

古典物理 1. ニュートン力学⇒プリンキピア

$$F=ma \quad \text{一個の剛体質量}=m \text{ として}$$



力



V:速度 の 変化=微分



位置の移動 =積分

外力が働かない場合は、運動量保存則が働く。

ニュートンの頭の中
一定速度が、普通の状態と？
月の動き、天体の動き、鳥の
飛翔、

万有引力の発想←遠心力
天体遠心力と引力のつりあい
との考え
リンゴは落ちる！

古典物理 2. 弾性体、液体への展開

弾性体: 連続体なので、伸びる(ヤング率)、伸びると 中間が細まる(ポアソン比)などで記述。変形、それらの振動は、ニュートンの法則を物体の形状に合わせたひずみテンソルなどで記載する。

個体の変形に比べて、十分に小さい格子振動に係わる波は、波動方程式にてsine波として記載する。

流体力学: ラグランジュの方法 と オイラーの方法

$$r=r(a,t) \quad v(r,t)=\frac{\partial r(t)}{\partial t} \quad \frac{DF(r,t)}{Dt}=\frac{\partial F(r,t)}{\partial t}+v \nabla F(r,t)$$

deru nabura

その位置での時間変化 と 周りを押す力
この形を用いて運動方程式を作る。

古典物理 3. 電磁気学 Maxwellの方程式 1864年

電場E と 磁場B 共にベクトル の相互作用それらのポテンシャルが、電圧、磁場ポテンシャル。

電場で動く物は、電子。実際は電流。 強磁性棒磁石棒を、コイル中で動かすと、コイルに触って

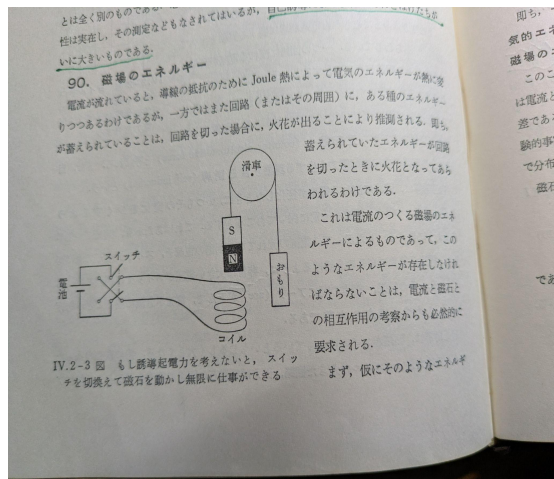
いなくても、コイルに電流が流れる。実際の物質中では、個体物性と呼ばれ、物質毎に 誘電率 (イプシロン)、透磁率 (ミュー)がE や Bに掛ける形。

Maxwell の方程式。 $\frac{dD}{dt} = \text{rot} H - J$ $\frac{dB}{dt} = -\text{rot} E$

$$\text{div} D = \rho \quad \text{div} B = 0$$

$$\text{ここで } D = \epsilon E + P \quad B = \mu H + M$$

ヴォルタ	電池の発明	1799
ガルヴァーニ	動物電気	1780
クーロン	電気力逆2乗法則	1785
ファラデー	電磁誘導	1831
ファラデー	電気分解	1833



古典物理 4. 光学

幾何光学の基本法則 ①均一媒質内で直進する。 また、古典理論は ”波”である。

②光の進路は可逆的 誘電率 ϵ 、透磁率 μ が媒質を特徴づける。

③光は他の光線と相互作用しない。

④光は異なる媒質との境界面で反射、屈折の法則に従う。

ガウス光学:近軸領域では、色収差が現れ、その影響が鮮鋭度や像の位置に現れる。

干渉、回折の導入:上記③の ”相互作用しない” は、相手を消し去ったりしないという意味。干渉・回折による収差も現れ、光学機器設計、検査には基本法則に

含まれない効果も考える必要がある。

古典物理 5. 熱力学

熱力学第1法則: $dU = d'Q + d'W + d'M$ U : 内部エネルギーの変化

$d'Q$: 外部から入る熱的作用量、 $W: d'W$ = 外部から入る機械的作用量、

$d'M$: 質量的作用量

熱力学第2法則 (クラウジウスの原理 1850年): 熱が高温物体から低温の物体へ移動する過程は、それ以外に何の変化も残っていなければ不可逆である。

あるいは、熱が低温物体から高温の物体へ(それ以外に何の変化も残さずに)移ることはあり得ない。エントロピーという変数は、統計物理学でさらに明確に論じられ、一般相対性理論でも論じられている。

熱力学第3法則: ネルンスト・プランクの定理 $\lim_{T \rightarrow 0} S = 0$ 一定値に近づく。

$$T \rightarrow 0$$

熱力学第3法則では、完全結晶の場合はエントロピーはゼロになるとして、エントロピーの絶対値を決めています。第二法則では、あくまで増減のみを論じています。

エントロピーという概念は、統計力学的には ”乱雑さ、ばらばらさ” という意味です。

古典物理 6. 統計力学

熱力学を原子・分子など基本となる所から説明する学問。

なんでこれが必要か？　むしろ、熱力学は歴史が長く、かつ応用範囲が広いため、巨大な学問になっている。それを、近代、現代発達した実験法によって、微視的な実験で得られる結果を用いて、さらに理解を深め、範囲を拡げられる。

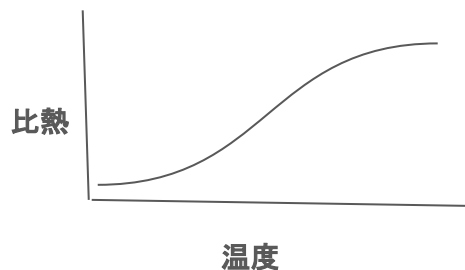
例：水表面重力波　流体ハーモニーの波、地震の波、マックスウェル分布、ボルツマン分布（量子力学で役に立った）、パウリの（スピン）排他原理から、フェルミ・ディラック統計、ボーズ・アインシュタイン統計　を記載出来る。これらの統計は、黒体を作る光子の統計やフォノン、他粒子によって違う。

7. 古典物理学の矛盾発見：黒体輻射 理論と実験の不一致

黒体輻射：真っ黒な個体を真っ黒な壁が囲む場合。

大体予測できること：温度 T_{up} と共に 赤⇒黄⇒白⇒青白

実験結果



個体では、調和振動子の集まりと考えても、それらが数珠状に繋がっていると考えても、 $T \rightarrow 0$ で比熱ゼロにはならない。

Planckは個体内の電気双極子→熱力学手法→ $\Delta = h\nu$ 個体の量子仮説を匂せ、Einsteinは、一気に、上の比熱曲線は、分子運動が $E = nh\nu$ と仮定すれば説明出来るとした。

現代物理 1. 量子力学：さらにわからないこと 不確定性原理

古典物理からも、光は波動性を示した。ところが、同時に光量子理論は光の粒子性を示した。アインシュタインが1905年に理論予測を、実験はミリカンによって振動数があるしきい値以上になれば、電子が個体から飛び出すことを示した(ヘルツ1887年、ハルバックス1888年による別の実験でも電子は飛び出した。)

光電子の粒子性を、ドブライは波束と考えて説明した。また、水素原子の中の電子もこのような量子化がされているのではと考え、飛び飛びの電子軌道を説明した。結局量子力学では、それらの複雑な議論の結果、粒子性、波動性はそれぞれ、確率を持って存在する。それぞれへの確立が保存される演算子 H ハミルトニアンを持って、定式化シュレディンガー方程式として定式化した。相補性は、

ΔE と Δt 、 Δp と Δx で表され、量子力学は既に決定論ではない。

現代物理 2. 特殊相対論 1905年 アインシュタイン 26歳 無名の時。

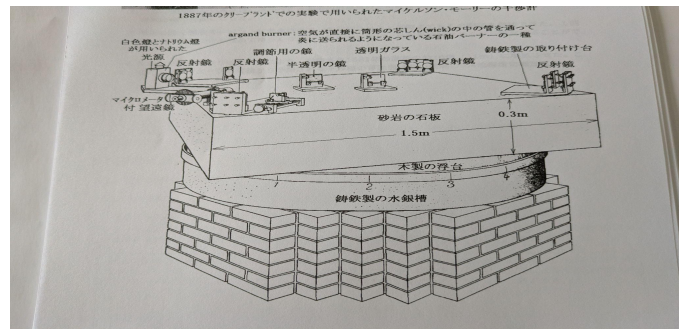
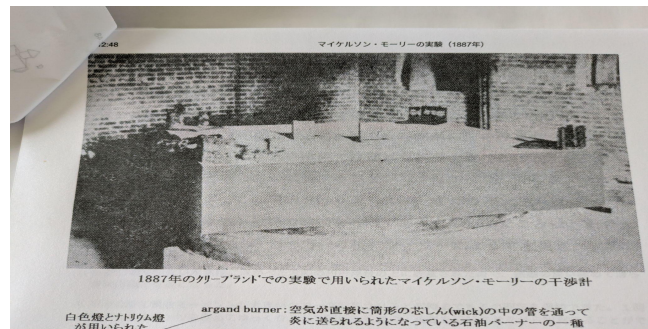
時間は絶対的で、また、長さは絶対的 という仮定を置けば、それぞれの慣性系でも成り立つと考えれば(ガリレイ変換などを使うと)、 x, y, z, t は対等であることがわかる。また、マイケルソン・モーリーの実験 (1887)の実験も継起になっているが、ニュートン力学とは全く違う新しい理論を発見した。光速 c は、普遍定数であり、また、あらゆる速度の最大であるとした。

さらにそれぞれの慣性系でも電磁現象は同じであるはず、との仮定を入れ、

時間の単位を秒と置けば: $E=mc^2$

また、特殊相対論での 運動方程式 や 電磁場エネルギー式、流体力学用(新オイラーの方程式) 方程式を得た。

マイケルソン・モーリーの実験



現代物理 3. 一般相対論

アインシュタイン36歳 1916年

特殊相対論に重力を導入した。

- ①空間が曲がり、平行線も交わる。
- ②重力場が強いと、時間の流れが遅い。
- ③重力は物質とエネルギーの分布が引き起こす。
ニュートンは、空間は曲がったりしない絶対的なものとした。
- ④重力波の預言と、時空のさざなみ。波の出所に？にブラックホール。
重力波の一部は、観測できたが不十分。

もうやめところ。

4. 量子力学x(相対性理論) 難しい現代物理学の応用

対象を絞って議論すると、ちゃんと機能して素晴らしい結果を産む。

1. 個体物性:磁性、超電導、表面物性、量子輸送現象、高温超電導

2. プラズマ、プラズマ化学物理、原子分子衝突、表面との相互作用、

3. 乱れを有効に活かし、調べる物理学。

4. 宇宙、天体物理学

5. 生物物理学

6. 物理過程としてのカオス

7. 原子核物理学 ⇒ 核分裂の発見 ⇒ 人の悪への利用 ラッセル・アインシュタイン宣言

申し上げたいのは、物理学のどの部分も体系化されていること。

現代物理 5. 場の量子論 (例: 物性研究者のための場の量子論 理論を使う)

一般相対性理論と量子論両方を活かせるように考えられた理論。個体内の素励起した粒子の運動などを記述する。

フォノンは音波で、エネルギーが低いので、不要。

光子は光であり、低い振動数から高い振動数まであり、範囲も広い。

マグノン磁性を持ったスピンの素励起で、プラズモン、ポラリトン、ロトン、など。

素粒子と素励起とは違う。

今の大学院での研究は、多くはこれら素励起をテーマにして、研究を進めています。

現代物理 6. 素粒子物理学

素粒子とは、それ以上小さく分けられない粒子のことです。

1. 物質を構成する素粒子——クォーク群、ニュートリノなどレプトン群(電子も含まれる)と
 2. 力を伝える素粒子群——光子、弱い力群(重力も含む)
 3. 反物質を構成する素粒子——反電子、反トップクォーク、陽電子など。
- 一方、重力、弱い力、強い力、電磁気力 と四つに分けて理解する方法もあります。

古典物理の破綻→現代物理学樹立→(サンタフェ研)複雑系の科学

相補性は現代物理学
の時点から存在する。

連続 ⇒ 非連続
機械論 ⇒ 統計論

大きすぎて実験出来ない。 ⇒ CPUでの実験
小さすぎて実験できない。

複雑系の科学 1. ベーコンのアフォリズムは生きている。

原則1.:還元論は無くして、創発を採用する。

原則2.:個の数は多くないといけない。

原則3.:相互作用は、隣など近距離のみありうる。

原則4.:系は収束するものであること。

結果として、新しい秩序を自己組織化(創発)する。注意深く理論を作って行くしかない。

例:①蟻の動きと巣作り。 ③人の社会・経済 ④公共神学は(?)

②人の動物としての存在。 意識(は含まない)