estratto da : **L'EQUILIBRIO UNIVERSALE**
dalla meccanica celeste alla fisica nucleare

– Calcolo teorico del campo magnetico terrestre, solare e nucleare con le equazioni di Maxwell generalizzate

Prima di passare allo studio degli argomenti proposti, vogliamo ribadire che non faremo distinzione fra onde elettromagnetiche e gravitazionali, essendo esse della stessa natura.

Ricordiamo infatti che il generatore è lo stesso : una pompa di elettroni.
L'unica differenza si ha nella impostazione dello studio.
Come generatore elettrico il lavoro compiuto per separare un elettrone viene riferito alla sua carica, mentre come generatore di campo gravitazionale ci si riferisce alla massa.

Naturalmente, questa diversa scelta comporta una differente formulazione del problema, ma il sistema allo studio è sempre lo stesso e dunque sarà anche unico il comportamento da analizzare.
Questo vuol dire che viene conservata la validità di tutta l'analisi matematica e dei teoremi utilizzati, anche se applicati a grandezze diverse.

Ricordiamo infatti che "**la separazione di un elettrone dall'atomo**" genera una carica elettrica q_s, che a sua volta dà origine nello spazio circostante ad un campo elettrico $\overrightarrow{K_e}$ espresso dalla relazione che abbiamo indicato.

La stessa separazione genera uno spazio rotante K_s^2 **nello stesso punto**, il quale dà origine nello spazio circostante a un **campo gravitazionale** $\overrightarrow{K_m}$, che viene espresso da una relazione analoga a quella che descrive $\overrightarrow{K_e}$.
Si ha quindi la corrispondenza :

$$q_s \rightarrow K_s^2$$
$$\overrightarrow{K_e} \rightarrow \overrightarrow{K_m}$$

Alle due grandezze corrispondenti si applicano le equazioni di Maxwell senza alcuna differenza.

2166

Se il generatore di tensione ha un’azione **variabile nel tempo**, per esempio, con legge sinusoidale, **con la stessa legge** varieranno le quattro grandezze che sono state indicate.

La perturbazione dello spazio, generata dalla sfera collegata al generatore di tensione, **indipendentemente** dal metodo utilizzato per l’analisi del sistema, si propagherà nello spazio con la velocità della luce, che è **una caratteristica propria dello spazio** (e non della luce).

Applicando l’equazione di continuità, analogamente a quanto è stato fatto per il campo elettrico variabile, " **si potrà definire per il campo gravitazionale una densità di corrente di spostamento** $\overrightarrow{J_{ms}}$:

$$\overrightarrow{J_{ms}} = \frac{d\overrightarrow{D_m}}{dt} \quad \text{con} \quad \overrightarrow{D_m} = \alpha \cdot \overrightarrow{K_m} = \frac{1}{4 \cdot \pi} \cdot \overrightarrow{K_m}$$

e dunque **un vettore** $\overrightarrow{H_m}$ tale che la sua circuitazione sia uguale a $\overrightarrow{J_{ms}}$:

$$\int_l \overrightarrow{H_m} \times \overrightarrow{dl} = \int_S \overrightarrow{J_{ms}} \times \overrightarrow{dS}$$

per tener conto delle caratteristiche del mezzo si definisce dunque il **vettore induzione** : $\overrightarrow{B_m} = \gamma \cdot \overrightarrow{H_m}$

con la costante γ da determinare.

Applicando il teorema del rotore, si ottiene :

$$\left(\mathrm{rot}\,\overrightarrow{H_m}\right) = \overrightarrow{J_{ms}} = \frac{d\overrightarrow{D_m}}{dt} = \frac{1}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{d\overrightarrow{K_m}}{dt}$$

e quindi : $$\left(\mathrm{rot}\,\overrightarrow{B_m}\right) = \overrightarrow{J_{ms}} = \frac{1}{\gamma \cdot 4 \cdot \pi} \cdot \frac{d\overrightarrow{K_m}}{dt}$$

dovendo essere : $$\frac{1}{\gamma \cdot 4 \cdot \pi} = \frac{1}{C_l^2} = \varepsilon_0 \cdot \mu_0$$

2167

si ricava : $$\gamma = \frac{C_l^2}{4 \cdot \pi} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \mu_0} = \frac{C_l^2 \cdot 10^{-7}}{\mu_0}$$

Analogamente si ricava : $$\left(\mathrm{rot}\,\overrightarrow{K_m}\right) = -\frac{d\overrightarrow{B_m}}{dt}$$

In definitiva, possiamo affermare :

Onde elettromagnetiche e gravitazionali vengono prodotte entrambe con una "pompa di elettroni", con azione alternata, che li separa dagli atomi inizialmente in equilibrio.

La perturbazione dell'equilibrio che si produce può essere descritta, con differenze solo formali, **utilizzando la carica elettrica variabile** $q_s(t)$, **che si separa sul polo del generatore, oppure lo spazio rotante** $K_s^2(t)$, **generato dai protoni non più schermati dagli elettroni periferici.**

In entrambi i casi, "la perturbazione" generata si propaga nello spazio per onde, con la velocità della luce, in direzione radiale, generando un campo vettoriale formato da due vettori $\overrightarrow{K}(t)$ **e** $\overrightarrow{B}(t)$ **sfasati fra loro di** $\frac{\pi}{2}$ **nello spazio, che si propagano nella direzione perpendicolare al piano da essi individuato e soddisfano le leggi di Maxwell** :

$$\left(\mathrm{rot}\,\overrightarrow{B(t)}\right) = \frac{1}{C_l^2} \cdot \frac{d\overrightarrow{K(t)}}{dt} \quad ; \quad -\frac{d\overrightarrow{B(t)}}{dr} = \frac{1}{C_l^2} \cdot \frac{d\overrightarrow{K(t)}}{dt}$$

$$\left(\mathrm{rot}\,\overrightarrow{K(t)}\right) = -\frac{d\overrightarrow{B(t)}}{dt} \quad ; \quad \frac{d\overrightarrow{K(t)}}{dr} = -\frac{d\overrightarrow{B(t)}}{dt}$$

Notiamo che, quando si separa un elettrone, lo spazio rotante generato è K_p^2

2168

e quindi, con le due impostazioni, si ricavano i rapporti :

$$\frac{K_e}{K_m} = \frac{B_e}{B_m} = \frac{q_e}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot K_p^2} = \frac{m_e}{q_e} = 5.685631378 \cdot 10^{-12} \left(\frac{K_g}{m} \right)$$

Le equazioni di Maxwell possono essere scritte in una forma di più semplice interpretazione. Precisamente :

$$-\frac{d\overrightarrow{B(t)}}{dr} = \frac{1}{C_l^2} \cdot \frac{d\overrightarrow{K(t)}}{dt}$$

moltiplicando entrambi i membri per dr , al primo membro si ottiene il valore dell'incremento corrispondente del vettore $\overrightarrow{B(t)}$ in funzione dell'incremento di $\overrightarrow{K(t)}$ associato a dr , ossia :

$$d\overrightarrow{B(t)} = -\frac{1}{C_l^2} \cdot \frac{dr}{dt} \cdot d\overrightarrow{K(t)}$$

Considerando che il rapporto $\frac{dr}{dt}$ rappresenta la velocità con la quale si verifica lo spostamento in direzione radiale, si può sostituire : $\frac{dr}{dt} = \vec{v}$

Tenendo conto che $\overrightarrow{B(t)}$ è ortogonale al piano individuato da $\overrightarrow{K(t)}$ e $\vec{v}$, si può scrivere :

$$d\overrightarrow{B(t)} = -\frac{1}{C_l^2} \cdot \vec{v} \Lambda d\overrightarrow{K(t)}$$

Integrando tra ∞ ed r , e tenendo conto che $\overrightarrow{B(\infty)} = \overrightarrow{K(\infty)} = 0$, si ottiene :

$$\overrightarrow{B(t\,;r)} = -\frac{1}{C_l^2} \cdot \vec{v} \Lambda \overrightarrow{K(t\,;r)}$$

Dalla seconda relazione : $$\frac{d\overrightarrow{K(t)}}{dr} = - \frac{d\overrightarrow{B(t)}}{dt}$$

si ha : $$d\overrightarrow{K(t)} = - \frac{dr}{dt} \cdot d\overrightarrow{B(t)}$$

e quindi : $$\overrightarrow{K\left(t\,;r\right)} = - \vec{v}\,\Lambda\,\overrightarrow{B\left(t\,;r\right)}$$

In definitiva, **in qualsiasi punto** P **dello spazio fisico**, **in qualsiasi istante si verificano le relazioni** :

$$\overrightarrow{K(t\,;P)} = - \overrightarrow{v_B}\,\Lambda\,\overrightarrow{B(t\,;P)}$$

$$\overrightarrow{B(t\,;P)} = - \frac{1}{C_l^2} \cdot \overrightarrow{v_K}\,\Lambda\,\overrightarrow{K(t\,;P)}$$

La prima relazione ci dice che, se nel punto P dello spazio abbiamo il campo magnetico $\overrightarrow{B(t\,;P)}$ in moto con una velocità $\overrightarrow{v_B}$, in direzione perpendicolare al piano $\overrightarrow{B(t\,;P)} - \overrightarrow{v_B}$, nasce un campo elettrico $\overrightarrow{K(t\,;P)}$ **.**

La seconda ci dice che anche un campo elettrico $\overrightarrow{K(t\,;P)}$, in moto con una velocità $\overrightarrow{v_K}$, genera nella direzione ortogonale al piano $\overrightarrow{K(t\,;P)} - \overrightarrow{v_K}$, un campo magnetico $\overrightarrow{B(t\,;P)}$.

Si noti che i due processi si verificano **indipendentemente** dalla presenza o meno di masse o cariche elettriche.
Si tratta dunque di caratteristiche comportamentali anche dello spazio vuoto.

Se nel punto in cui abbiamo il campo magnetico in movimento (per esempio una calamita mobile), poniamo una carica elettrica q **,** su di essa agisce una forza, indicata come **forza di Lorentz**, data da :

$$\vec{F} = \overrightarrow{K(t\,;P)} \cdot q = -\overrightarrow{v_B} \Lambda \overrightarrow{B(t\,;P)} \cdot q$$

Se abbiamo invece un campo elettrico in moto, generato per esempio da una **carica elettrica** q, **associata alla massa** m_q in moto, la seconda relazione ci dice che nella direzione perpendicolare al piano $\overrightarrow{K(t\,;P)} - \overrightarrow{v_K}$ nasce un campo magnetico.

In questo caso avremo $\overrightarrow{v_K} = \overrightarrow{v_q}$ e la quantità di moto associata alla carica elettrica sarà :

$$\overrightarrow{Q_q} = m_q \cdot \overrightarrow{v_q}$$

Assunto un sistema di riferimento con origine in un punto O alla distanza $\vec{r}$, il momento angolare della carica in moto risulta :

$$\overrightarrow{L_q} = \vec{r} \Lambda \overrightarrow{Q_q} = \vec{r} \Lambda \overrightarrow{v_q} \cdot m_q$$

Il campo elettrico generato dalla carica q alla distanza $\vec{r}$ vale :

$$\overrightarrow{K(t\,;r)} = \frac{q}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r^3} \cdot \vec{r}$$

sostituendo, abbiamo il campo magnetico :

$$\overrightarrow{B(t\,;r)} = -\frac{1}{C_l^2} \cdot \overrightarrow{v_q} \Lambda \left(\frac{q}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r^3} \cdot \vec{r} \right) =$$

$$= -\frac{1}{C_l^2} \cdot \frac{q}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r^3} \cdot \overrightarrow{v_q} \Lambda \vec{r}$$

sostituendo ancora la relazione : $\vec{r} \Lambda \overrightarrow{v_q} = \dfrac{\overrightarrow{L_q}}{m_q}$

si ottiene l’espressione che lega **il campo magnetico** $\overrightarrow{B(t\,;\,r)}$ **generato al momento angolare** $\overrightarrow{L_q}$ della massa in movimento :

$$\overrightarrow{B(t\,;\,r)} = \frac{1}{C_l^2 \cdot 4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r^3} \cdot \frac{q}{m_q} \cdot \overrightarrow{L_q}$$

Questa relazione è molto importante in quanto consente di calcolare teoricamente il campo magnetico generato da una qualsiasi massa in movimento.

Per un’applicazione generale di questa espressione, ricordiamo che la carica elettrica è definita attraverso la forza d’interazione tra due masse in equilibrio secondo la relarione :

$$F_{S1} = 10^{-7} \cdot C_l^2 \cdot \frac{q_s \cdot q_1}{R^2}$$

Assumendo **arbitrariamente** $q_s = q_1 = q$

si definisce la carica elettrica della coppia di masse interagenti :

$$q = \left(\frac{F_{S1} \cdot R^2}{10^{-7} \cdot C_l^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Ricordando ora che la forza unificata è data da : $F_{S1} = \dfrac{K_s^2 \cdot m_1}{R^2}$

sostituendo, si ha l’espressione della **carica elettrica associabile qualsiasi coppia di masse interagenti in equilibrio** :

$$q = \left(\frac{K_s^2 \cdot m_1}{10^{-7} \cdot C_l^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Eliminando l’indice **1** ormai inutile e sostituendo nell’espressione del campo magnetico, si ottiene :

2172

$$\overrightarrow{B(t\,;r)} = \frac{1}{10^{-\frac{7}{2}} \cdot 4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot C_l^3 \cdot r^3} \cdot \left(\frac{K_s^2}{m} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \overrightarrow{L_q}$$

Questa relazione, ricavata senza alcuna ipotesi restrittiva, conferma l'origine del campo magnetico, che avevamo già ottenuto per altra via, e può essere applicata al nucleo atomico come agli ammassi galattici.
Come esempi esplicativi calcoliamo il campo magnetico nei casi seguenti:

– **campo magnetico generato al centro dell'orbita dall'elettrone in moto sull'orbita fondamentale** :

In questo caso abbiamo : $K_s^2 = K_p^2 = 253.2638995 \frac{m^3}{sec^2}$

$$m = m_e = 9.1093897 \cdot 10^{-31} K_g$$

$$r = R_{11e} = 5.29177249 \cdot 10^{-11} m$$

$$L_q = \frac{h}{2 \cdot \pi} = 1.054572669 \cdot 10^{-34}\ J \cdot sec$$

sostituendo, si ottiene :

$$\overrightarrow{B(t\,;r)} = \frac{1}{10^{-\frac{7}{2}} \cdot 4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot C_l^3 \cdot R_{11e}^3} \cdot \left(\frac{K_p^2}{m_e} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \overrightarrow{L_q} =$$

$$= 12.51682902\,T$$

coincidente con il risultato noto per altra via.
Sommando i contributi, così calcolati, di tutte le particelle in orbita è possibile calcolare il campo magnetico associato a qualsiasi nucleo.

– **campo magnetico generato sulla Terra dal momento angolare della Luna in equilibrio sull'orbita**.
In questo caso **l'orbita della Luna risulta meno stabile** di quella elettronica e **quindi il valore del momento angolare L_L risulta variabile nel tempo come il valore del campo magnetico generato**.

2173

Per il calcolo dovremo dunque assumere i velori medi annuali :

$$R_L = 383233\,K_m$$
$$T_L = 27.321661\,g$$
$$V_L = 1.020049\,\frac{K_m}{sec}$$
$$K_s^2 = K_T^2 = V_L^2 \cdot R_L = 398754\,\frac{K_m^3}{sec^2}$$
$$m_L = 0.0123 \cdot m_T = 7.35048 \cdot 10^{22}\,K_g$$
$$L_L = m_L \cdot V_L \cdot R_L = 2.87342346 \cdot 10^{34}\,J \cdot sec$$

sostituendo, si ricava quindi :

$$\overrightarrow{B(t\,;r)} = \frac{1}{10^{-\frac{7}{2}} \cdot 4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot C_l^3 \cdot R_L^3} \cdot \left(\frac{K_T^2}{m_L}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \overrightarrow{L_L} =$$

$$= 39.663 \cdot 10^{-9}\,T$$

In ottimo accordo con il valore sperimentale variabile, dai poli all'equatore, da $70 \cdot 10^{-6}$ T a $20 \cdot 10^{-6}$ T, se si assume per il nucleo terrestre un valore della permeabilità relativa $\mu_r \simeq 1000$.
Anche in questo caso, sommando il contributo di ciascun satellite, si calcola il campo magnetico di tutti i pianeti e quindi il contributo di tutti i pianeti alla formazione del campo magnetico solare.

La relazione che esprime il campo magnetico può essere scritta in una forma più semplice con le seguenti sostituzioni :

$$\frac{\vec{L}}{r^3} = \frac{m}{r} \cdot \overrightarrow{\omega}$$

$$\left(\frac{K_T^2}{m_L}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{m}{r} \cdot \overrightarrow{\omega} = \left(\frac{K_T^2 \cdot m}{r^2}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \overrightarrow{\omega}$$

l'espressione in parentesi coincide con la forza d'interazione F , che si potrà

calcolare con qualsiasi metodo.
Dato che normalmente è noto il periodo di rivoluzione, sostituiamo ancora la velocità angolare : $\omega = \dfrac{2 \cdot \pi}{T}$

L'interazione magnetica è quindi data da un'induzione magnetica avente una direzione perpendicolare al piano orbitale e valore :

$$B(t) = \frac{10^{\frac{7}{2}}}{2 \cdot \varepsilon_0 \cdot C_l^3} \cdot \frac{\sqrt{F(t)}}{T}$$

Nell'espressione abbiamo indicato la **forza d'interazione** $F(t)$ dipendente dal tempo, in quanto nei calcoli abbiamo finora ritenuto le orbite circolari, in realtà quasi sempre esse sono ellittiche e quindi il raggio dell'orbita varia con legge sinusoidale attorno a un valore medio (che, come abbiamo visto, non coincide con quello di equilibrio stabile).

La variazione del raggio porta a una variazione della forza con una frequenza doppia. Essa compare però nella relazione sotto radice quadrata e quindi la variazione dell'induzione magnetica $B(t)$ risulta con una frequenza uguale a quella orbitale.

Come abbiamo visto, con le equazioni di Maxwell, il campo magnetico $B(t)$ variabile genera un campo elettrico variabile sfasato di un angolo pari a $\dfrac{\pi}{2}$

e modulo : $$K(t) = B(t) \cdot C_l = \frac{10^{\frac{7}{2}}}{2 \cdot \varepsilon_0 \cdot C_l^2} \cdot \frac{\sqrt{F(t)}}{T}$$

e i due campi, insieme, " **creano una perturbazione nell'equilibrio dello spazio fisico, che abbiamo indicato come campo elettromagnetico** ", il quale si propaga per onde, in tutto lo spazio, nella direzione radiale.
Per evitare errate interpretazioni delle relazioni, ricordiamo che, se la forza F è costante risulta B costante e nessun campo elettrico viene creato.

2175