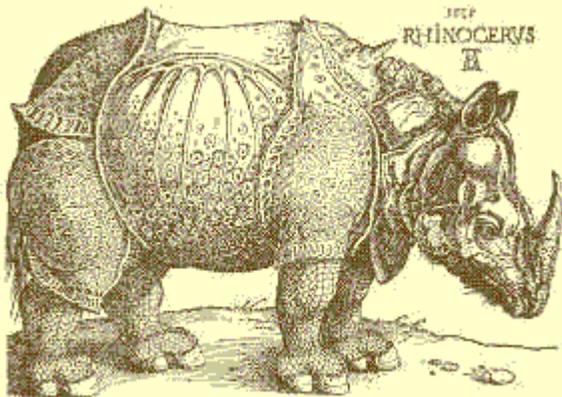


-
-
-
-
-
-
-
-
-
-

A física no final do século XIX: modelos em crise

Roberto de Andrade Martins



UNICAMP

Instituto de Física “Gleb Wataghin”

Grupo de História e Teoria da Ciência

<http://www.ifi.unicamp.br/~ghtc/>



A Física do século XIX

Como era a Física do século XIX?

Praticamente tudo o que ensinamos no 2º grau já havia sido descoberto

- mecânica clássica
- óptica
- termologia
- eletricidade e magnetismo

E mais alguma coisa...



A Física do século XIX

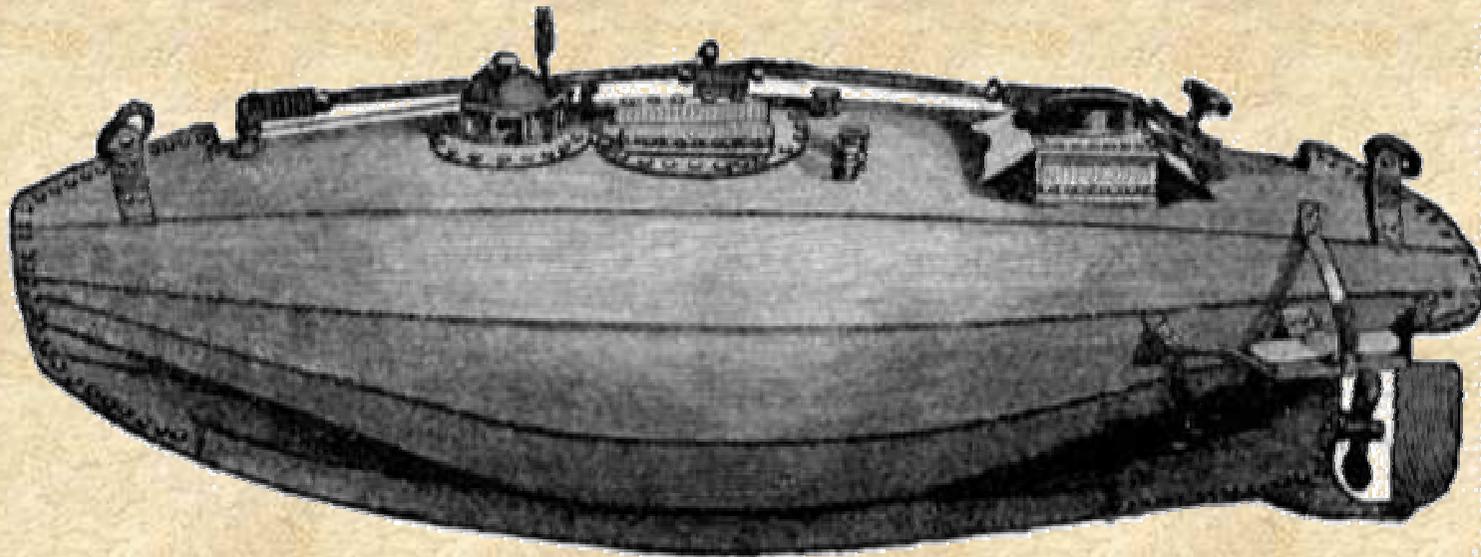


Mecânica

- descoberta de planetas
 - piões, giroscópios
 - hidrodinâmica e aerodinâmica
 - mecânica analítica
- e também aplicações técnicas

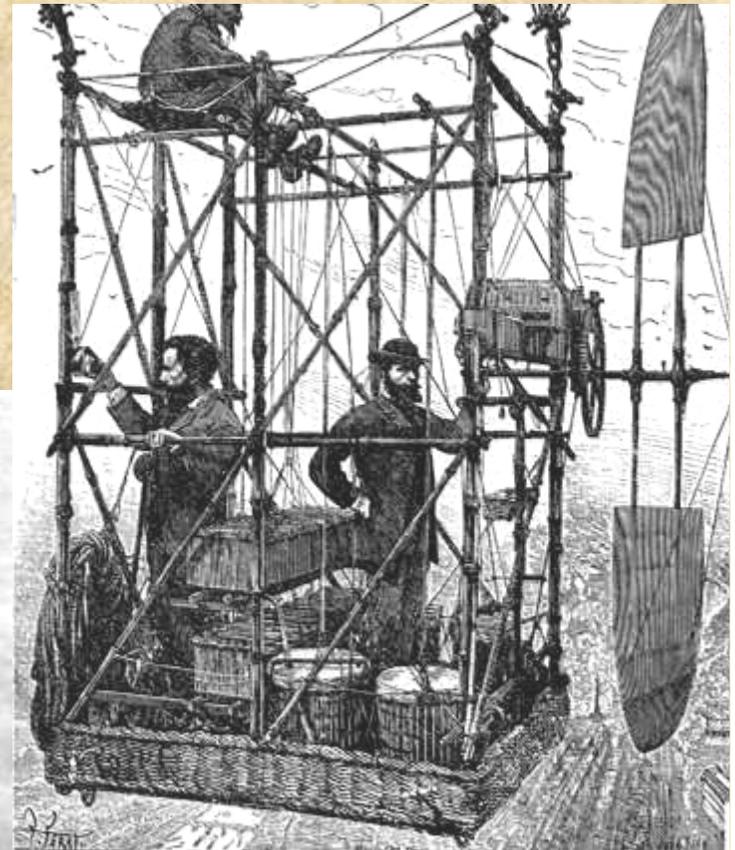
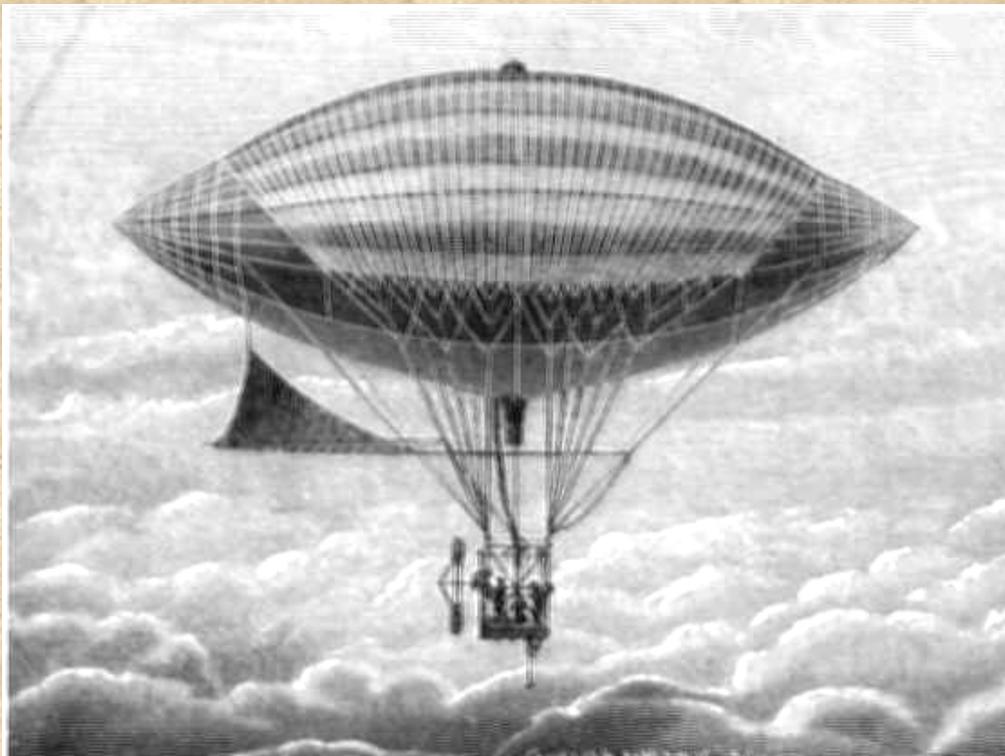
Transportes

Os submarinos começaram a ser utilizados nas guerras.



Transportes

Os balões dirigíveis pareciam um meio de transporte promissor.



**Gaston e Albert
Tissandier, 1881**

Transportes



**E houve o primeiro vôo bem sucedido
de uma asa-delta...**

Otto Lilienthal, 1891



A Física do século XIX

Óptica e acústica

- difração e interferência
- teoria ondulatória
- infravermelho e ultravioleta
- formalismo sofisticado

e também aplicações técnicas



Fotografia

A fotografia foi desenvolvida por Niepce e Daguerre

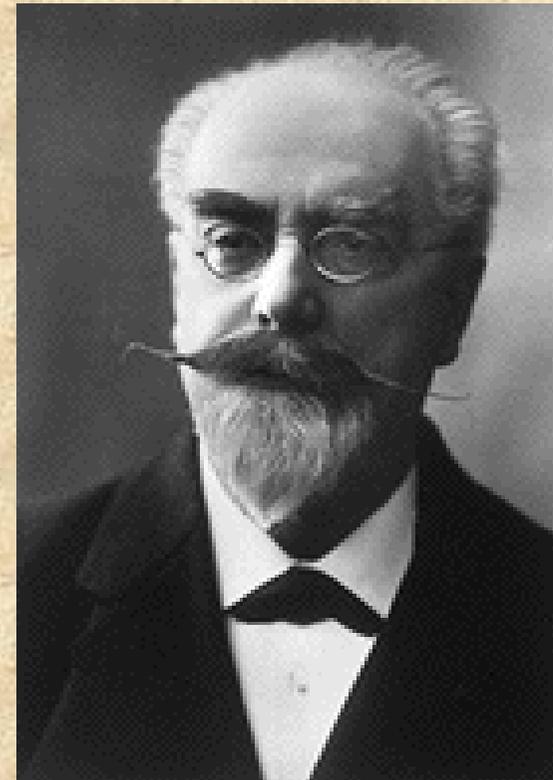


Daguerre, em 1844

Fotografia



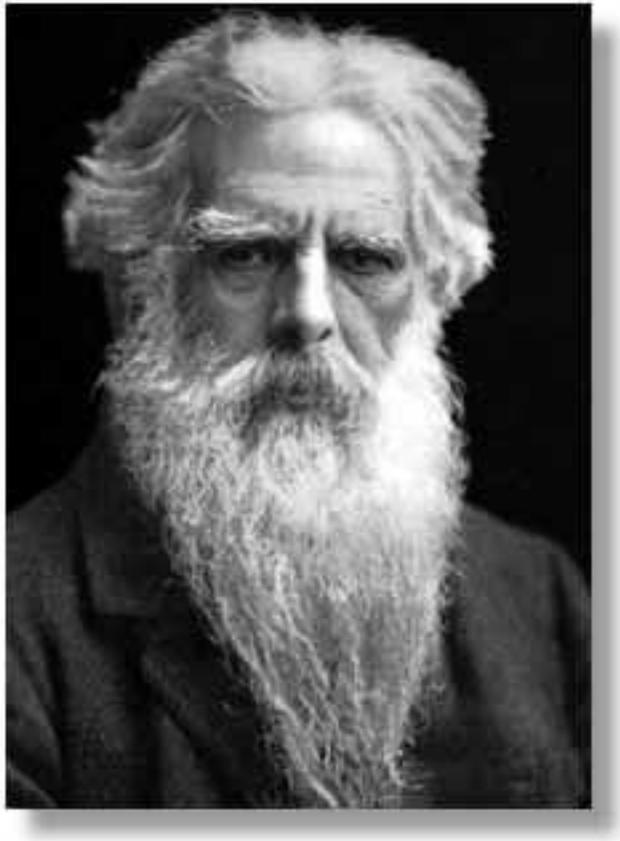
Utilizando o princípio de interferência luminosa, Gabriel Lippmann conseguiu produzir fotografias em cores que eram, na verdade, precursoras dos atuais hologramas de luz branca.



Gabriel Lippmann

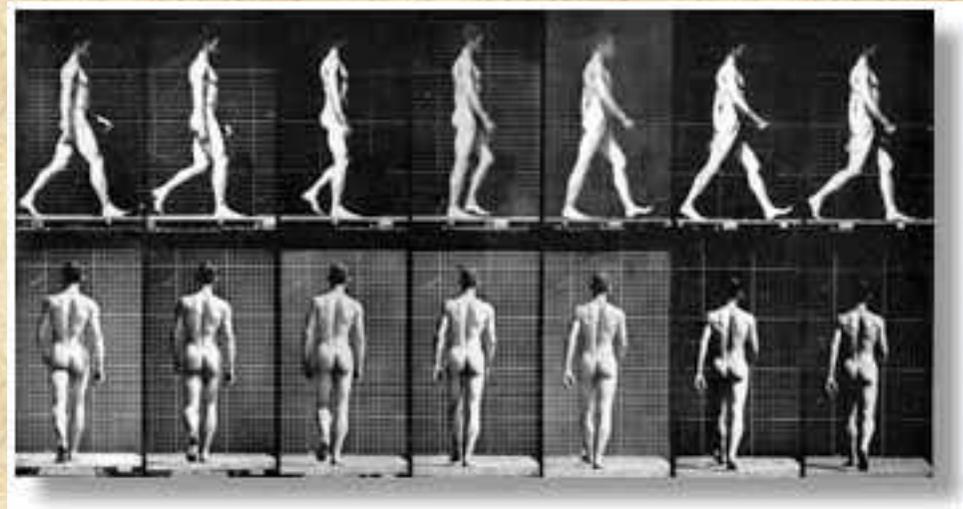
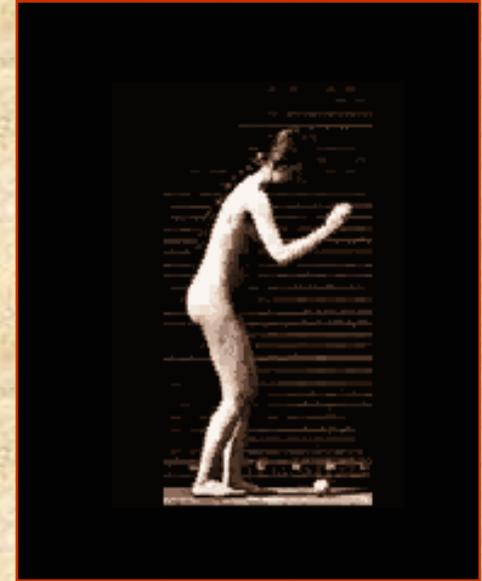


Cinema

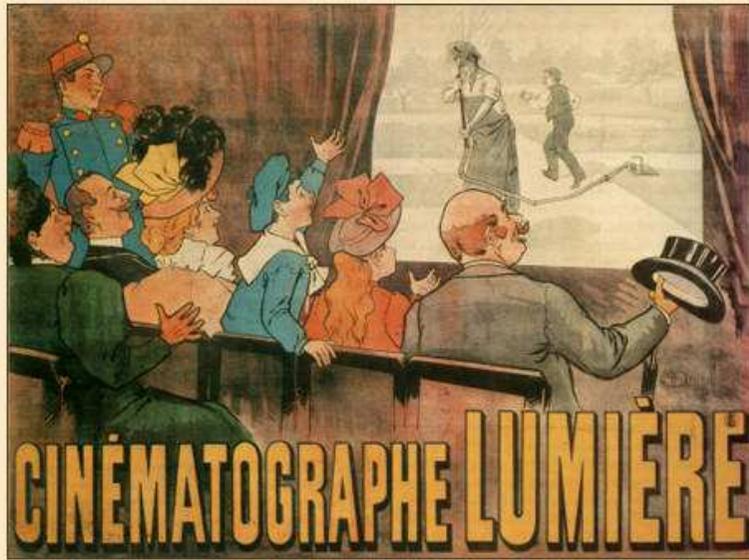


Eadward Muybridge

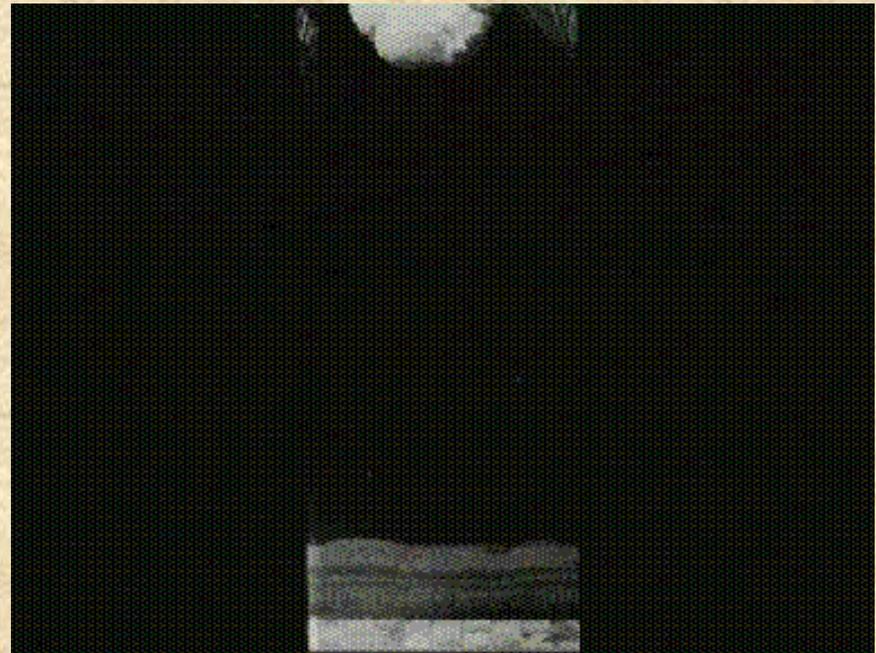
Da fotografia
surgiu, no final
do século XIX,
o cinema



Cinema



O cinema foi utilizado para diversão e como meio de pesquisa



Fonógrafo

Edison, além de ajudar a desenvolver o cinema, inventou o fonógrafo.

Edison Kinetoscopic
Record of a Sneeze,
January 7, 1894

©January 9, 1894
W.K.L. Dickson



Thomas A. Edison

A Física do século XIX

Termologia

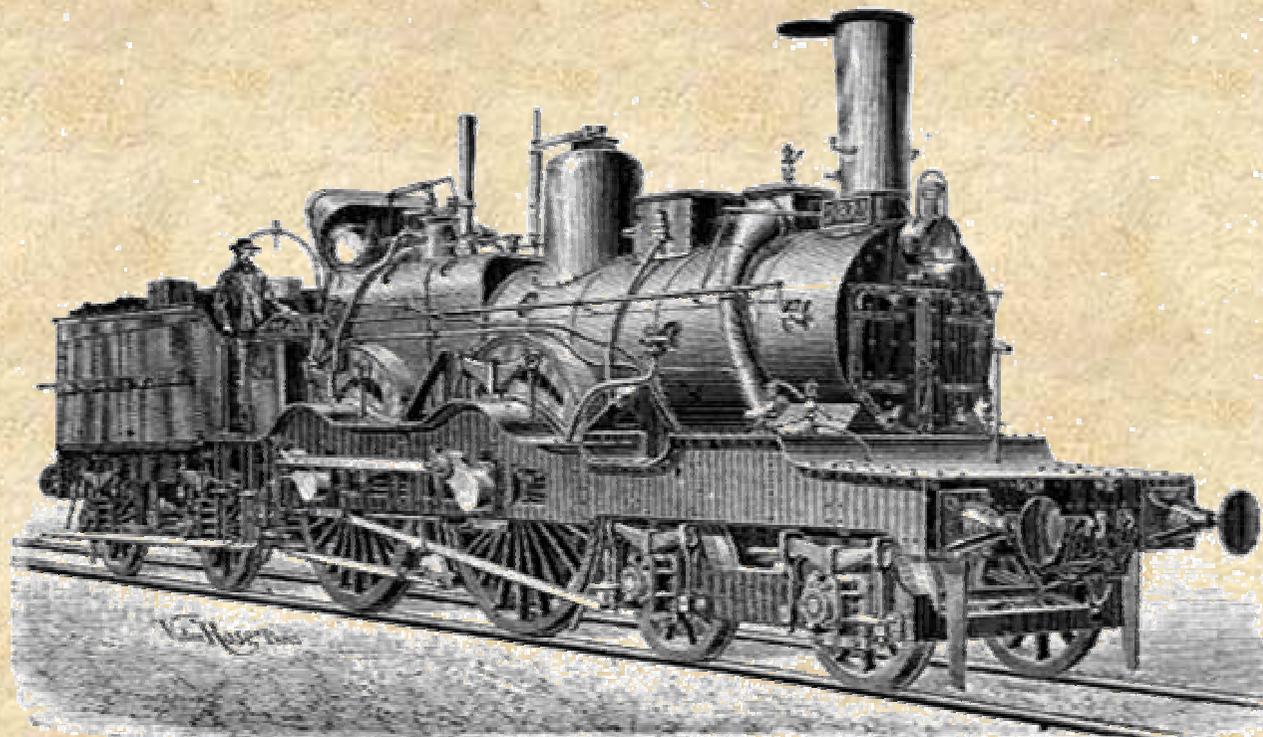
- conversão de trabalho em calor
- conservação da energia
- máquinas térmicas
- 2a. lei da termodinâmica
- entropia

e também aplicações técnicas



Transportes

As máquinas a vapor foram aperfeiçoadas e aplicadas aos transportes, em navios e trens



Transportes

Foram também
construídos automóveis
movidos a vapor



A Física do século XIX



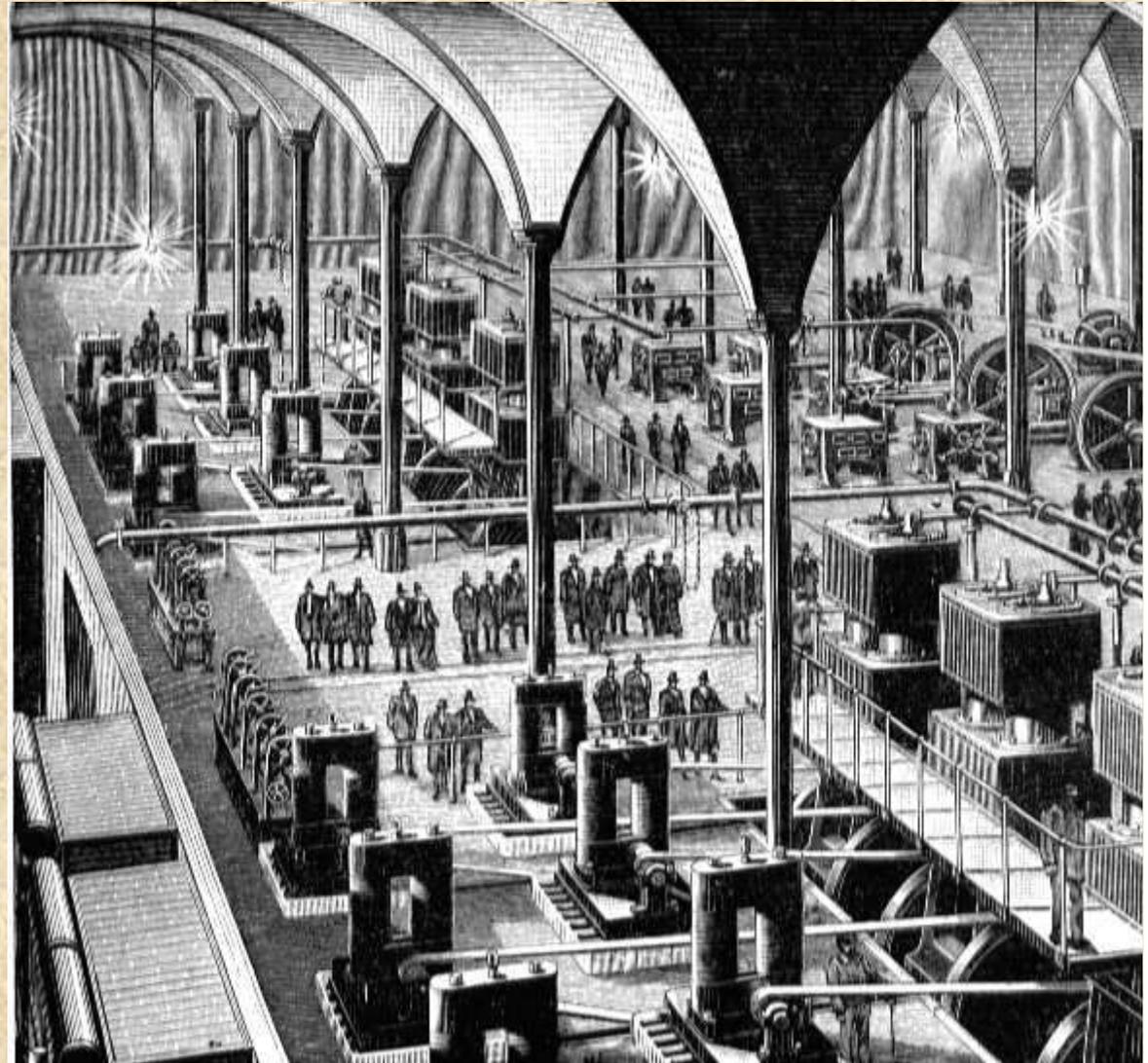
Alessandro Volta

Eletricidade e magnetismo

- pilha elétrica
 - efeitos magnéticos da eletricidade
 - efeitos elétricos do magnetismo
 - teoria eletromagnética
- e também aplicações técnicas

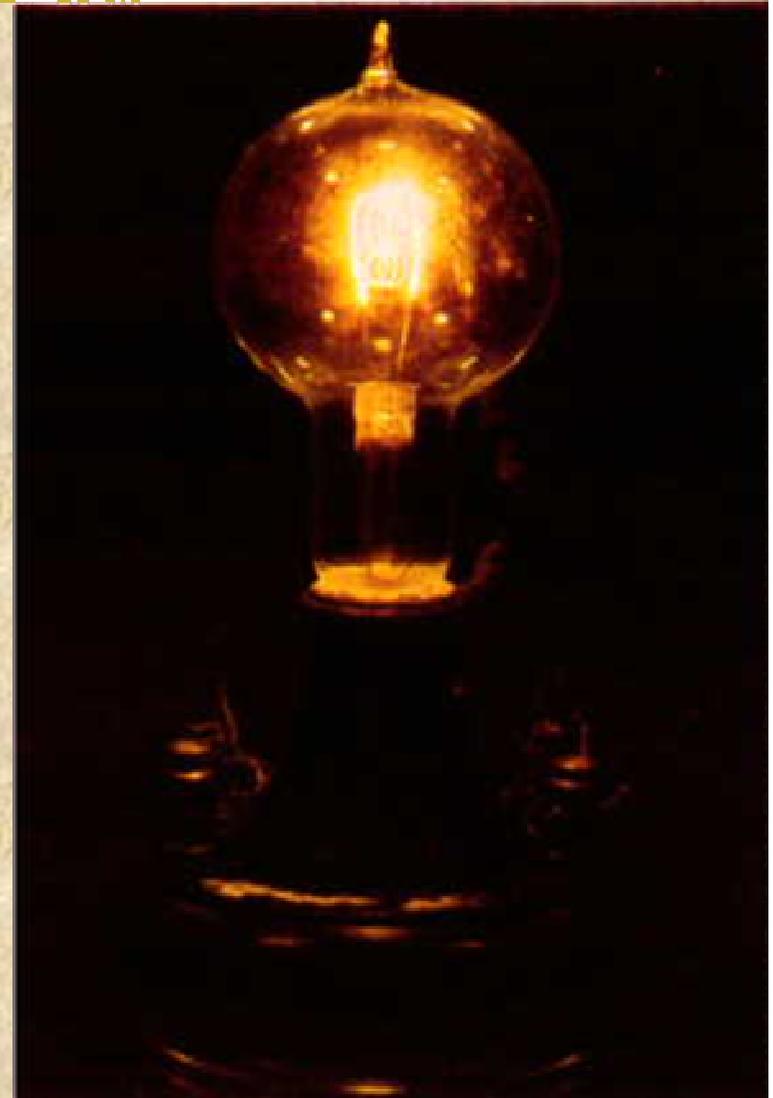
Energia elétrica

No final do século XIX, foram construídas grandes usinas para a geração de eletricidade

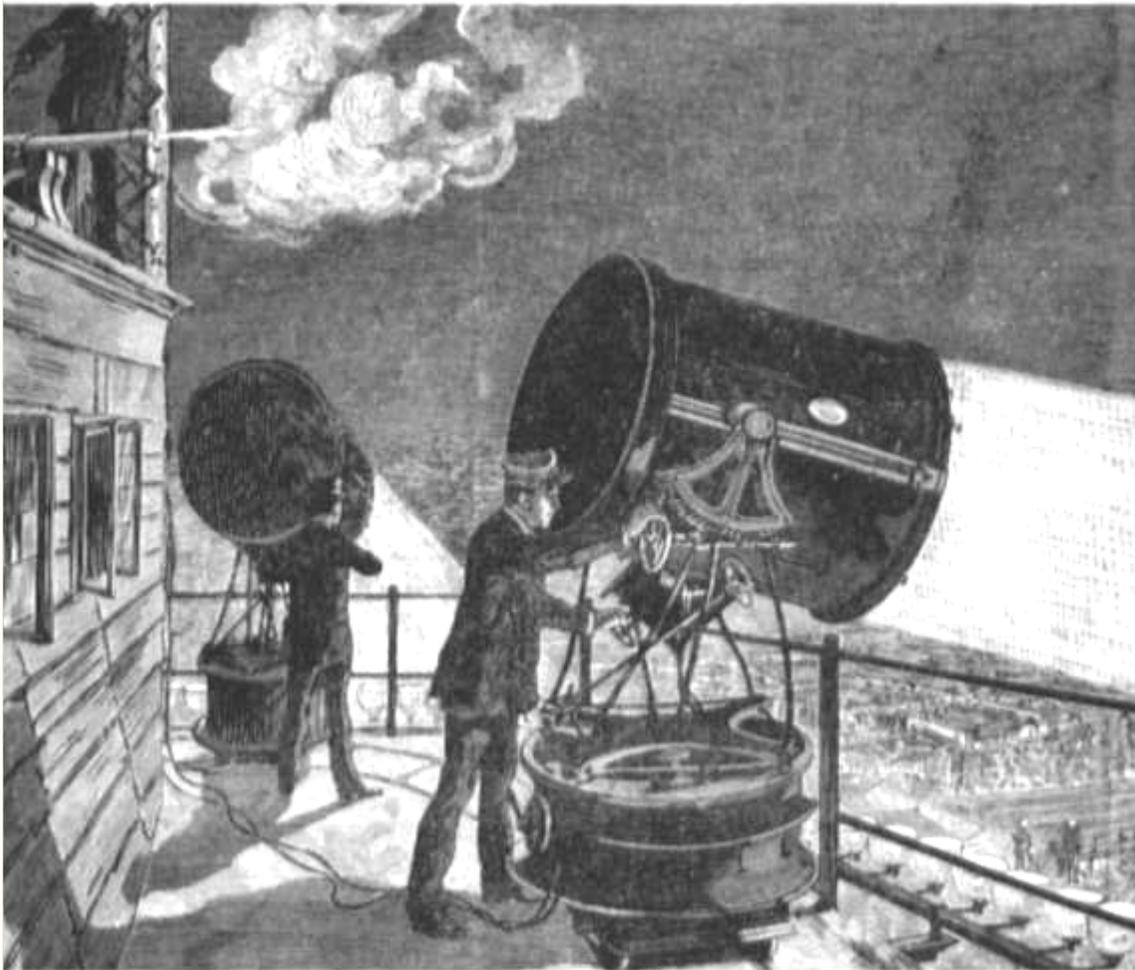


Energia elétrica

As lâmpadas elétricas começaram a substituir a iluminação com lampiões e com gás (lâmpada construída por Edison, com filamento de carvão)



Energia elétrica



Os faróis foram equipados com lâmpadas elétricas, e na Torre Eiffel foram colocados holofotes que iluminavam objetos a 11 quilômetros de distância

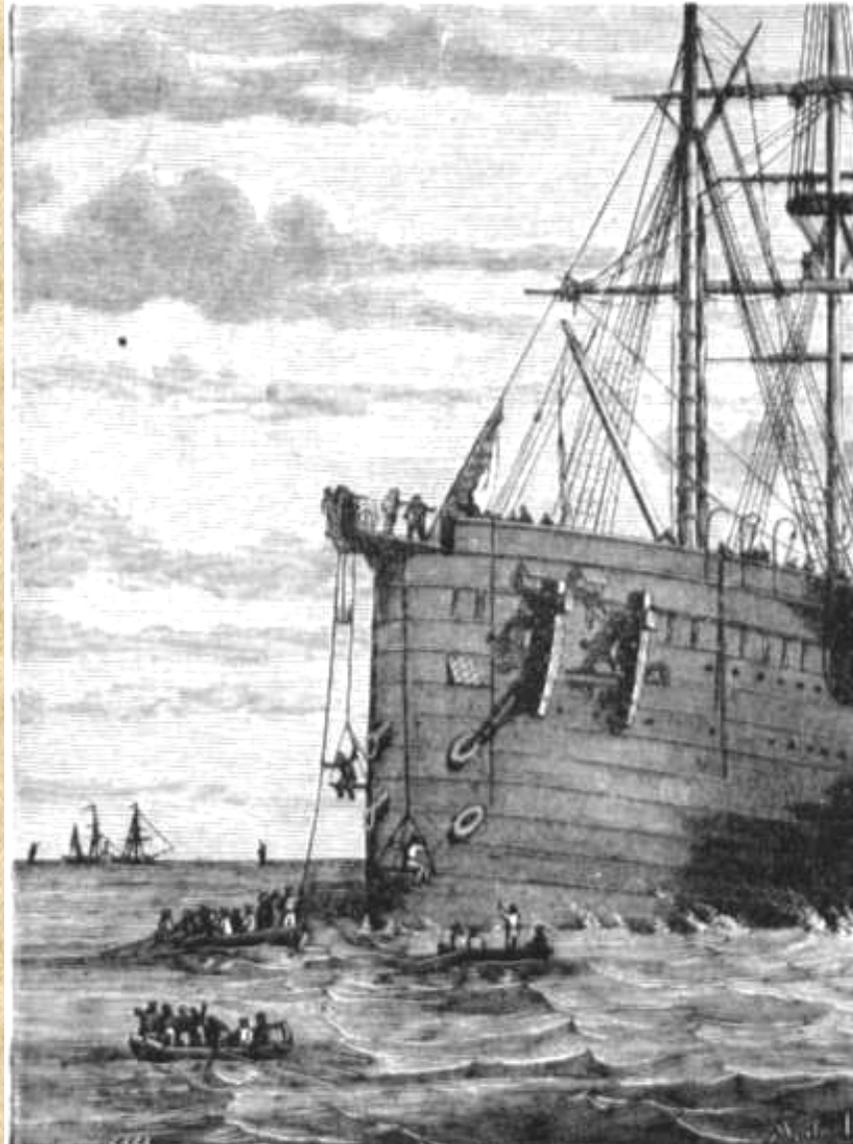
Comunicações

A eletricidade permitiu a comunicação à distância, pelo telégrafo



Comunicações

Foram
estendidos
cabos de
telégrafo
através do
oceano
Atlântico, para
comunicação
internacional



Comunicações

Alexander Graham Bell, 1892

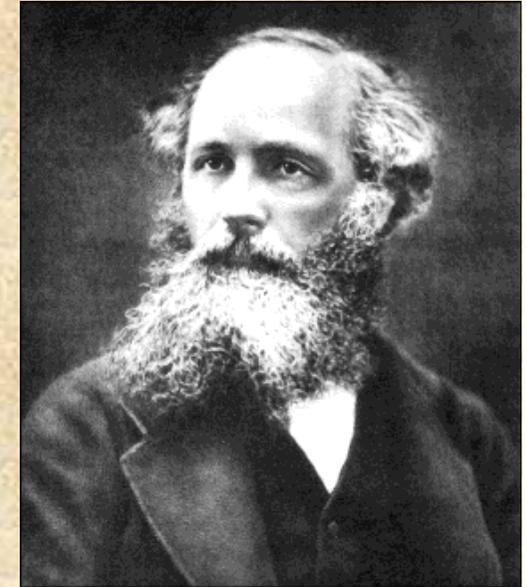
No final do século XIX Graham Bell inventou o telefone, e logo se tornou possível fazer ligações interurbanas



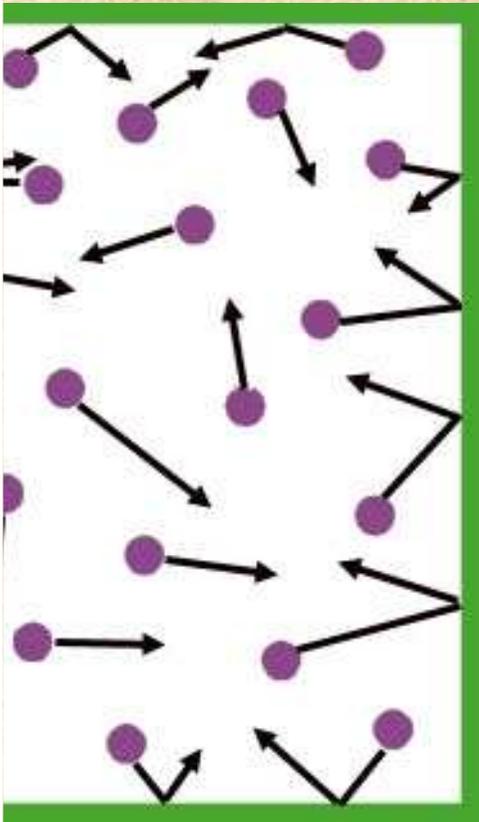
Séc. XIX: grandes sucessos

Eletromagnetismo

- previsão: onda eletromagnética com velocidade igual à da luz
- produção de ondas Hertzianas
- luz = ondas eletromagnéticas



Séc. XIX: grandes sucessos



Termodinâmica

- teoria cinética dos gases: temperatura = energia cinética das moléculas
- mecânica estatística: leis probabilísticas

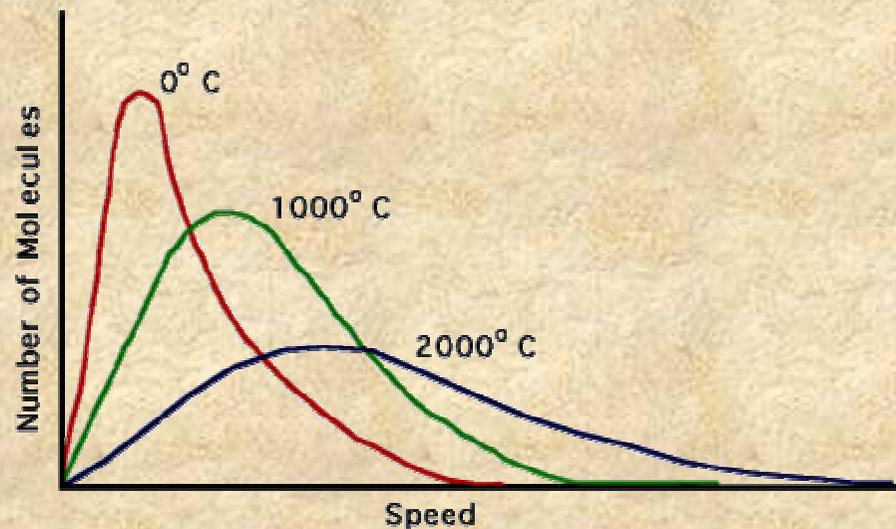


Ludwig Boltzmann

Séc. XIX: grandes sucessos

Época de grandes unificações

- eletricidade e magnetismo
- eletromagnetismo e óptica
- mecânica e termodinâmica



Séc. XIX: grandes sucessos

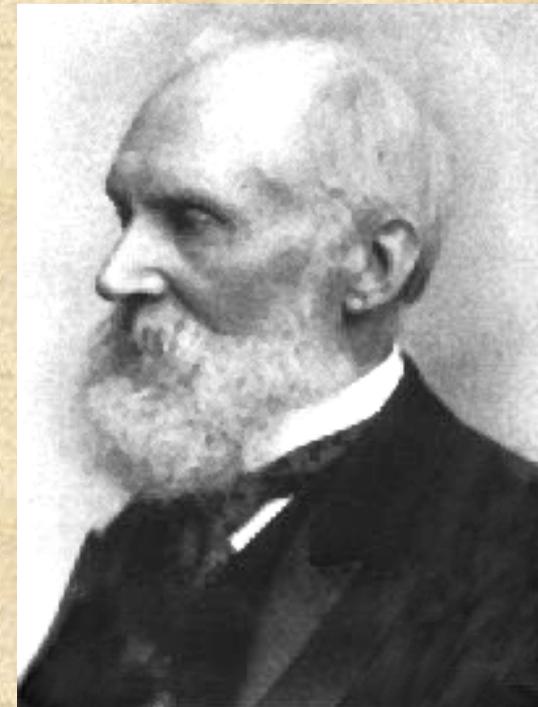
Havia um grande otimismo geral com o progresso da humanidade e com o desenvolvimento técnico e científico.



1900: O fim da física?

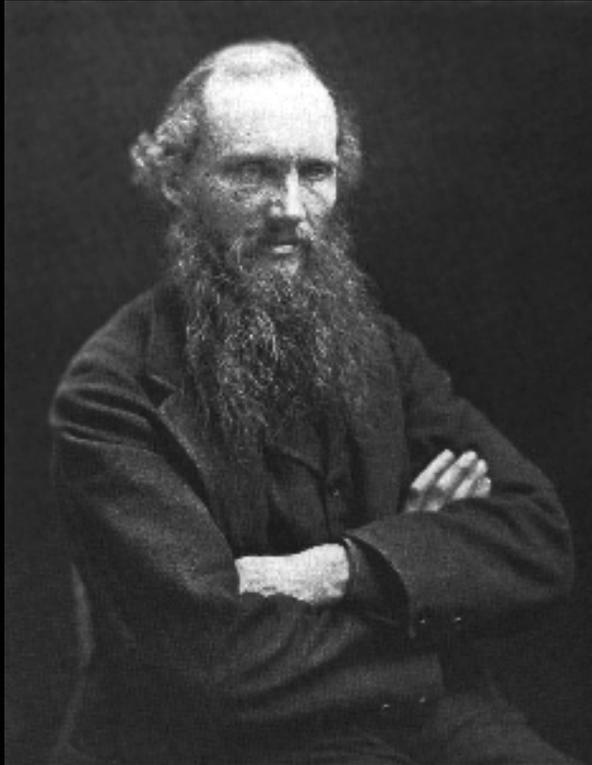
Em 1900 alguns físicos pensavam que a física estava praticamente completa.

Lord Kelvin recomendou que os jovens não se dedicassem à física, pois só faltavam alguns detalhes pouco interessantes, como o refinamento de medidas.



Lord Kelvin

1900: O fim da física?



Lord Kelvin

Lord Kelvin, no entanto, mencionou que havia “duas pequenas nuvens” no horizonte da física: os resultados negativos do experimento de Michelson e Morley, e a dificuldade em explicar a distribuição de energia na radiação de um corpo negro.

1900: O fim da física?

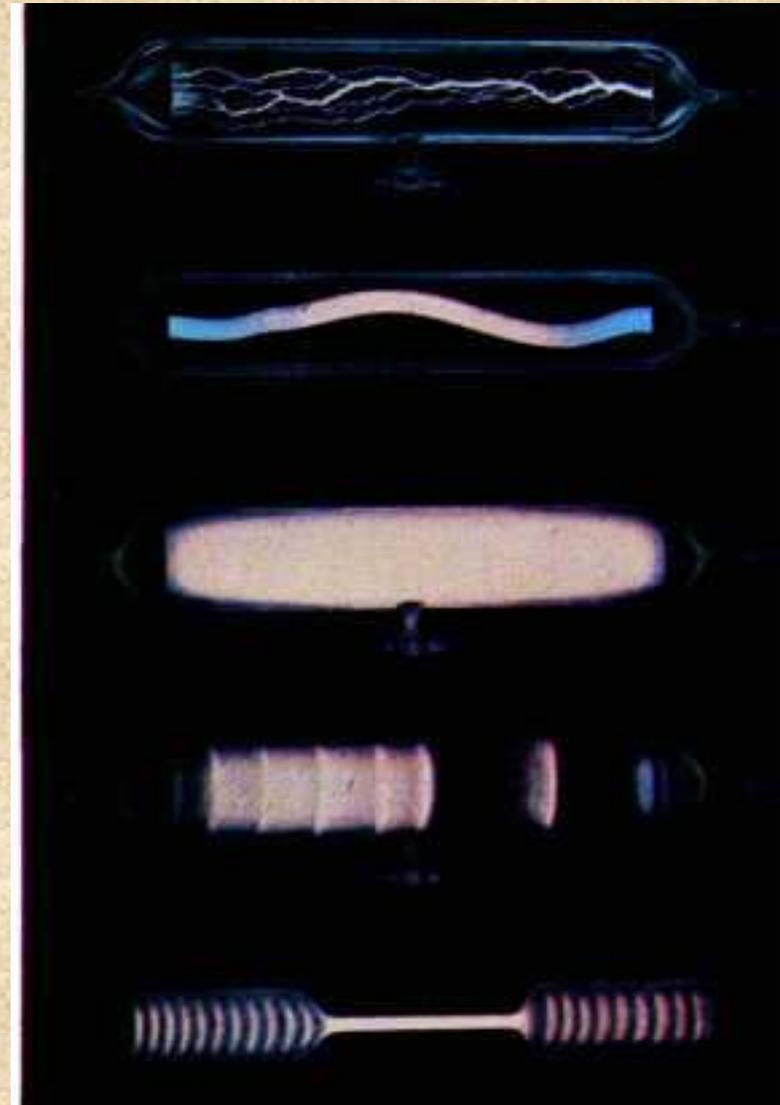
No final do século XIX existiam vários problemas na física, mas muitos físicos não davam importância a eles.

- Novos fenômenos inexplicados
- Problemas teóricos e conceituais



Descobertas experimentais

O estudo de descargas elétricas em gases rarefeitos levou à descoberta dos raios catódicos



Descobertas experimentais

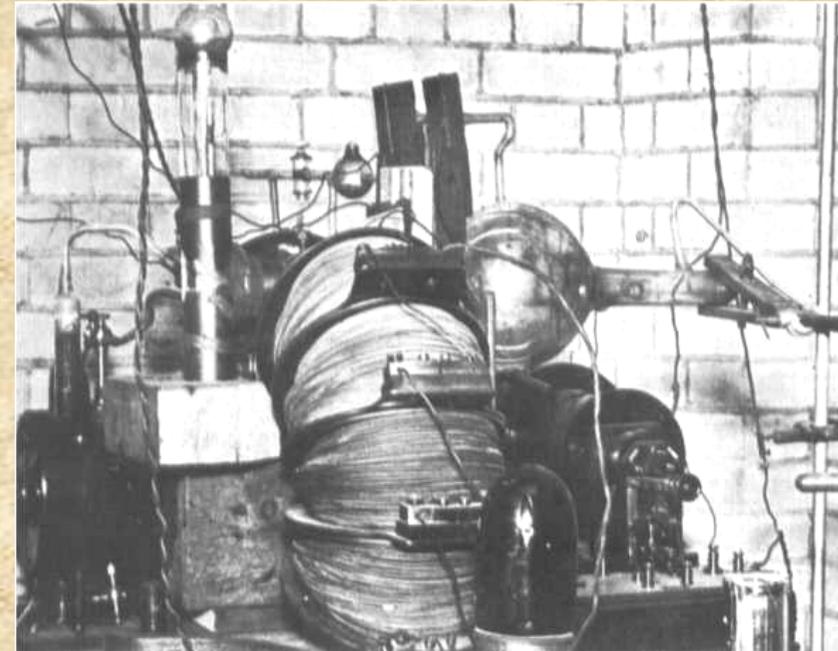
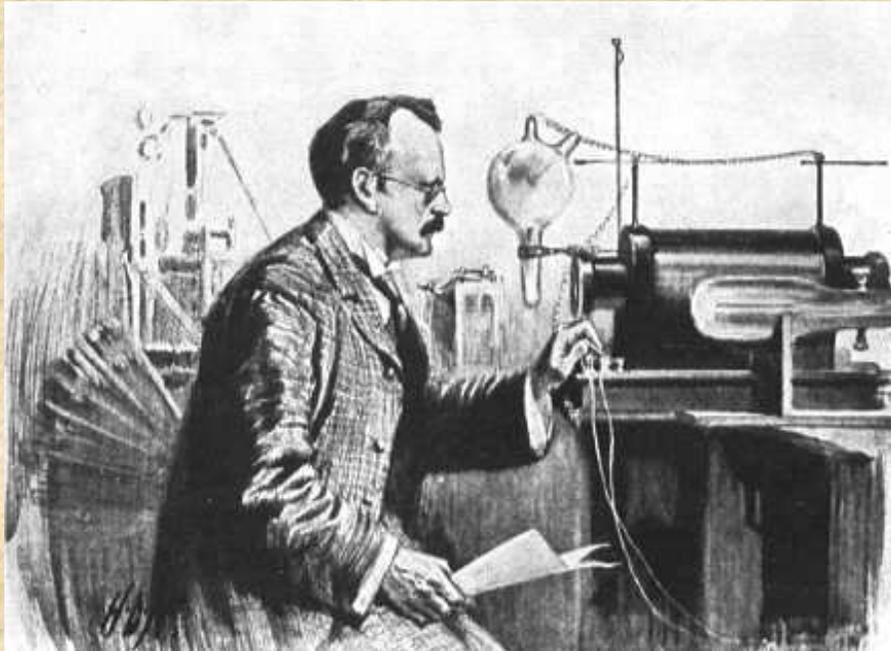


Os raios catódicos levaram à descoberta dos raios X, que eram úteis mas misteriosos.



Descobertas experimentais

J. J. Thomson, estudando os raios catódicos, descobriu o elétron. Mas que relação os elétrons tinham com os átomos da matéria?



Descobertas experimentais

Os estudos de Henri Becquerel e do casal Curie levaram à descoberta da radioatividade e de estranhos elementos que emitiam energia de origem desconhecida.



Descobertas experimentais

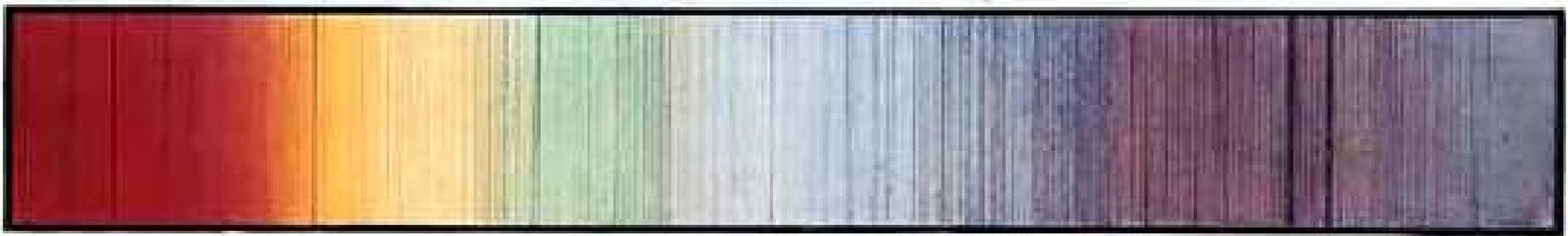
Os raios X e a luz ultravioleta podiam descarregar eletroscópios, e em alguns casos a luz visível também, mas o fenômeno não era compreendido: por que alguns tipos de luz não conseguem produzir o efeito fotoelétrico?



Descobertas experimentais



O espectro da luz do Sol, quando analisado com um espectrógrafo, mostra linhas escuras (linhas de Fraunhofer).

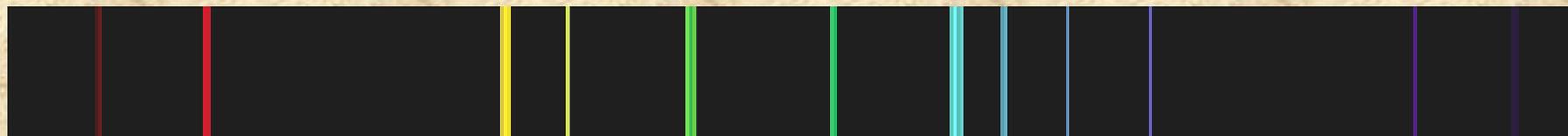


Descobertas experimentais

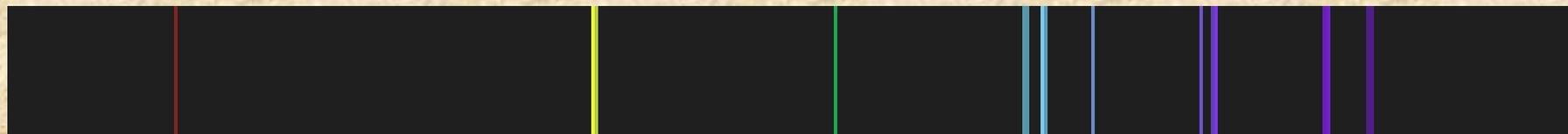
Descobriu-se que cada elemento químico emitia (ou absorvia) luz com um espectro descontínuo de raias.

A espectroscopia se tornou um importante método de identificação de elementos.

Mas qual era a causa dessas raias?



carbono



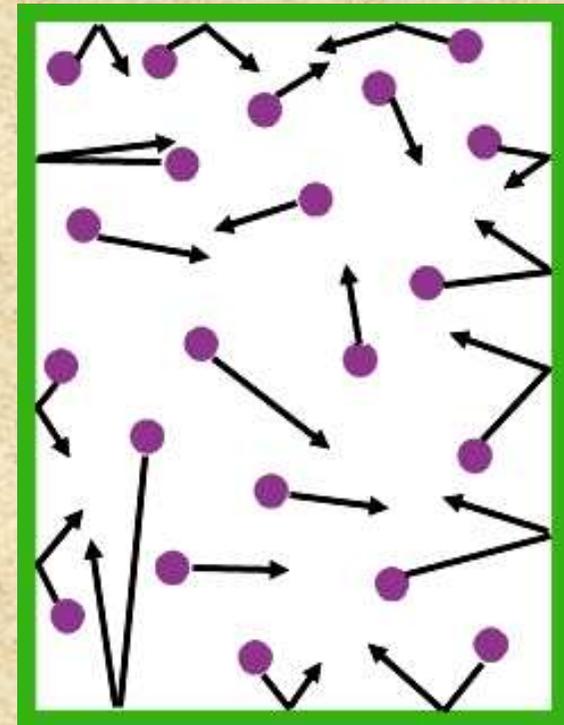
hélio

Problemas da física - 1900

No final do século XIX,
não se compreendia a
estrutura da matéria.

O único estado da matéria
que havia sido explicado
era o gasoso.

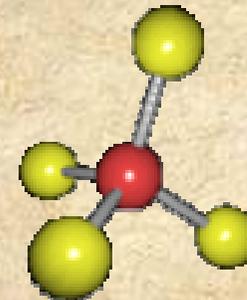
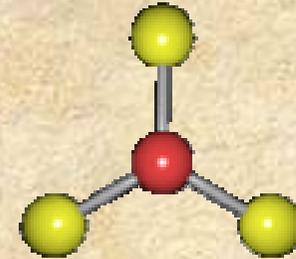
Era incompreensível como
os átomos podiam
formar corpos sólidos.



Problemas da física - 1900

Os átomos imaginados pelos químicos eram simples “bolinhas” sem estrutura. Como eles se unem?

De todo tipo de matéria saem elétrons. Como eles se relacionavam com os átomos da matéria?



Problemas da física - 1900

O que eram os raios X?

Um tipo de onda
eletromagnética?

Ou um tipo de partícula,
como o elétron?



Problemas da física - 1900

O que eram as
radiações
emitidas pelos
corpos
radioativos?

De onde saia
sua energia,
que parecia
inesgotável?

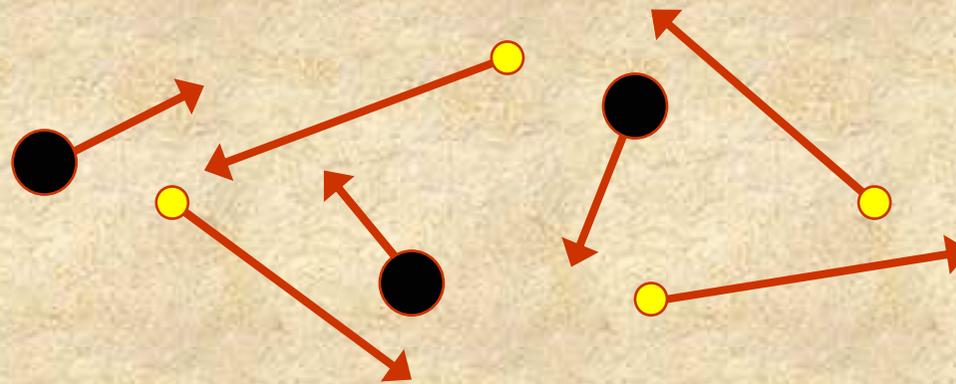


Problemas da física - 1900

Nos gases, a energia cinética média das moléculas depende apenas da temperatura.

Numa mistura de gases, a energia se distribui por todos os tipos de moléculas.

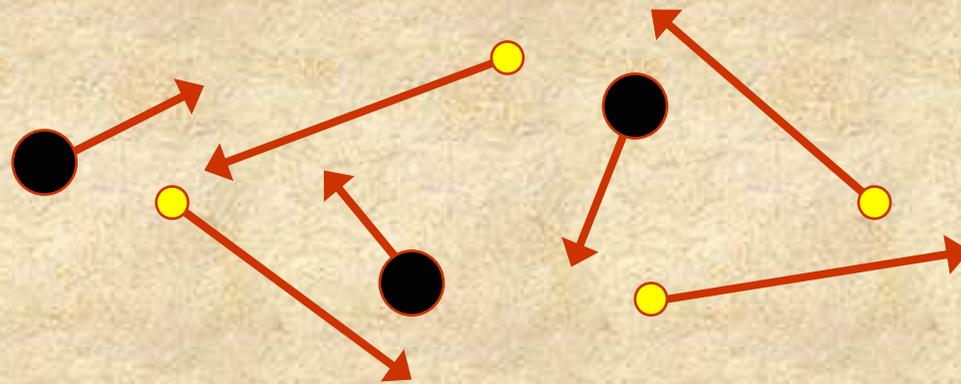
Moléculas de menor massa (como hidrogênio) têm maior velocidade média do que as de maior massa.



Problemas da física - 1900

A teoria previa uma “equipartição de energia” por todos os tipos de partículas e de movimentos possíveis.

Ela previa bem o calor específico dos gases, supondo que as moléculas eram simples “bolinhas”.



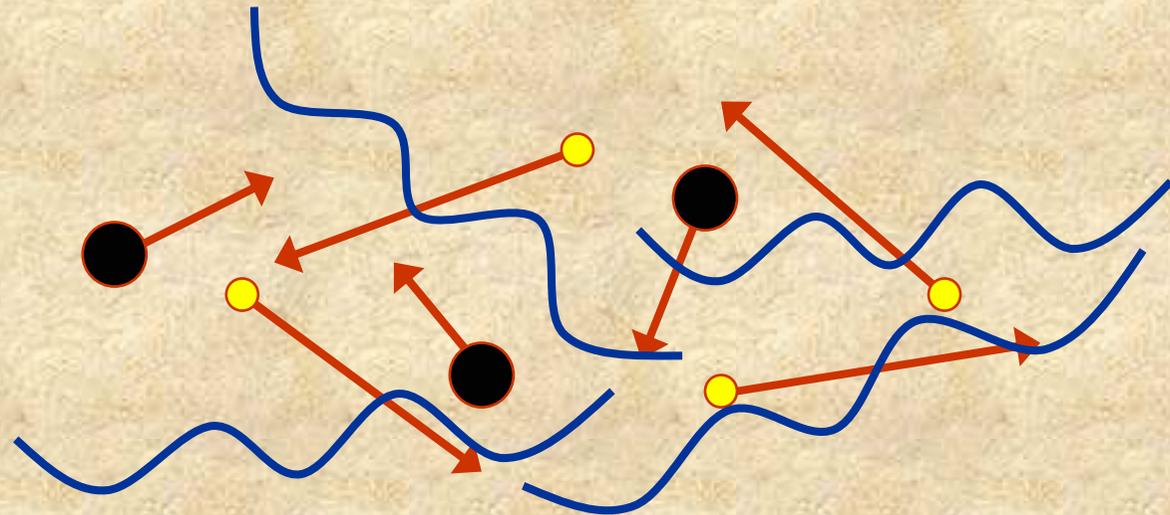
Problemas da física - 1900

**Mas havia problemas:
No caso de sólidos, o calor específico medido era menor do que o previsto.
Em vários casos, parecia que nem todas as partículas recebiam energia.**

Problemas da física - 1900

Dentro de um recipiente com gás aquecido também existe radiação eletromagnética (térmica), e a energia deveria se distribuir entre as moléculas e as ondas luminosas.

A teoria parecia indicar que iriam sendo criadas ondas luminosas, e que elas ficariam com toda a energia.



Matéria e radiação

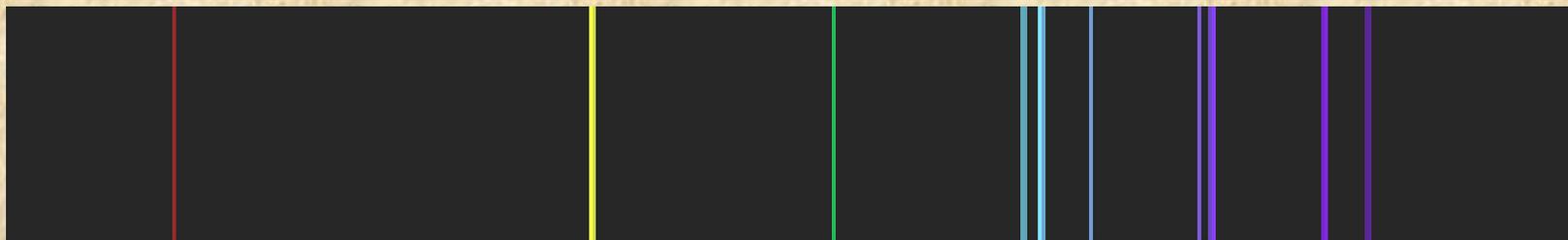
Um dos grandes problemas teóricos no final do século XIX era compreender a interação entre matéria e radiação.

Como funcionam os materiais luminescentes?



Matéria e radiação

Por que os sólidos emitem um espectro luminoso contínuo, e os gases emitem espectros descontínuos?



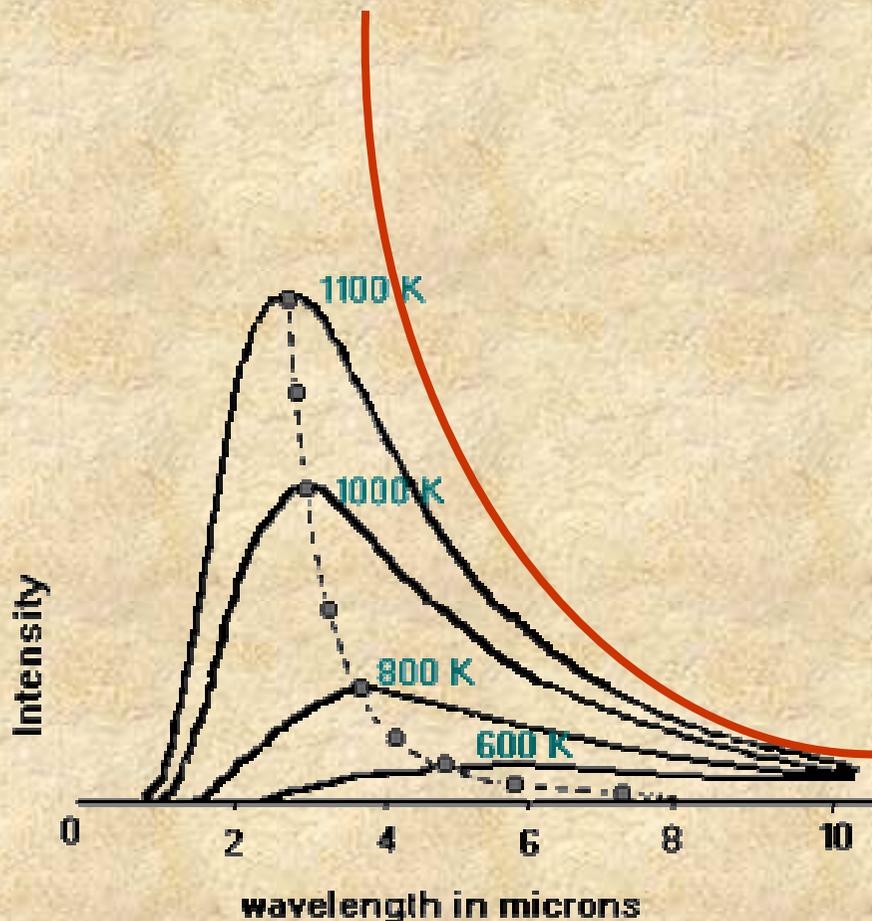
Matéria e radiação

Se a luz é uma onda eletromagnética, existem cargas elétricas vibrando nos gases, para produzir a luz emitida?

Por que essas vibrações possuem apenas certas frequências, diferentes de um elemento químico para outro?



Matéria e radiação



Uma cavidade quente (“corpo negro”) emite radiação contínua.

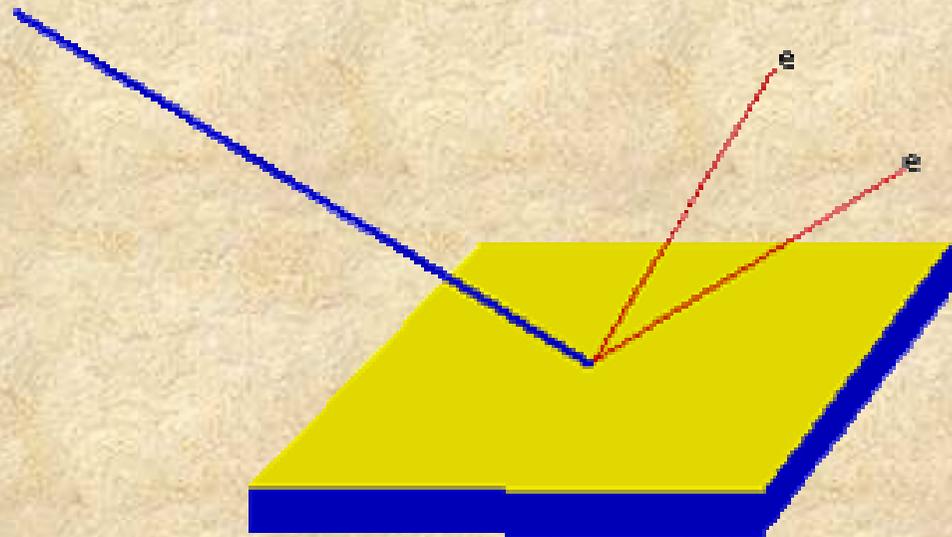
A teoria previa que ela deveria emitir mais radiação de pequenos comprimento de onda do que de grande comprimento de onda.

Mas não era isso o que se observava.

Matéria e radiação

No efeito fotoelétrico, a radiação arranca elétrons dos metais.

Esse efeito deveria depender da intensidade da luz (energia), e não da cor ou frequência.

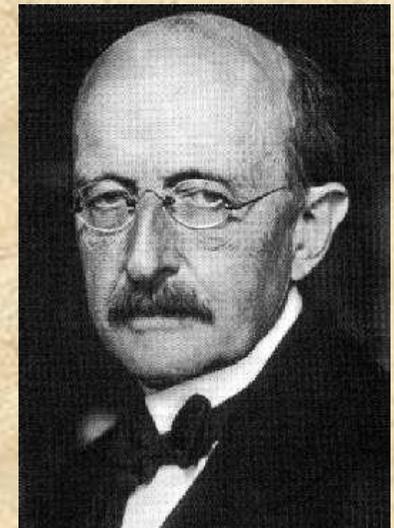
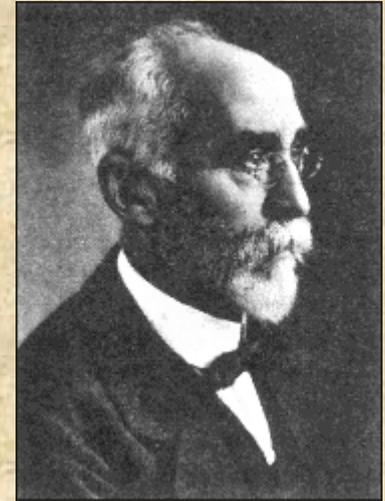


As tentativas de unificação

No final do século XIX, o estudo de alguns desses problemas e as tentativas de continuar a unificar a física

- a mecânica com o eletromagnetismo
- a termodinâmica com o eletromagnetismo

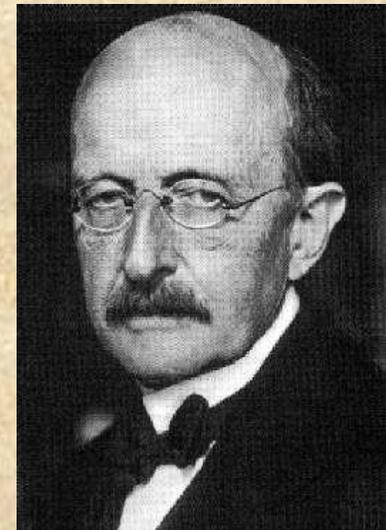
levaram a problemas teóricos complicados, desencadeando a criação da teoria da relatividade e da teoria quântica.



O surgimento dos quanta

A teoria quântica surgiu da tentativa de compreender os problemas de interação da radiação com a matéria e solucionar alguns desses problemas.

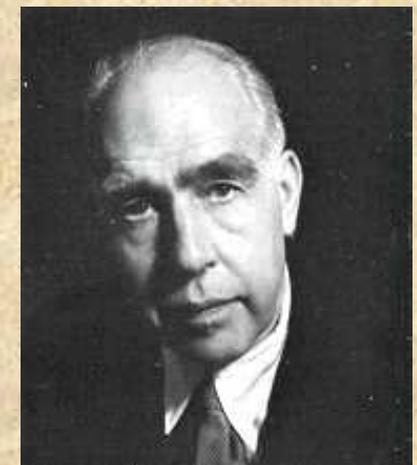
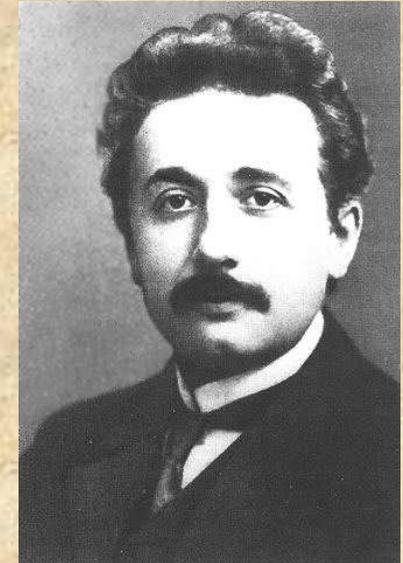
O primeiro passo no desenvolvimento da teoria quântica foi dado por Max Planck, há cem anos.



O surgimento dos quanta

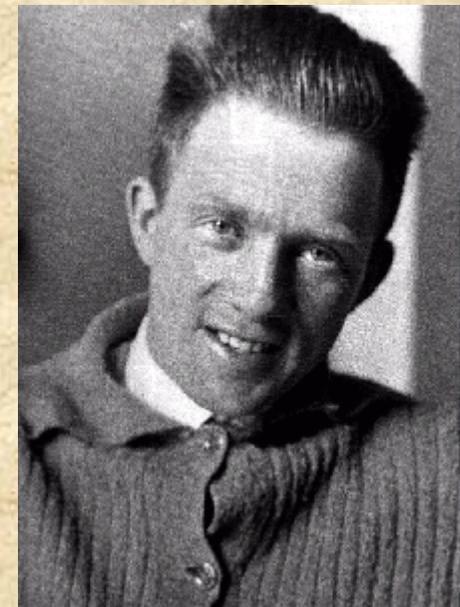
Nos primeiros anos do século XX, a teoria quântica começou a resolver diversos problemas:

- radiação do corpo negro - Planck
- efeito fotoelétrico - Einstein
- calor específico de sólidos - Einstein
- espectro atômico descontínuo - Bohr



O surgimento dos quanta

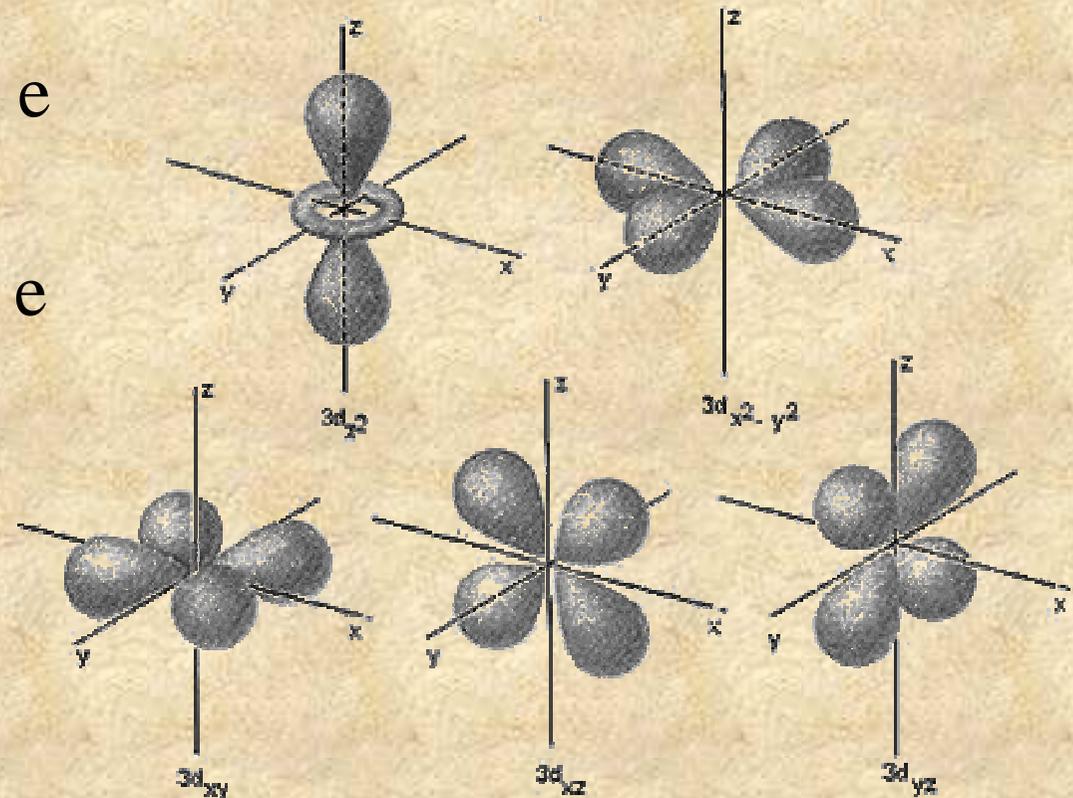
Apenas na década de 1920 a teoria quântica se transformou na Mecânica Quântica, com uma compreensão mais profunda da dualidade onda-partícula, graças a De Broglie, Schrödinger, Heisenberg, Bohr e outros.



O surgimento dos quanta

A teoria quântica nos permitiu compreender muitos fenômenos importantes:

- estrutura de átomos e moléculas
- estrutura de sólidos e suas propriedades
- emissão e absorção de radiações



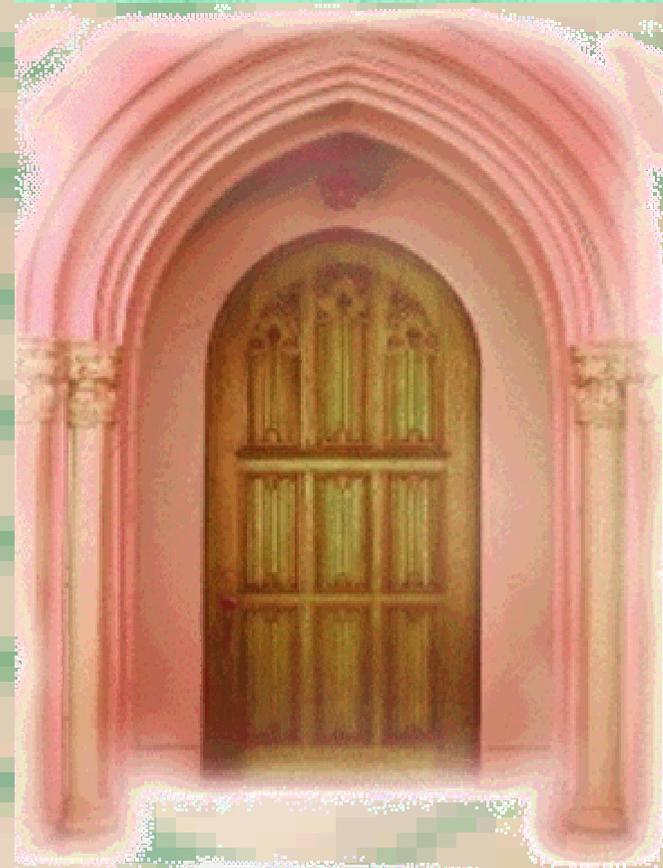
A seguir:

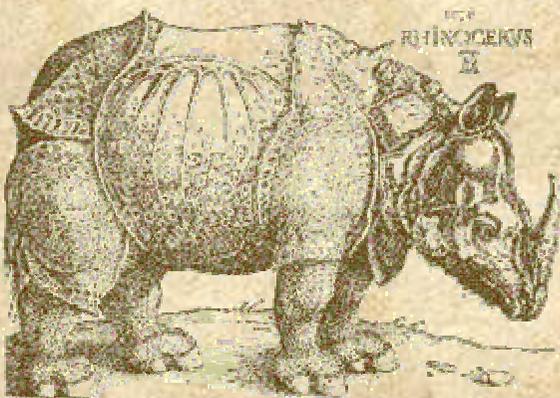
As próximas palestras desta Oficina vão apresentar:

- Os primeiros passos da teoria quântica
- Alguns experimentos com efeitos quânticos
- Os passos que levaram à mecânica quântica



FIM





**Esta apresentação
PowerPoint estará
disponível na Internet,
para os interessados, no
seguinte endereço:**

<http://ghtc.ifi.unicamp.br/oficina.htm>