

電気屋から見た宇宙の姿

s h i b u _ t e t s u @ T w i t t e r

2012/Apr./01

1. はじめに

私は産業機械メーカーの電気技術者ですが、高校時代は天文部に所属しており、天文学などの地学系に興味を持ち続けてきました。専門とする電気工学は産業用途に重点が置かれ、もっぱらエネルギー産業や電子機器への利用が研究されてきましたが、他分野への応用はあまり重視されていないように感じます。たとえあっても、それは測定器だったり、人間の負担を軽減するための自動装置であり、応用機器の範囲を出ないものです。ここでは電気工学の基礎理論の視点から宇宙を見ると、どのような姿が浮かび上がるかについて考察したいと思います。

2. 可変コンデンサ

電子回路に欠かせない部品にコンデンサがあります。コンデンサは電気的エネルギーを蓄える性質がありますが、その容量を増減できるものを「可変コンデンサ」と呼びます。

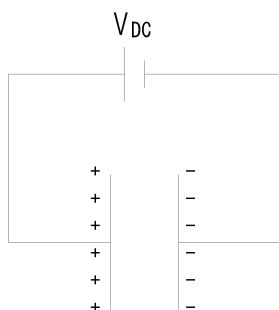


fig.1 並行板コンデンサ

2.1 コンデンサのおさらい

まず fig.1 のような一般的な並行板コンデンサについて説明します。コンデンサに蓄えられる電気的エネルギーは静電エネルギーと呼ばれるベクトル量です。基礎的要素は次のようになります。

$$\text{静電容量} \quad C = \frac{\epsilon S}{d}$$

$$\text{静電エネルギー} \quad U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2}CV^2$$

ϵ : 絶縁体の誘電率 , S : 電極の面積 ,

d : 電極の距離

Q : 電極の片側に現れる電荷, V : 電圧

可変コンデンサは S または d を増減させて静電容量を調節します。

2.2 真空コンデンサの存在

絶縁体に真空を利用した「真空コンデンサ」が商品化されています。何も無い空間に静電エネルギーが存在することは、電気工学では当たり前のこととして扱われています。つまり電界(電位差)のある空間に静電エネルギーは存在します。

なお真空の誘電率 ϵ_0 は光速と表裏一体の関係にある重要な定数ですが、真空が誘電率を持つことこそが、真空に静電エネルギーが存在する何よりの証拠です。

以後のモデルでは、コンデンサの絶縁体は真空として扱います。

2.3 静電エネルギーの消失

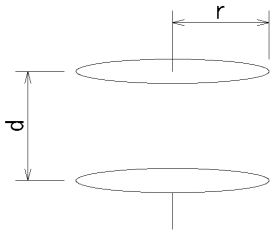


fig.2 円形電極可変コンデンサ

つぎに fig.2 のような円形電極をもつ可変コンデンサをモデルに考えてみます。

ここでは円の半径 r と電極の距離 d の関係を次のように定めます。

$$d = \frac{2r}{p} \quad \left(\Leftrightarrow r = \frac{d}{2} \cdot p \right) \quad \dots (1)$$

つまり、カッコ内のように半径 r は電極の距離 d の半分の長さの p 倍とします。

すると静電容量は

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d} = \epsilon_0 \cdot \pi r^2 \cdot \frac{p}{2r} = \frac{1}{2} \pi \epsilon_0 p r$$

また静電エネルギー U は

$$U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{Q^2}{2} \cdot \frac{2}{\pi \epsilon_0 p r} = \frac{Q^2}{\pi \epsilon_0 p r} \quad \dots (2)$$

となります。

ここで電荷 Q はそのままに、可変コンデンサが

全方向に膨張するとしましょう。前後の r を r_1, r_2

とし、

$$r_2 = (1+q)r_1 \quad (q > 0)$$

と定めると、前後の静電エネルギー U_1, U_2 は

$$U_1 = \frac{Q^2}{\pi \epsilon_0 p r_1}$$

$$U_2 = \frac{Q^2}{\pi \epsilon_0 p r_2} = \frac{Q^2}{\pi \epsilon_0 p (1+q)r_1}$$

となり、前後を比べると

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{1+q} < 1$$

であることが分かります。つまり、このモデルの可変コンデンサは、膨張すると静電エネルギーが減少することを意味しています。

もしこの可変コンデンサが電気回路に接続されていたら、電荷の移動が発生するので電流として観察できるでしょう。回路から切り離されていたら、何らかの放電が起きるかもしれません。

2.4 閉じた系のエネルギー保存

可変コンデンサを膨張させる場合、電極間のクーロン力に逆らう仕事が必要です。

仕事を W 、クーロン力を F とすると

W は $F \cdot d$ の定積分で求められます。

クーロンの法則から

$$F = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \cdot \frac{Q^2}{d^2}$$

また(1)より

$$\begin{aligned} W &= \sum F \cdot d = \int \frac{Q^2}{4\pi \epsilon_0} \cdot \left(\frac{p}{2r} \right)^2 \cdot \frac{2r}{p} \cdot dr \\ &= \frac{Q^2 p}{8\pi \epsilon_0} \int \frac{1}{r} \cdot dr \end{aligned}$$

と求められます。

また減少する静電エネルギーを U_d とすると(2)式

の定積分なので

$$U_d = \int \frac{Q^2}{\pi \epsilon_0 p r} = \frac{Q^2}{\pi \epsilon_0 p} \int \frac{1}{r} \cdot dr$$

と求められます。

閉じた系の場合 $W = U_d$ でなければエネルギー保存則を満たしません。つまり

$$\frac{W}{U_d} = \frac{p^2}{8} = n \quad \dots (3)$$

とすると $n = 1$ のとき、つまり

$p = \sqrt{8} \doteq 2.828$ であれば、仕事と静電エネルギーの減少が釣り合います。

2.5 エネルギーバランスの詳細

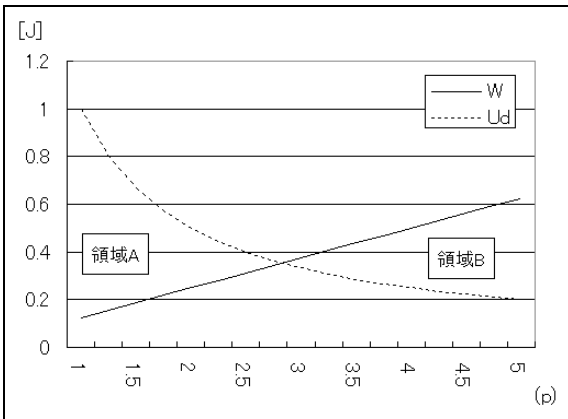


fig. 3 仕事と減少する静電エネルギーの関係

(3)式で、初期条件として $p = 1$ のとき $U_d = 1$ [J]

とした場合、仕事 W と静電エネルギーの減少 U_d の関係は fig. 3 のグラフのようになります。

領域Bでは $U_d < W$ なので、系の中に他のエネルギー源がないとコンデンサは膨張できません。領域Aでは逆に減少した静電エネルギーを系

の中で消費する必要があります。なお本当の「真空」では放電が起きないので、既知の現象で静電エネルギーが消費されるメカニズムを説明することは出来ません。

3. 宇宙モデル

もうお気付きかと思いますが、私は宇宙をコンデンサに置き換えようと試みています。宇宙の形について定まったモデルは無いようですので、自由に空想して三次元体の「楕円体型」とします。

3.1 楕円体型宇宙モデル

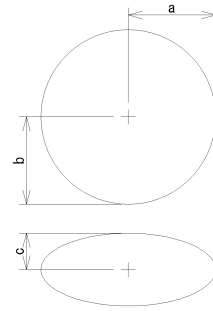


fig. 4 楕円体型宇宙のモデル

fig. 4 のような上下に潰れた楕円体型宇宙を想定し、相似形のコンデンサに置き換えてみます。

前記 fig. 2 の円形電極可変コンデンサと相似な楕円体の成分は、短半径 $c = R$ とすると

$$[a, b, c] = [pR, pR, R]$$

となり、体積 Ve は

$$Ve = \frac{4}{3} \pi abc = \frac{4}{3} \pi p^2 R^3$$

となります。

一方、円形電極をもつコンデンサの体積を Vp とすると(1)より

$$Vp = \pi r^2 \cdot d = \pi r^2 \cdot \frac{2r}{p} = \frac{2}{p} \pi r^3$$

です。

さらに $Ve = Vp$ なので

$$\frac{4}{3} \pi p^2 R^3 = \frac{2}{p} \pi r^3 \Leftrightarrow$$

$$r = \left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{1}{3}} pR$$

となります。 p が一定のとき、 r と R 比例関係に

あることが確認できました。これにより fig.3 のグラフは楕円体型宇宙モデルにも適用できます。

3.2 宇宙の電荷分布

2.2 節で電界があれば静電エネルギーが存在すると述べました。身の回りには様々な帯電体があります。プラスチック製品やコピー用紙、さらに岩石など、絶縁体の多くは帯電して電界を作ります。では宇宙に電界はあるのでしょうか。

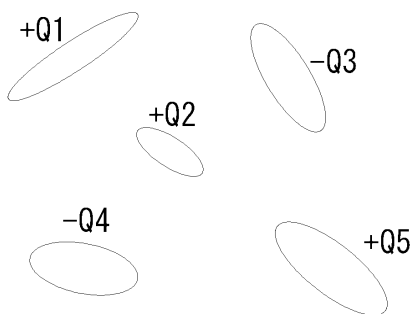


Fig. 5 宇宙の電荷分布

それぞれの銀河は、たとえわずかであれ巨視的には電荷とそれに伴う電位を持ち、fig.5 のように宇宙には正負の電荷が散らばっていると考えら

れます。

電荷同士は相互に電界を作ります。電界は重力に似ていますが、電界には向きがあり、正の電荷は外向きの電界を、負の電荷は内向きの電界を作り、それぞれは電気力線で結ばれます。そして電気力線のベクトルの和が巨視的な電界を表します。ところで銀河の分布は泡構造であることが知られており、物質の分布は不均一です。このことから、宇宙には物質的な偏りがあるために、電荷の分布にも偏りが生じ、平均的な電界が存在する可能性があると考えられます。

3.3 ダークエネルギーの考察

宇宙の膨張は加速していることが知られており、その加速の原因はダークエネルギーとされています。空にボールを投げると必ず落ちてくるように、物質は宇宙の重心に引き付けられる重力を受けており、それ以上の力が働かないと、宇宙は膨張できません。ここでは、ダークエネルギーの正体は静電エネルギーの消滅分であると考察します。静電エネルギーの消滅分と重力エネルギーのバランス、そして過去の宇宙膨張速度の変化から、宇宙の形や平均的な電界の強さが導かれるでしょう。

4. まとめ

コンデンサの理論から宇宙の形を考えてみました。宇宙が球に近いほど、膨張に伴う静電エネルギーの消滅が増大し、これが物質に及ぶ重力エネルギーを上回った時に宇宙の膨張が加速すると考えられます。このように、電気工学の視点から、ダークエネルギーの正体を説明することが出来ました。

参考文献

省略

(Wikipedia に感謝)