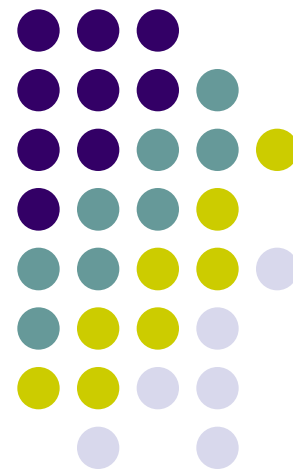


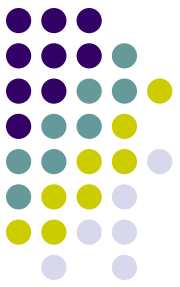
京都教育大学附属高等学校SSH研修 極低温の世界-超伝導-を 体験しよう

京都大学工学研究科電子工学専攻
集積機能工学講座
准教授 掛谷一弘



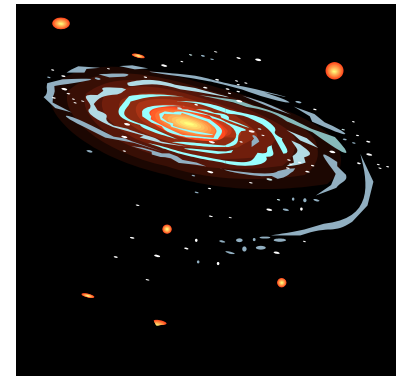
akeya@kuee.kyoto-u.ac.jp
<http://sk.kuee.kyoto-u.ac.jp/>



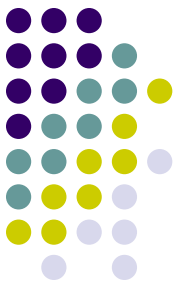


ところで、「物理」って

- あらゆる自然現象を説明しようとする学問
 - 普遍性が不可欠
 - ニュートン力学はリンゴから太陽まで
 - その後、量子力学・相対論
 - 物理学は宇宙で共通
 - 説明するための道具
 - 言葉
 - 数学：微分積分・行列



$$F = \int f(x) dx \quad A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \end{pmatrix}$$



物理で使う数式の例

$$\frac{d^2y}{dx^2} + P(x)\frac{dy}{dx} + Q(x)y = R(x).$$

$$m\mathbf{a} = m\frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2} = \mathbf{F}$$

$$\frac{1}{s^2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \Delta u$$

$$i\hbar\frac{\partial}{\partial t}|\psi(t)\rangle = \hat{H}|\psi(t)\rangle$$

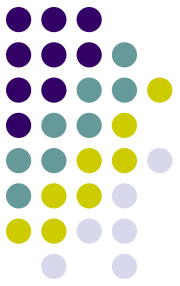
$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} + \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \mathbf{0}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$$

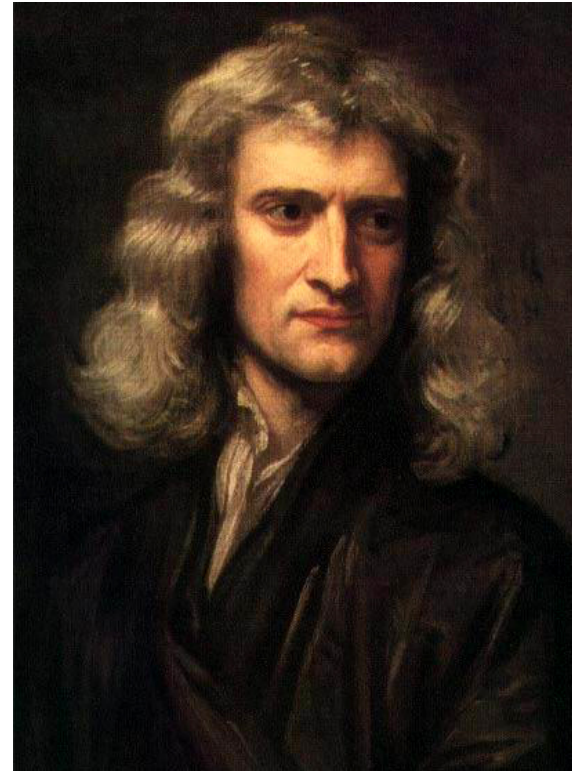
$$\nabla \times \mathbf{H} - \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} = \mathbf{j}$$

$$H(x, p) = \begin{pmatrix} E_0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & E_1 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & E_2 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{pmatrix}$$



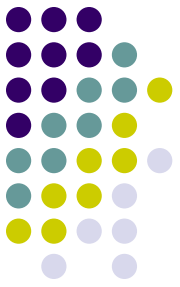
アイザック・ニュートン

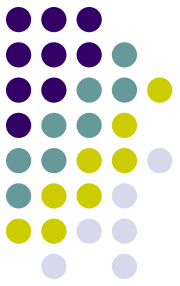
- 運動の3法則の確立
 - 慣性の法則
 - 運動法則
 - 作用反作用の法則
- 微分方程式の発明
- 万有引力の法則
- 光の研究
 - ニュートンリング
 - 虹を7色



Isaac Newton, 1642-1727

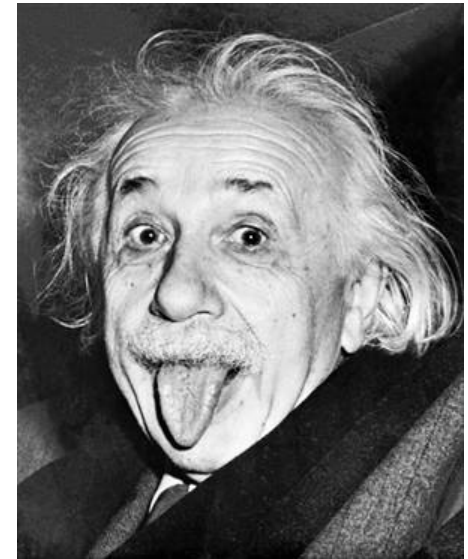
ケンブリッジ大学トリニティカレッジ ニュートンのリンゴの木



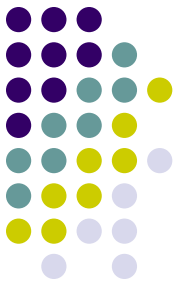


現代物理学における分野

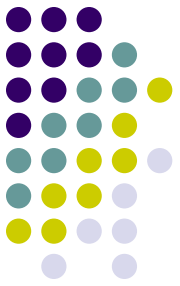
- 素粒子物理学
 - 物質の最小単位は？
 - 万物(物質・力・質量)の起源
- 物性物理学
 - 物質の性質を説明する
 - 電気・熱伝導、磁気・光学特性
 - 力学的強度
 - 多様性の中に普遍性を見出す(化学との違い)
- 量子論・相対性理論



A. Einstein (1879-1955)



電子の発見と量子力学



「電子」の位置づけ

京都大学工学部

電気電子工学科

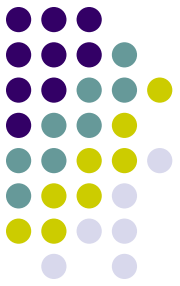
Dept. of Electrical and Electronic Engineering

電子工学?

エレクトロニクス(electronics)

=electron(電子)+ics(学)

エレクトロンは電子工学の主役



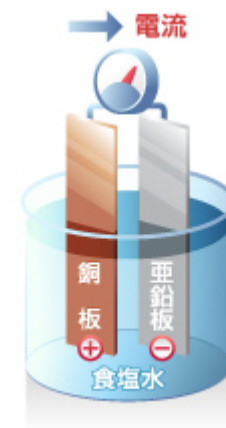
電気とは何か

- 光源(照明)
- 熱源
 - 暖房、調理
- 動力源(モーター)
 - 電車・自動車、洗濯機、冷蔵庫・冷房
- 電荷(電流)源
 - 計算機(コンピュータ)、計算素子
- 現代生活に欠かせないエネルギー源

電気と人間の歴史(紀元前-18C)



- 「静電気」は古代ギリシャ時代より認識
 - 琥珀が羽毛を引き寄せる
 - ギルバードはηλεκτρονからelectricaと命名(16C)
- 電流の発見(18C)
 - 雷(フランクリン)、ボルタ電池

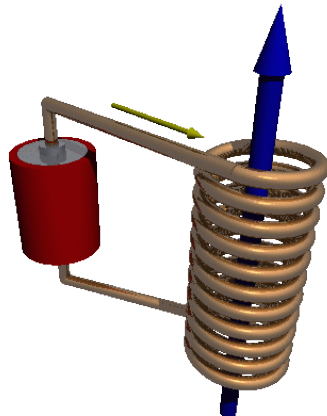


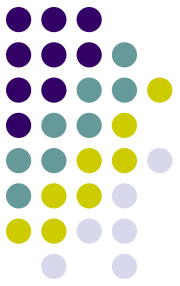


電気と人間の歴史(19世紀)

電気と磁気の関係(19C)

- 電流が磁界を作る(アンペール)、磁界の変化が電流を作る(ファラデー)、マクスウェル方程式
 - 発電機、モーター
- 電球の発明・改良(エジソン)
- 大体のことは解ったつもりだった・・・(19世紀末)

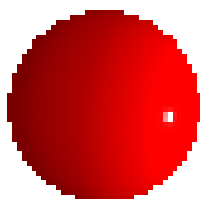




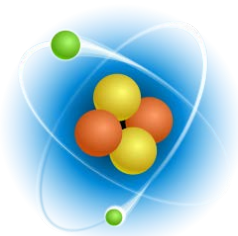
唯一の問題:「電気」の正体は？

- 電子
 - 原子=電子+原子核 
 - トムソンによって1897年に発見
 - 比電荷が一定
 - 原子核はラザフォードが発見(1911年)
- 真空放電の研究により発見
 - X線(1895年レントゲン)、放射能(1896年ベクレル)
 - ポンプの発達により、高真空が得られるようになった

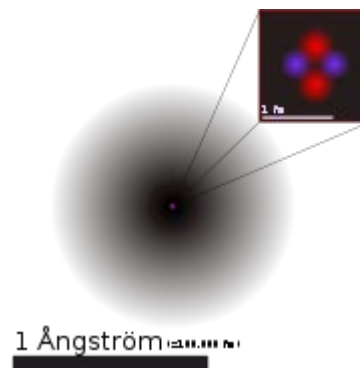
「原子の構造をご存じですか？」



BC-19C
デモクリトス
Ἀτομον
ドルトン
Atom



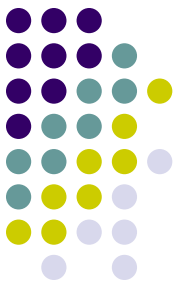
1904
長岡モデル



現在の理解

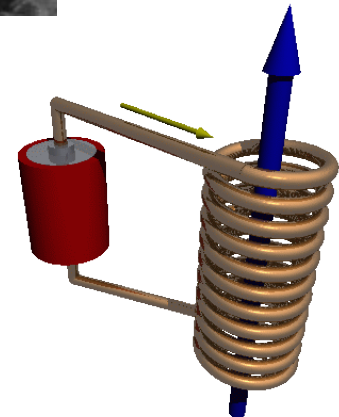
- 文部科学省中学校学習指導要領(理科)より
 - 『原子が電子と原子核からできていることを扱うこと。その際、原子核が陽子と中性子でできていることにも触れること。』





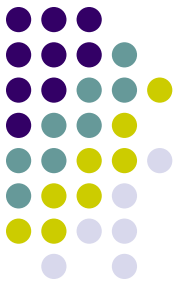
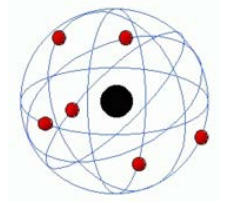
長岡半太郎(1865-1950)

- 長崎県大村市生まれ
- 東京大学理学部卒業
- 東京帝国大学教授
- 大阪帝国大学初代総長
- 磁石の研究
 - 長岡係数
- 土星モデルの提唱
 - 電子が原子核に落ち込まない理由を説明できなかった
- ノーベル賞にも数度推薦
- 弟子: 仁科芳雄

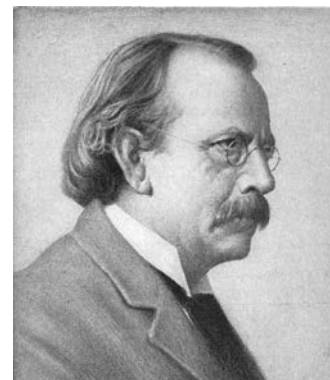
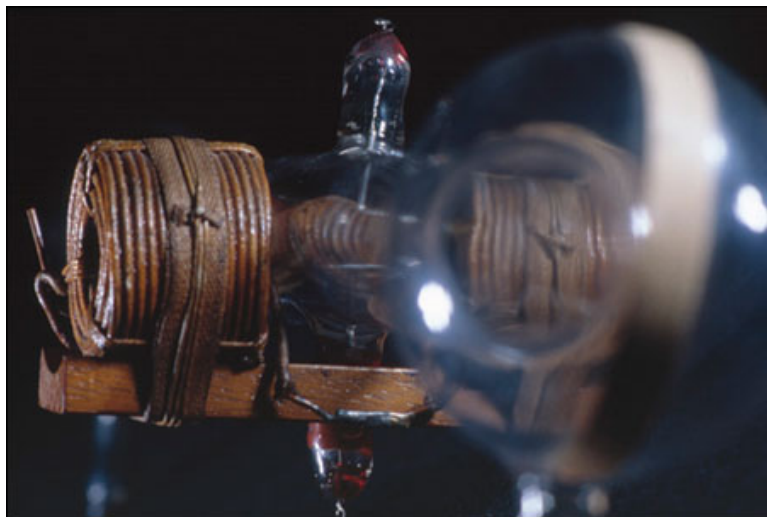


スケールの話

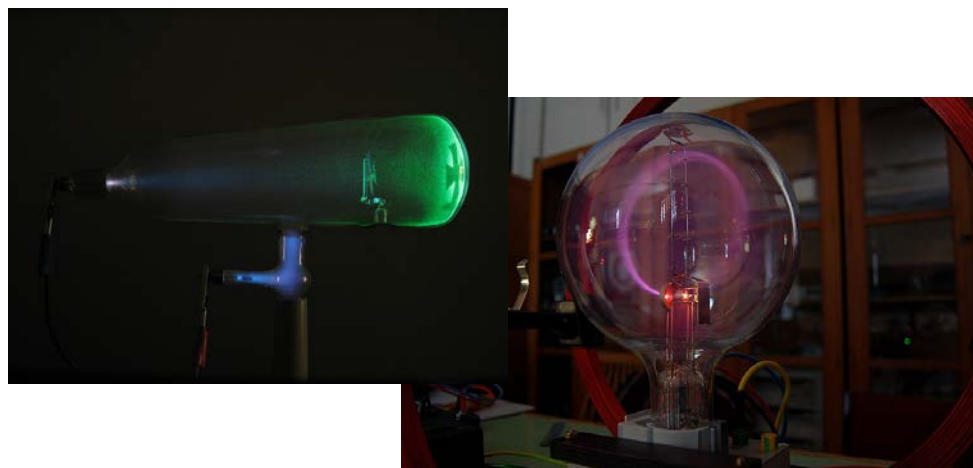
- 人間: 1 m
- プラントン: 10^{-4} m
- 細菌・光の波長: 10^{-6} m
- 原子: 10^{-10} m
- 原子核: 10^{-14} m
- 地球: 10^7 m
- 地球の公転軌道: 10^{12} m
- 太陽系: 10^{14} m
- 銀河系: 10^{20} m



電子を「見る」実験



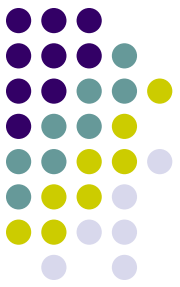
J. J. トムソン(1856-1940、英)
電子の電荷と質量の比を発見



ローレンツ力



磁界



電子の発見による物理学の転換

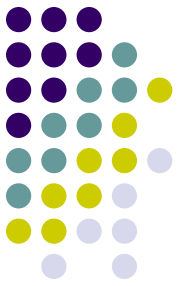
● トムソン前

- ニュートン力学
 - リンゴの運動
 - 惑星の運動
- マクスウェル電磁気学
 - 電流の流れ方
 - 電流と磁界の関係
- 古典統計力学
 - 気体の状態方程式

● トムソン後

- 電子の振る舞い
 - 低温での電気伝導
 - 超伝導
- 原子の内部構造
 - 不連続な発光・吸光
 - ラザフォードの実験
 - X線
 - 放射能
- 「量子」力学の誕生

量子力学とは



- ミクロ(原子・電子)の世界を記述する学問

- 「量子」
 - 原子・電子・原子核・陽子・中性子
 - 光
- 粒子の性質
 - 質量・直進性
- 波の性質
 - 干渉・回折・伝搬
 - 可干渉性(コヒーレンス)
- 不確定性原理
 - $\Delta p \Delta x \sim h$ (プランク定数)



Niels Bohr
(1885-1962)



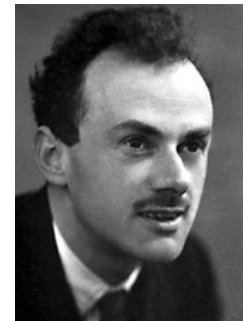
A. Einstein
(1879-1955)



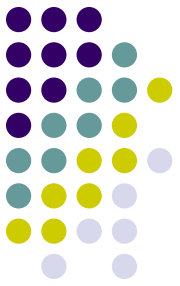
Max Planck
(1858-1947)



E. Schrodinger
(1887-1961)



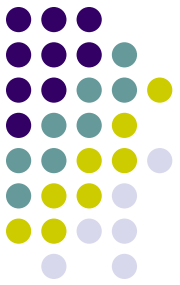
P.A.M. Dirac
(1902-1984)



本当に電子を「見てる」？

- 電子そのものを見ているわけではない
- 何かを「見る」ためには
 - 「何か」に反射された光が目に入り、脳で知覚
 - 光の波長：人間が知覚できる範囲
 - 光の波長 < 「何か」の大きさ
- 場所・大きさが決まっていなければならない
 - 原子より小さくなると、両方決まらない
 - 不確定性原理(ハイゼンベルグ)

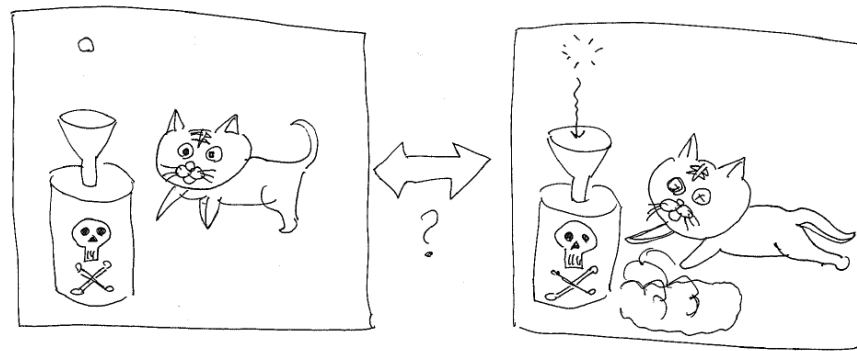




量子力学の観測問題

- 「シュレディンガーの猫」

- 箱の中に量子力学に従う放射性物質と毒ガスと猫が入れてある
- 巨視的な猫の生死すら蓋を開けてみるまで決まらない？

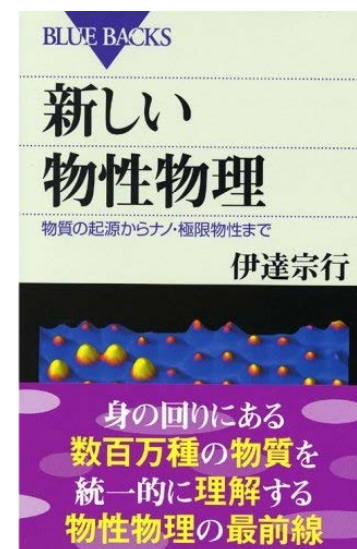
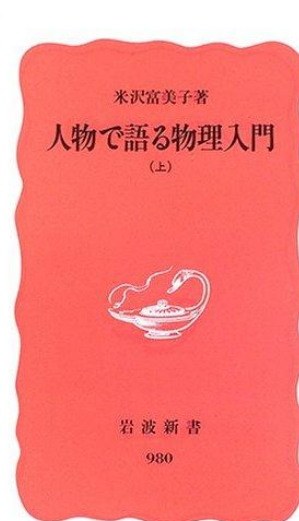
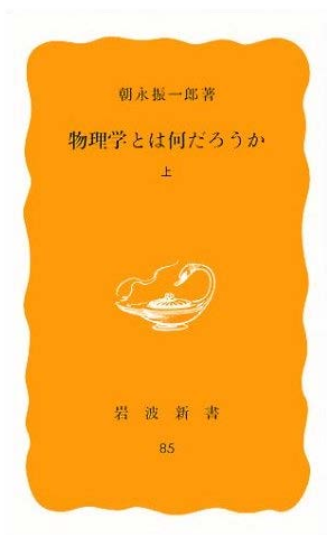


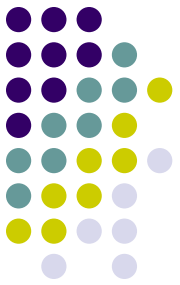
- 観測による対象物の乱れを問題視
- 「テストの結果は受け取るまで決まらない」???

読み物



1. 朝永振一郎「物理学とは何だろうか(上・下)」岩波新書1979年
2. R. P.ファインマン「ご冗談でしょう、ファインマンさん(上・下)」岩波現代文庫2000年(初版1986年)
3. 米沢富美子「人物で語る物理入門(上・下)」岩波新書2005年
4. 伊達宗行「新しい物性物理」講談社ブルーバックス2005年





電気抵抗の測定

オームの法則 $R = \frac{V}{I}$

