássica



# Modelos científicos

- **O que são modelos.**
- Um **modelo científico** é uma representação **física, matemática ou lógica** de um sistema de entidades, fenômenos ou processos.
- O modelo é uma estrutura **artificial simplificada** que serve de **analogia** para um fenômeno natural. É mais simples, de melhor compreensão e, como a maquete de um navio, de mais fácil manuseio do que o original. Pode ser **adaptado** e **aprimorado** até que suas propriedades passem a refletir as observações empíricas com exatidão suficiente para gerar confiança no seu poder de prever.

# Modelos mecânicos

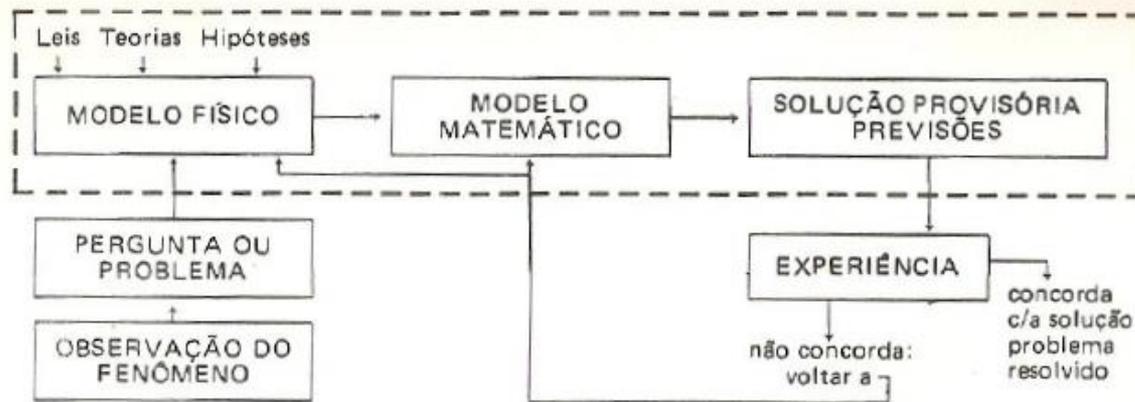
- Os modelos mecânicos desempenharam importante papel na física do século XIX, quando se imaginava que o universo funcionava como um enorme e primorosamente sincronizado **mecanismo de relógio**.
- A mecânica era considerada (e assim o fora por muito tempo) a **grande teoria** capaz de explicar todos os fenômenos físicos.
- Até os dias de hoje usamos a palavra **mecanismo** para descrever fenômenos químicos, elétricos, térmicos, etc.
- **William Thomson (Lorde Kelvin) (1824-1907):**
  - “Eu nunca me satisfaço até que eu tenha construído um modelo mecânico do assunto que estou estudando. Se eu sou bem sucedido em construí-lo, eu entendo o assunto, senão eu não entendo.”

# Modelos físicos e matemáticos

- Para que um **fenômeno** possa ser tratado matematicamente, é necessário, em primeiro lugar, caracterizá-lo por um conjunto de **parâmetros suscetíveis de medição**: é a chamada construção do *modelo físico*.
- Esse modelo deve obedecer, segundo critérios estabelecidos pelo investigador, a certas **leis, teorias e/ou hipóteses**.
- O conjunto dessas leis, teorias e/ou hipóteses impostas ao modelo físico permite escrever certas equações (e/ou inequações) que constituem o *modelo matemático* do problema.

# Modelos físicos e matemáticos

Tipo mapa conceitual



P. Lucie, *Física Básica*, Vol. 1, 1979.

## Alguns ingredientes típicos dos modelos físicos:

- **Abstração.**
- **Idealizações.**
- **Formulação matemática.**
- **Aproximações e correções sucessivas.**



# Um caminho a seguir em Mecânica Clássica

## Leis de Newton

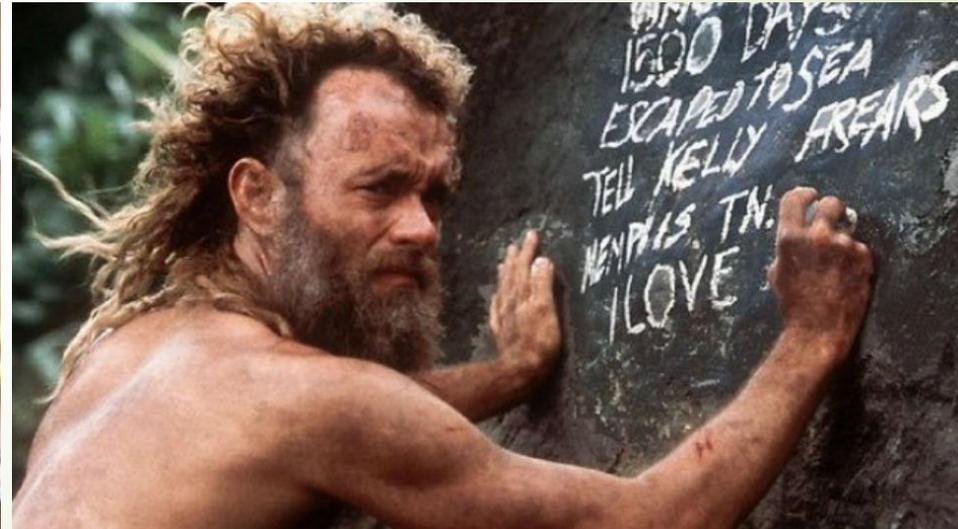


Informações dinâmicas

Complexidade  
Poucas variáveis



Complexidade  
Muitas variáveis

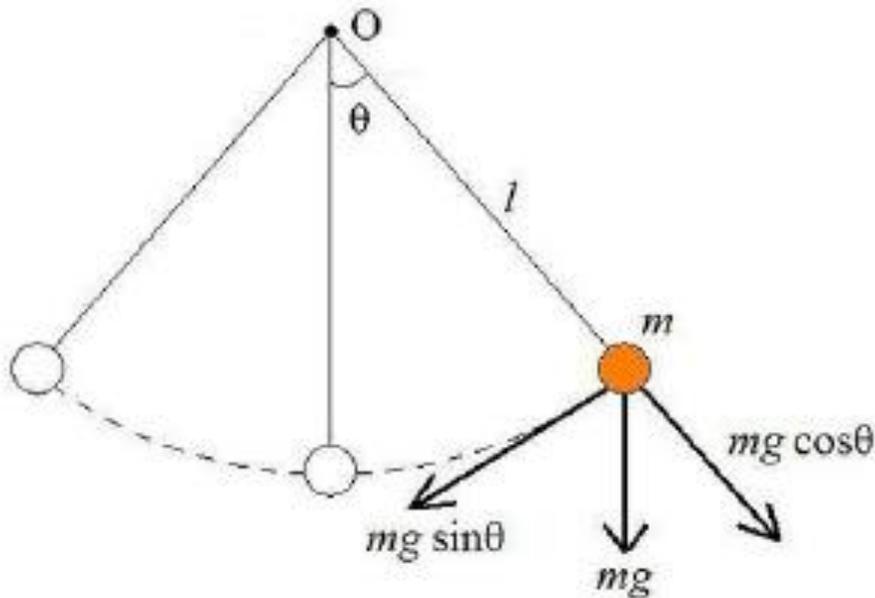


Great success!!!

# O Pêndulo...e sua equação

## Análise dimensional

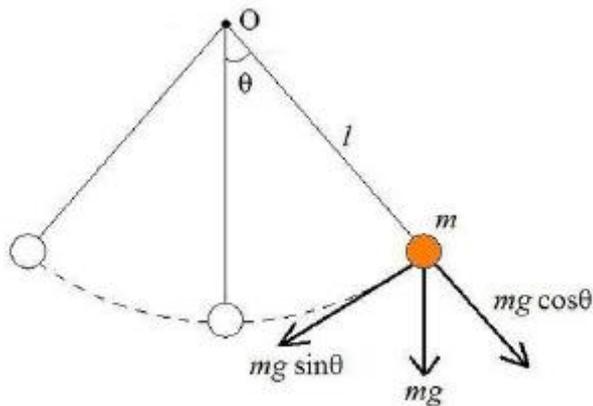
- Obter uma expressão para o período de um pêndulo simples:



- Quais são as grandezas envolvidas ?
- Como relacionar os fenômenos físicos ?
- Podemos fazer mais perguntas?
- 
- 
- 
-

## Análise dimensional - exemplos

- Obter uma expressão para o período de um pêndulo simples:



$$T_p = f(m, l, g) \Rightarrow T_p = km^a l^b g^c$$

$$T = L^b M^a (LT^{-2})^c$$

$$T = L^{b+c} M^a T^{-2c}$$

$$0 = b + c$$

$$0 = a$$

$$1 = -2c \quad \Rightarrow b = 1/2$$

$$c = -1/2$$

$$T_p = k \sqrt{\frac{l}{g}}$$

# Análise dimensional

- As unidades derivadas dependem não apenas de múltiplos ou submúltiplos das unidades fundamentais, mas também de potências e combinações de potências das unidades fundamentais.
- Equações dimensionais:

Definição de uma grandeza  $G$ :  $G = KA^\alpha B^\beta C^\gamma$

Fórmula dimensional de  $G$ :  $[G] = [K][A]^\alpha [B]^\beta [C]^\gamma$

- Notação:

$[G]$  → dimensão de  $G$ .

$\alpha, \beta, \gamma$  → expoentes dimensionais ou simplesmente “dimensões” de  $G$  com relação às grandezas fundamentais  $A, B, C$ .

# Análise dimensional

- Tipos de quantidades que aparecem em equações físicas:
  - Variáveis dimensionais:
    - Comprimento, massa, tempo, velocidade, força, etc.
  - Constantes dimensionais:
    - $c$  (velocidade da luz no vácuo),  $G$  (constante gravitacional),  $e$  (carga elétrica elementar),  $h$  (constante de Planck), etc.
  - Variáveis adimensionais:
    - Ângulo, densidade relativa, coeficientes de atrito, etc.
  - Constantes adimensionais:
    - $\pi$ ,  $e$  (base dos logaritmos naturais) e números puros em geral.

# Análise dimensional

## ■ Exemplos de fórmulas dimensionais:

Unidades SI:

- |                     |   |  |
|---------------------|---|--|
| □ Sistema LMT:      | $[L]=L \quad [M]=M \quad [T]=T$                         | <b>m, kg, s</b>                            |
| □ Velocidade:       | $v=\Delta x/\Delta t \Rightarrow [v]=LT^{-1}$           | <b>m/s</b>                                 |
| □ Aceleração:       | $a=\Delta v/\Delta t \Rightarrow [a]=LT^{-2}$           | <b>m/s<sup>2</sup></b>                     |
| □ Ângulo plano:     | $\alpha=s/R \Rightarrow [\alpha]=L^0=1$                 | <b>rad</b>                                 |
| □ Força:            | $F=ma \Rightarrow [F]=LMT^{-2}$                         | <b>N = m.kg.s<sup>-2</sup></b>             |
| □ Trabalho:         | $W=F_x\Delta x \Rightarrow [W]=L^2MT^{-2}$              | <b>J = m<sup>2</sup>.kg.s<sup>-2</sup></b> |
| □ Energia cinética: | $K=mv^2/2 \Rightarrow [K]=L^2MT^{-2}$                   | <b>J = m<sup>2</sup>.kg.s<sup>-2</sup></b> |
| □ Torque:           | $\tau=Fr\text{sen}\theta \Rightarrow [\tau]=L^2MT^{-2}$ | <b>N.m</b>                                 |

## Análise dimensional - exemplos

- Verificação da homogeneidade de equações físicas:
  - Verificar a homogeneidade da equação  $V = S.v.t$ , onde  $V$  é o volume de fluido escoado no tempo  $t$  através de um cano de seção reta  $S$  com velocidade  $v$ .

## Análise dimensional - exemplos

- Verificação da homogeneidade de equações físicas:
  - Verificar a homogeneidade da equação  $V = S.v.t$ , onde  $V$  é o volume de fluido escoado no tempo  $t$  através de um cano de seção reta  $S$  com velocidade  $v$ .

$$[V] = L^3$$

$$[S.v.t] = L^2 L T^{-1} T = L^3 \quad \text{Ok!}$$

## Análise dimensional - exemplos

(VUNESP) Um estudante de física resolvendo certo problema chegou à expressão final:  $\mathbf{F} = 2(\mathbf{m}_1 + \mathbf{m}_2) \mathbf{v}t^2$  onde  $\mathbf{F}$  representa uma força,  $\mathbf{m}_1$  e  $\mathbf{m}_2$  representam massas,  $\mathbf{v}$  é uma velocidade linear,  $\mathbf{t}$  é tempo. Outro estudante resolvendo o mesmo problema chegou à expressão:  $\mathbf{F} = 2(\mathbf{m}_1 + \mathbf{m}_2) \mathbf{v}t^{-1}$ . Mesmo sem conhecer os detalhes do problema você deve ser capaz de verificar qual das respostas acima obviamente deve estar errada. Explique qual delas é certamente errada.

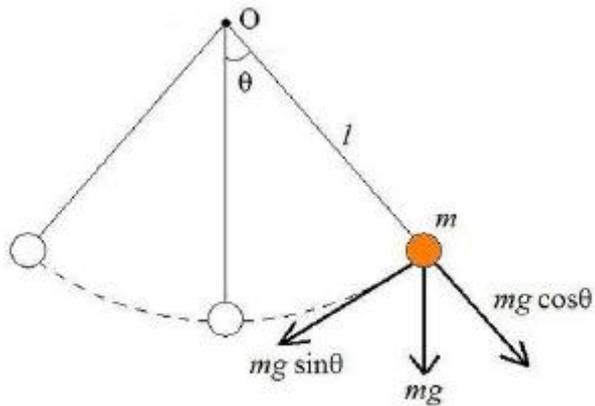
$$F = ma \Rightarrow [F] = LMT^{-2}$$

~~$$[m.vt^2] = LMT^1$$~~

$$[m.vt^{-1}] = LMT^{-2} \quad \text{Ok!}$$

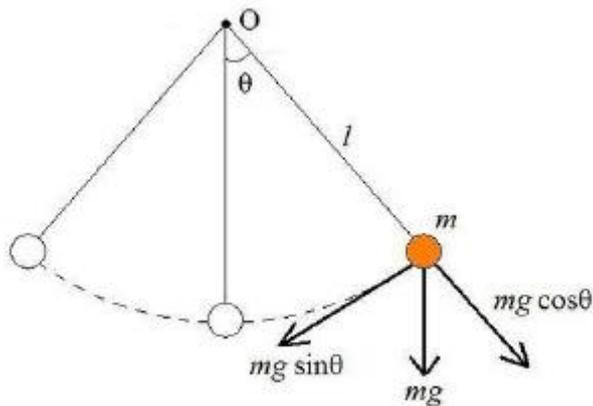
## Análise dimensional - exemplos

- Obter uma expressão para o período de um pêndulo simples:



## Análise dimensional - exemplos

- Obter uma expressão para o período de um pêndulo simples:



$$T_p = f(m, l, g) \Rightarrow T_p = km^a l^b g^c$$

$$T = L^b M^a (LT^{-2})^c$$

$$T = L^{b+c} M^a T^{-2c}$$

$$0 = b + c$$

$$0 = a$$

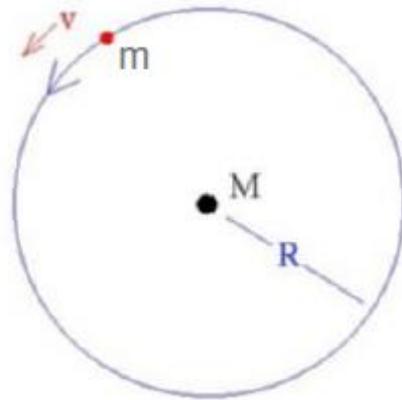
$$1 = -2c \quad \Rightarrow b = 1/2$$

$$c = -1/2$$

$$T_p = k \sqrt{\frac{l}{g}}$$

## Análise dimensional - exemplos

- Obter a relação entre o período de rotação e o raio da órbita de um planeta que gira em torno do sol em uma órbita circular.



$$T_p = f(M, m, R, G)$$

## Análise dimensional - exemplos

- Obter a relação entre o período de rotação e o raio da órbita de um planeta que gira em torno do sol em uma órbita circular.

$$T_p = f(M, m, R, G) \Rightarrow T_p = kM^a m^b R^c G^d$$

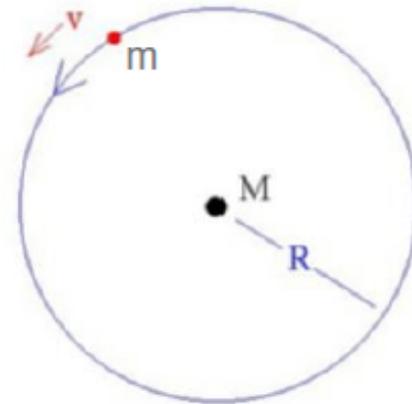
$$T = M^a M^b L^c (L^3 M^{-1} T^{-2})^d$$

$$T = L^{c+3d} M^{a+b-d} T^{-2d}$$

$$0 = c + 3d$$

$$0 = a + b - d$$

$$1 = -2d$$



Logo:

$$T_p = k \left( \frac{M}{m} \right)^a \frac{R^{3/2}}{\sqrt{Gm}} \Rightarrow T_p^2 \propto R^3$$

A intensidade da resultante centrípeta é função apenas da massa, da velocidade e do raio da trajetória. Por análise dimensional obter, a menos da constante adimensional(K), a expressão da intensidade da força centrípeta.

A intensidade da resultante centrípeta é função apenas da massa, da velocidade e do raio da trajetória. Por análise dimensional obter, a menos da constante adimensional(K), a expressão da intensidade da força centrípeta.

---

$$[F_{cp}] = K m^x v^y r^z$$

$$MLT^{-2} = K (M)^x (LT^{-1})^y (L)^z$$

$$MLT^{-2} = KM^x L^{y+z} T^{-y}$$

$$\begin{cases} x = 1 \\ y + z = 1 \Rightarrow x = 1; y = 2; z = -1 \\ -y = -2 \end{cases}$$

$$F_{cp} = K m^1 v^2 r^{-1}$$

$$F_{cp} = K \frac{mv^2}{r}$$

# Grandezas físicas e análise dimensional: da mecânica à gravidade quântica

Physical quantities and dimensional analysis: from mechanics to quantum gravity

Diego Trancanelli\*

Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

Recebido em 1 de dezembro de 2015. Revisado em 30 de janeiro de 2016; Aceito em 10 de fevereiro de 2016

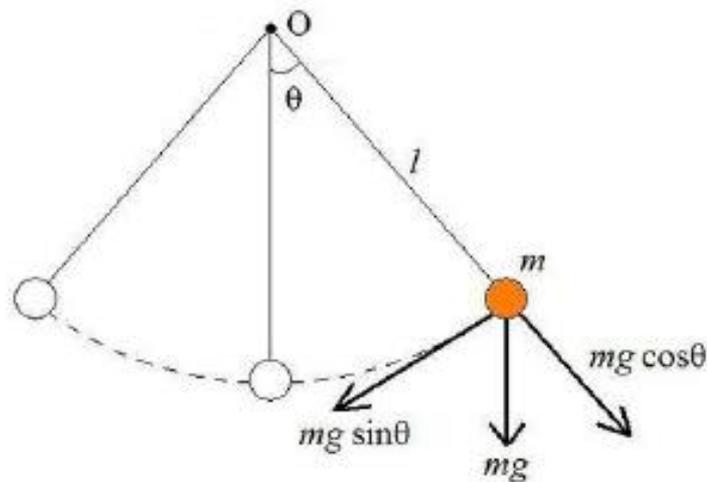
Entre os primeiros conceitos que alunos de graduação em física encontram nos seus estudos, há os de grandezas e dimensões físicas. Neste artigo pedagógico de revisão, usando a poderosa ferramenta da análise dimensional, vou partir desses conceitos para uma viagem através de vários ramos da física teórica, da mecânica até a gravidade quântica. Entre outras coisas, vou discutir um pouco sobre as constantes fundamentais da Natureza, o chamado “cubo da física” e o sistema de unidades naturais.

**Palavras-chave:** análise dimensional, constantes fundamentais, unidades naturais.

Physical quantities and physical dimensions are among the first concepts encountered by students in their undergraduate career. In this pedagogical review, I will start from these concepts and, using the powerful tool of dimensional analysis, I will embark in a journey through various branches of physics, from basic mechanics to quantum gravity. I will also discuss a little bit about the fundamental constants of Nature, the so-called “cube of Physics”, and the natural system of units.

**Keywords:** dimensional analysis, fundamental constants, natural units.

Tudo bem...mas você seria capaz de desenvolver outras equações que descrevem o movimento do pêndulo?



Decomposição de Forças

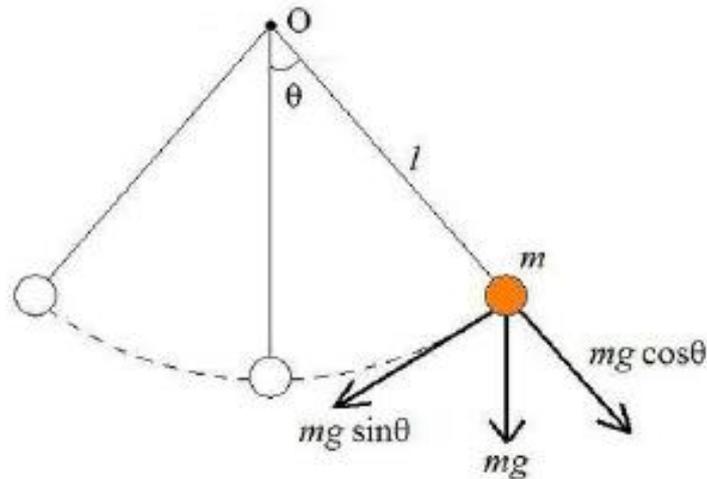


A magia acontece



$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{L} \sin \theta = 0$$

Tudo bem...mas você seria capaz de desenvolver outras equações que descrevem o movimento do pêndulo?



$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{L} \sin\theta = 0$$

Considerando que o ângulo  $\theta$  é suficientemente pequeno,  $\sin\theta \approx \theta$  ( $5^\circ < \theta < 10^\circ$ ), a equação anterior representa a equação de um Movimento Harmônico Simples

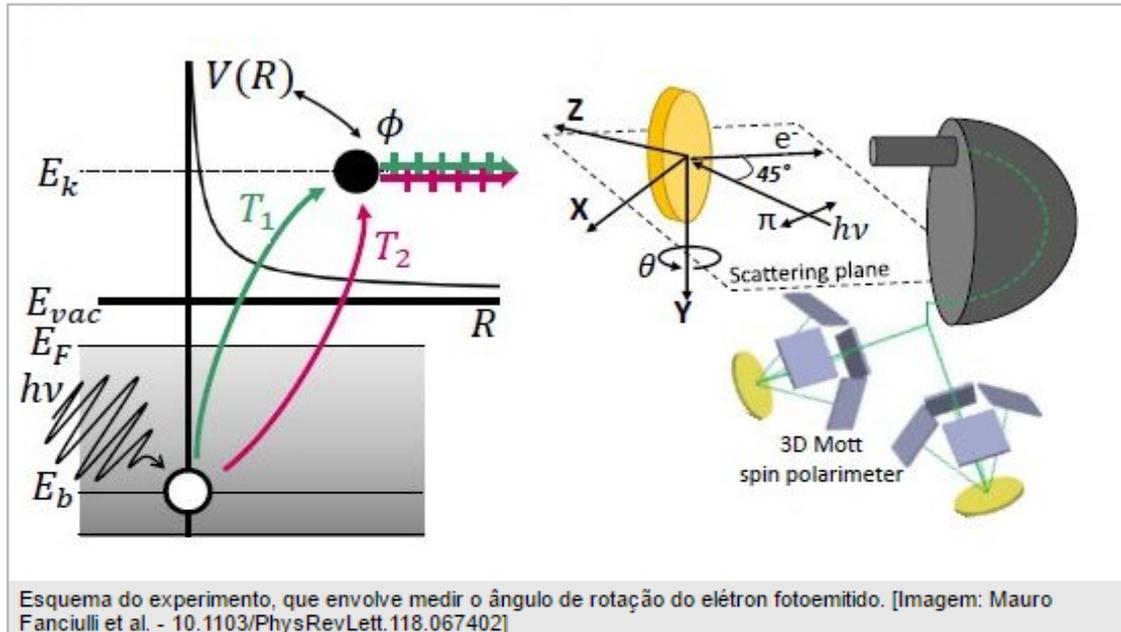
$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{L} \theta = 0$$

Equação diferencial de segunda ordem homogênea

# O que é o Tempo ?

## Físicos medem o tempo sem usar um relógio

Redação do Site Inovação Tecnológica - 10/02/2017



“Ele lida com a natureza fundamental do próprio tempo”

### Fotoemissão

Como Albert Einstein explicou em 1905, quando os fótons da luz atingem determinados materiais, esses materiais emitem elétrons.

Esse fenômeno, chamado fotoemissão, está na base do funcionamento de um sem-número de tecnologias, incluindo células solares, LEDs, sensores de câmeras digitais etc.

Mas, quando se trata de usá-lo para pesquisas científicas de ponta - nas técnicas de espectroscopia, por exemplo - há um detalhe que ainda precisa de melhor explicação.

# O que é o Tempo ?

## No fluxo contínuo do tempo não há lugar para o presente

Com informações da Universidade Griffith - 08/02/2016

### Assimetria entre tempo e espaço

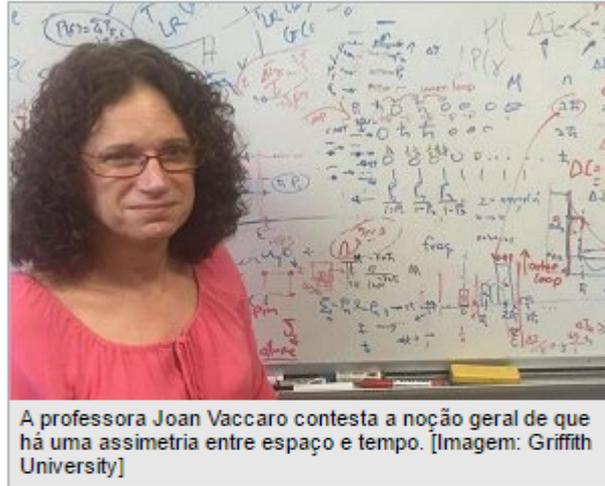
A professora Joan Vaccaro, da Universidade Griffith, na Austrália, está desafiando a noção há muito tempo aceita pela ciência de que a seta do tempo - a incessante evolução do universo do passado rumo ao futuro - é uma parte elementar da natureza.

Nesse campo, entre teorias e experimentos, há propostas para todos os gostos, desde a [confirmação da seta do tempo](#) até a [demonstração de que o futuro afeta o passado](#). Ou você pode optar por comparar a [confirmação de que o Universo não dá marcha-a-ré](#) com a ideia de que a [sequência de causa e efeito não faz sentido no reino quântico](#).

A professora Vaccaro não fica com a maioria, e sugere que há uma origem mais profunda e mais elementar do espaço-tempo porque há uma diferença entre os dois sentidos do tempo: para o futuro e para o passado.

"Na conexão entre tempo e espaço, o espaço é mais fácil de entender porque ele simplesmente está lá. Mas o tempo está sempre nos forçando para o futuro.

"Entender como a evolução do tempo nos aparece desta forma abre toda uma nova visão sobre a natureza fundamental do próprio tempo. E pode até nos ajudar a entender melhor ideias bizarras como viajar no tempo," contextualiza ela.



em outras palavras, considerar que o futuro surge do presente implica em aceitar um presente "fixo", ao menos no momento específico chamado presente, enquanto a pesquisadora acredita que suas equações mostram que nunca há "fixidez" - só há fluxo, o fluxo que empurra o passado para o futuro, impulsionado pela "agitação" intrínseca do mundo subatômico.

# O que é a Massa?

## Quilograma está ficando mais pesado

Com informações da BBC - 07/01/2013

### Contaminantes

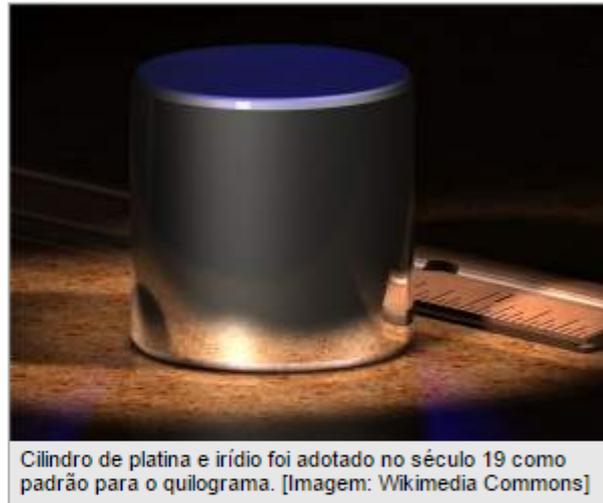
Cientistas descobriram que o modelo de platina e irídio usado como padrão em todo o mundo para definir o valor de um quilograma está ficando mais pesado.

O chamado Protótipo Internacional do Quilograma foi adotado como padrão do quilograma em 1875 e está guardado no Bureau International de Pesos e Medidas, na cidade de Sèvres, na França.

Quarenta réplicas idênticas foram feitas em 1884 e distribuídas pelo mundo para padronizar a medição.

Peter Cumpson e Naoko Sano, da Universidade de Newcastle, na Inglaterra, realizaram uma análise espectroscópica de superfícies semelhantes à do quilograma-padrão a fim de determinar como o acúmulo de contaminantes à base de carbono afetaria o protótipo na França ao longo do tempo.

A conclusão foi de que o cilindro de platina e irídio pesa hoje provavelmente dezenas de microgramas a mais do que pesava em 1875 - um micrograma equivale a um milésimo de um miligrama.



Cilindro de platina e irídio foi adotado no século 19 como padrão para o quilograma. [Imagem: Wikimedia Commons]

A tendência é abandonar o referencial físico do quilograma, que deverá passar a ser definido em termos da constante de Planck

## Rumo a um quilograma que não muda com o tempo

Redação do Site Inovação Tecnológica - 23/11/2010

### Novo SI

Nos primeiros passos daquilo que poderá ser um avanço histórico na ciência, especialistas de todo o mundo estão se empenhando em um esforço para a criação de um novo Sistema Internacional de Unidades (SI).

O SI é o sistema métrico, a base de todas as medidas usadas na indústria, no comércio, na ciência e em inúmeros aspectos da vida cotidiana.

O "Novo SI", que deverá ser baseado em sete constantes da natureza, permitirá aos cientistas expressarem os resultados de suas pesquisas em novos patamares de consistência e precisão.



A chamada Balança de Watt (*Watt Balance Experiment*) é uma das tentativas de criar um "quilograma eletrônico", definido em termos da constante de Planck. [Imagem: Steiner/NIST]

# O que é Espaço?

## Espaço pode não ser contínuo, mas segmentado como um tabuleiro de xadrez

Baseado em artigo de Jennifer Marcus - 29/03/2011

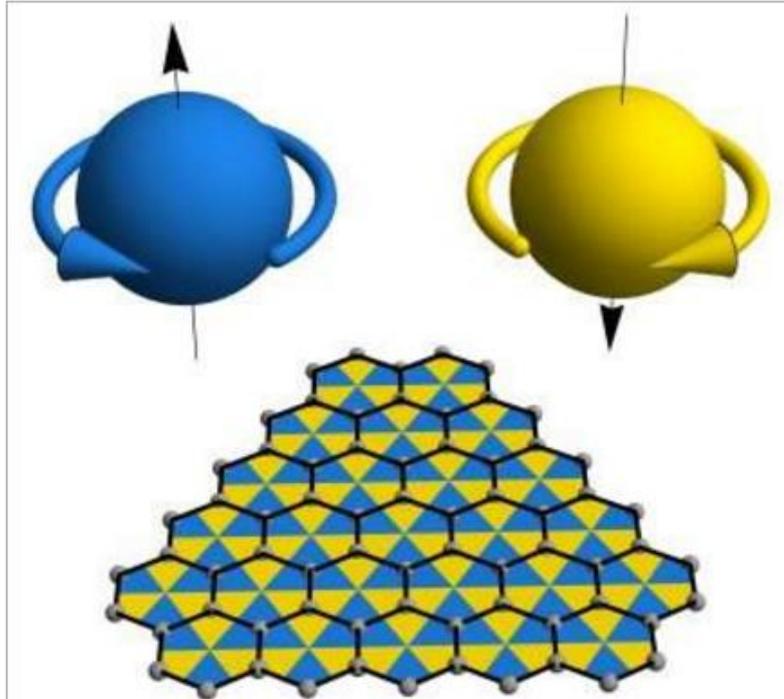
Os cientistas estavam tentando construir um transistor melhor para fabricar produtos eletrônicos mais eficientes.

Mas eles acabaram descobrindo uma nova forma de pensar sobre a estrutura do espaço.

### A estrutura do espaço

Normalmente se considera que o espaço seja infinitamente divisível - dadas quaisquer duas posições, sempre haverá uma posição intermediária entre elas.

Chris Regan e Matthew Mecklenburg, da Universidade da Califórnia, não estavam pensando nem em questões cosmológicas e nem em questões puramente matemáticas quando começaram a estudar uma forma de criar **transistores ultrarrápidos usando grafeno**.



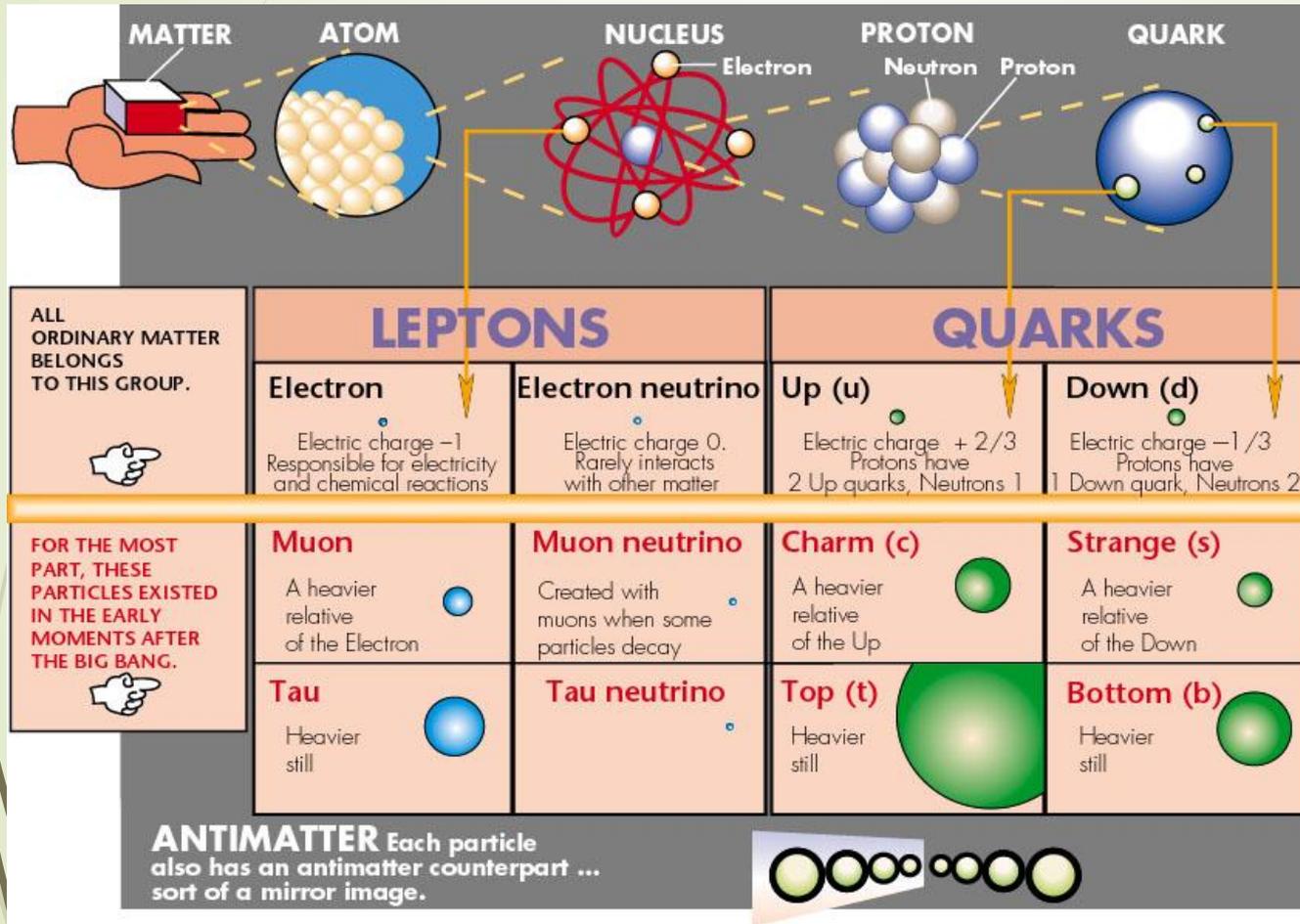
O pseudo-spin, assim como o spin meio-inteiro apresentado pelos quarks e léptons, seria derivado de uma sub-estrutura escondida, não da própria partícula, mas do espaço no qual essas partículas vivem. [Imagem: Chris Regan/CNSI]

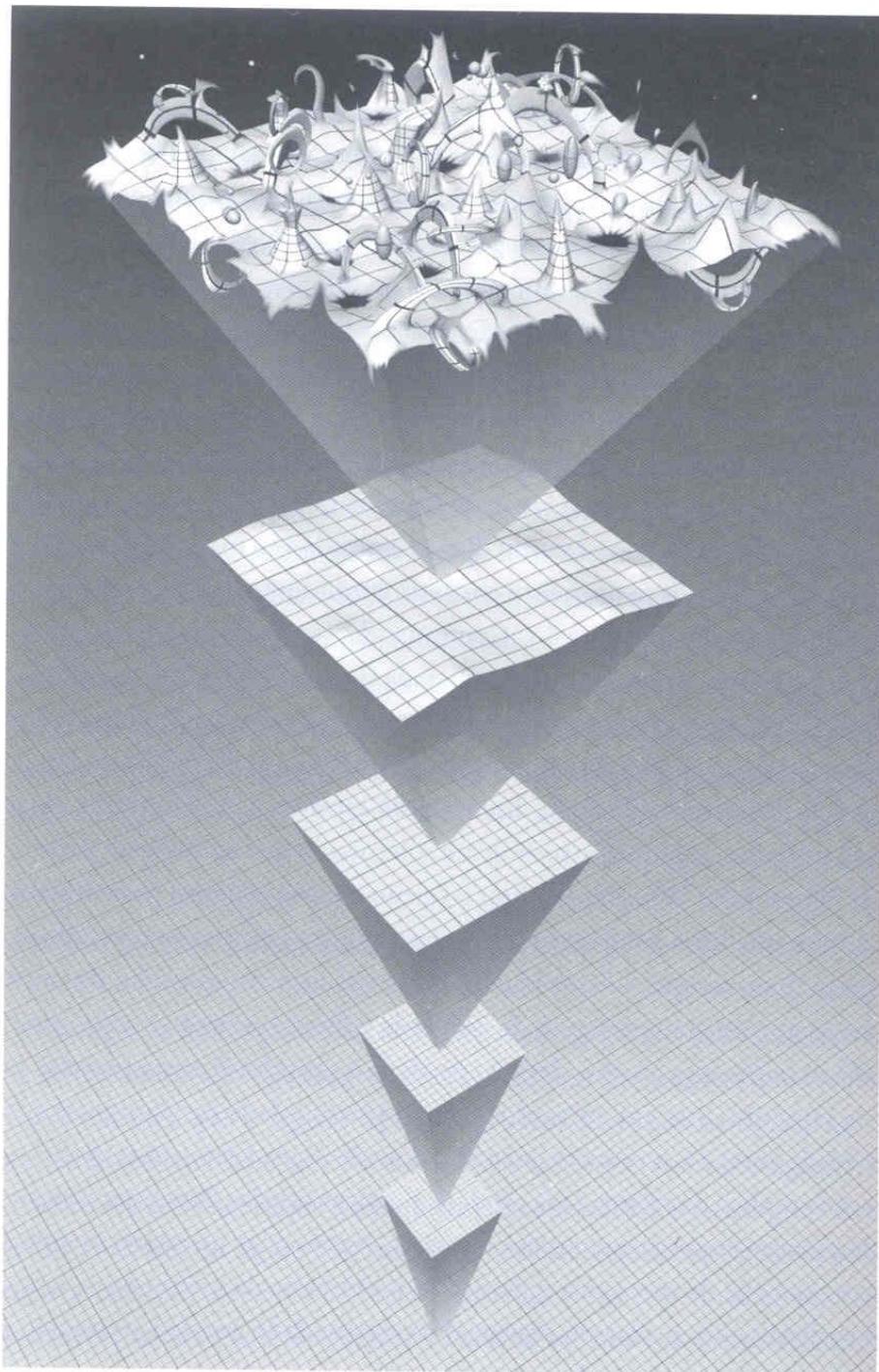
"O spin do elétron pode surgir porque o espaço em distâncias muito pequenas não é liso e contínuo, mas segmentado, como um tabuleiro de xadrez," propõe Regan.



# Vamos Além!!!

O que é matéria???





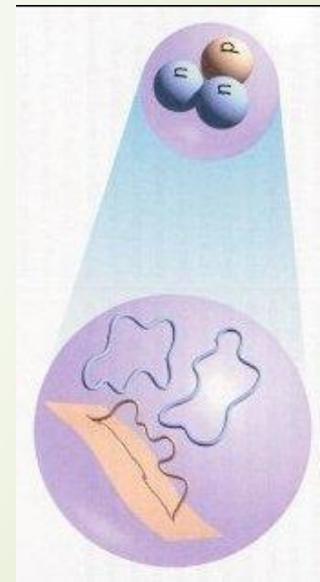
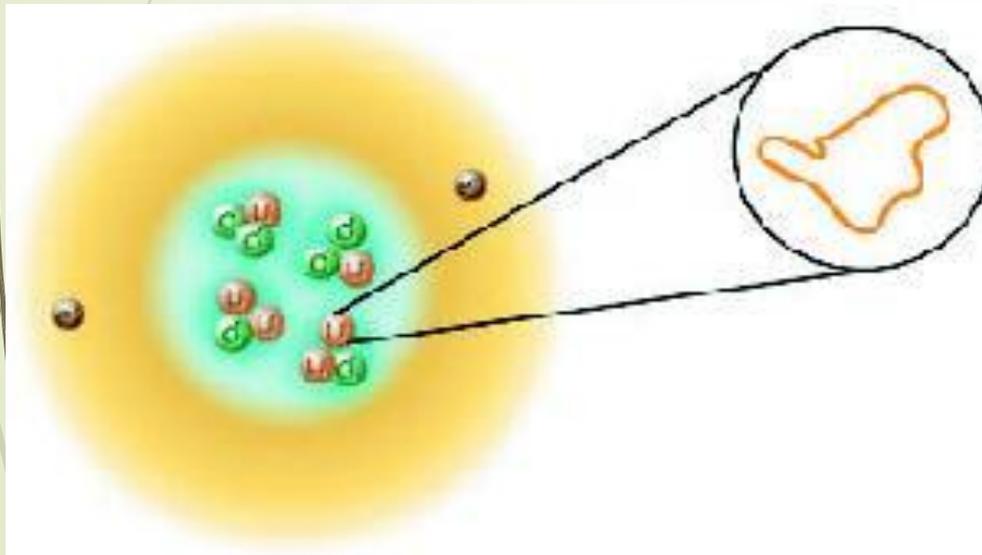
## O que é vazio???

Classicamente o espaço vazio tem um campo gravitacional igual a zero mas segundo a mecânica quântica o campo é zero na **média**, mas seu valor real oscila quânticamente.

Em escalas do mundo cotidiano temos uma geometria suave de forma que o tecido do universo volte a ter precisão.

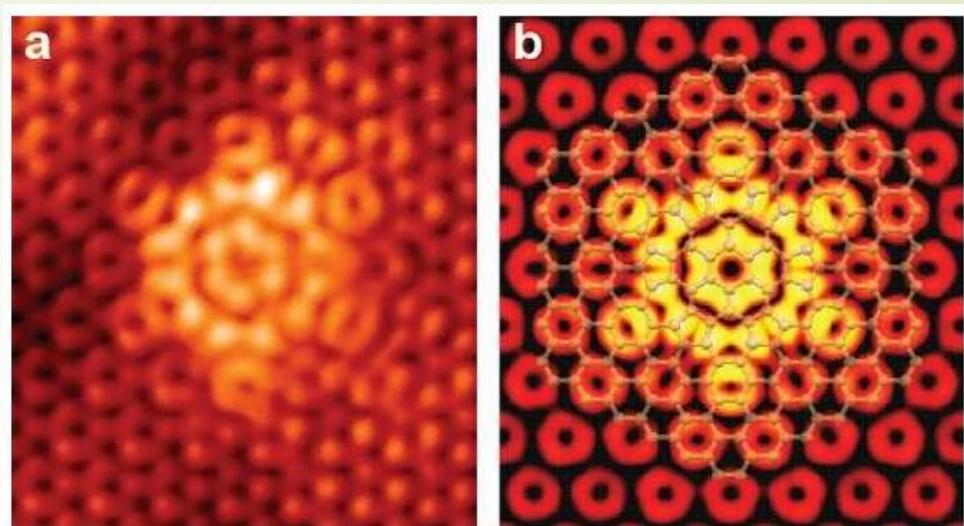
# Solução para Massa: Teoria de cordas

Os tijolos elementares formadores do universo não seriam mais partículas puntiformes mas sim filamentos unidimensionais como elásticos infinitamente finos e pequenos que vibram produzindo as partículas que conhecemos. O tamanho das cordas é da ordem do comprimento de *Planck* ( $10^{-33}$  cm).



Como conseguimos enxergar a matéria atualmente ?

Átomo de Hidrogênio



Os defeitos no grafeno podem também ser complexos, formando estruturas parecidas com flores.  
[Imagem: Cockayne,Stroscio/NIST]

