
GENERATORE DI ENERGIA
A TRASPORTO POSITRONICO

MILANO, Giugno 2009

INDICE

1. Caratteristiche dei generatori di energia attuali.	3
2. Caratteristiche del nuovo generatore.....	4
3. Principi di base.....	5
4. Fondamenti teorici.....	9
5. Problemi da risolvere.	11
6. Soluzione dei problemi e conseguente struttura della macchina.....	12
<i>Problema n. 1.</i>	12
<i>Problema n. 2.</i>	17
<i>Problema n. 3.</i>	22

1. Caratteristiche dei generatori di energia attuali.

Molti dei generatori attuali di energia sono caratterizzati da numerosi inconvenienti, anche gravi.

Si considerino, ad esempio, i sistemi di generazione termoelettrica. Il principio di base è di portare dell'acqua a vapore in pressione e poi far espandere il vapore in un turbo-alternatore. La trasformazione di fase viene eseguita con processi di combustione, nei quali si impiegano combustibili fossili, metano o carbone. Questi combustibili vengono in genere importati da paesi produttori, nei quali sono localizzate riserve finite, destinate ad esaurirsi in tempi più o meno lunghi. Inoltre, il loro costo per i paesi acquirenti è notevole, con ripercussioni negative sulle bilance dei pagamenti. Si aggiunga anche che i processi di combustione immettono in atmosfera quantità di anidride carbonica giudicate nocive all'ambiente, almeno a medio-lungo termine.

Meno critica è la generazione di energia per mezzo della fissione nucleare. Tuttavia anch'essa è limitata dalla disponibilità di elementi fissili. Si noti poi che il processo produce isotopi attivi ad emivita lunga (scorie radioattive), che devono essere immagazzinati in sicurezza per tempi anche molto lunghi, prima di perdere la loro nocività.

La generazione idroelettrica è limitata dalla disponibilità di salti d'acqua. Inoltre è possibile che provochi cambiamenti ambientali rilevanti (come si dice sia avvenuto per la diga di Assuan e gli impianti di Iguazu, e si teme avvenga per i nuovi impianti cinesi).

La generazione per conversione dell'energia solare in elettricità richiede ampi spazi ed ancora risente di notevoli difficoltà connesse con il rendimento non ottimale di conversione delle celle solari.

La generazione per fusione controllata è in uno stadio tuttora non industrialmente operativo ed è comunque molto costosa. Con le macchine a plasma caldo si è ancora lontani dal raggiungimento di parametri operativi che assicurino che l'energia prodotta sia maggiore di quella consumata. Mentre le macchine a fusione inerziale sono state e saranno molto costose ed anche per esse l'operatività industriale non si preannuncia prossima.

2. Caratteristiche del nuovo generatore

Il nuovo generatore di energia che qui si presenta non ha nessuno degli svantaggi sopra elencati.

Esso infatti utilizza una fonte di energia praticamente illimitata e cioè il *vuoto quantistico*.

Inoltre la macchina impiega per funzionare una quantità di energia trascurabile rispetto a quella prodotta, mentre può mettere a disposizione potenze dell'ordine del gigawatt, o più.

Il costo del generatore in sé è insignificante, rispetto a quelli sopra esaminati.

L'energia fornita è termica e completamente priva di radioattività. Teoricamente, è possibile raggiungere temperature pari a 530 volte quella che si stima esista all'interno del Sole e cioè 8 miliardi di gradi.

3. Principi di base.

Com'è noto, la Meccanica Quantistica è quella parte della fisica che descrive il comportamento di oggetti molto piccoli. Con questa espressione si intendono oggetti le cui dimensioni siano dell'ordine del centomillesimo (10^{-8}) di centimetro.

Le leggi che si applicano in tale dominio dimensionale sono in generale diverse (a volte totalmente diverse) da quelle che regolano il mondo macroscopico dell'esperienza quotidiana (descritte dalla Fisica Classica). Per fare un semplice esempio, si consideri una tavola circolare che possa ruotare attorno ad un centro O (Fig. 1-1) e si supponga di fissare tre palline da biliardo a 120° l'una dall'altra ed alla stessa distanza dal centro, una rossa, una verde e una blu:

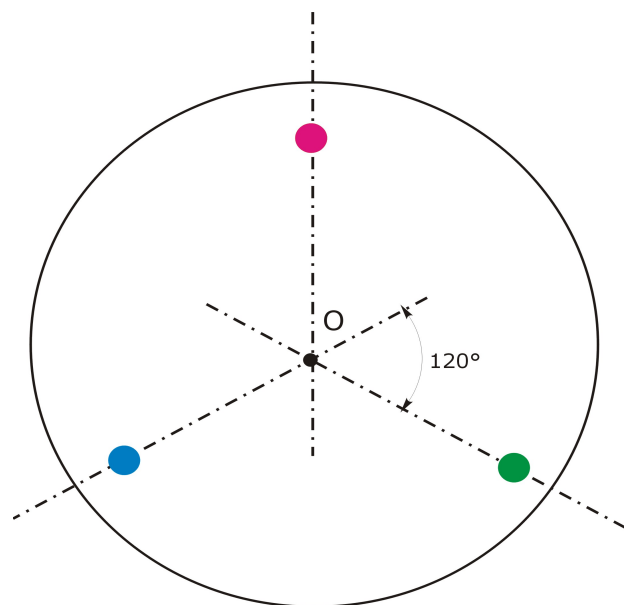


Fig. 1-1

Ci si chiede di quale angolo occorre far ruotare la tavola affinché, partendo dalla situazione in figura, venga ripristinata la medesima situazione; si vede facilmente che è necessario far ruotare la tavola di 360° .

Si immagini ora la medesima tavola, ma con tre elettroni al posto delle tre palline colorate del biliardo. Ora i tre elettroni godono della proprietà di essere indistinguibili l'uno dall'altro perché è impossibile, ad esempio, incollarvi sopra delle etichette oppure colorarli o contrassegnarli in qualunque altro modo.

Poiché quindi un elettrone è assolutamente identico agli altri due, questa volta la situazione iniziale viene ripristinata facendo ruotare la tavola non più di 360° , bensì soltanto di 120° .

Questo esempio dimostra che una stessa domanda ottiene risposte completamente diverse, quando si passa da oggetti macroscopici distinguibili ad oggetti microscopici sicuramente indistinguibili, cioè dal dominio della Fisica Classica a quello della Meccanica Quantistica. Ciò evidentemente dipende dal fatto che sono diverse le leggi che regolano i due domini.

Una delle caratteristiche più strane delle particelle elementari è stata scoperta da Dirac e consiste nel fatto che ad ogni particella costituente la materia ordinaria ne corrisponde un'altra identica, ma in certo modo speculare, detta antiparticella. Per esempio, l'elettrone ha una sua antiparticella, chiamata positrone. Il positrone ha la stessa carica elettrica dell'elettrone ma, invece che essere negativa come quella dell'elettrone, è positiva. Le antiparticelle hanno la medesima massa delle particelle corrispondenti. Tra l'altro, nessuno ancora conosce esattamente la ragione intima per cui l'universo in cui viviamo sia fatto solo di uno dei due tipi di materia, invece che dell'altro. Per certo, noi assumiamo ed abbiamo definito che l'Universo sia dominato dalla materia ma si potrebbe assumere l'opposto e dire che l'Universo è fatto di antimateria in modo del tutto simmetrico.

Si constata che quando una particella incontra la sua antiparticella, le due masse scompaiono e viene emessa energia secondo l'equazione:

$$(3-1) \quad E = m \cdot c^2$$

dove m è la somma delle masse della particella e dell'antiparticella e c è la velocità della luce (3×10^{10} cm/sec)

La differenza tra Fisica Classica e Meccanica Quantistica appare ancora più evidente quando si pensa a che cosa sia veramente il vuoto. Nella vita di tutti i giorni, noi pensiamo che il vuoto sia tutto ciò che rimane dopo aver eliminato ogni traccia di "materia". Ma questo lascia intatte, ad esempio, le particelle di luce, o fotoni. Eliminiamo dunque i fotoni e avvicinandoci il più possibile allo zero assoluto, si può pensare che in tal modo si sia raggiunto il vero vuoto, che, per definizione, non dovrebbe contenere proprio niente.

Ma non è così. Il principio di indeterminazione della Meccanica Quantistica, afferma che è impossibile misurare contemporaneamente, con precisioni arbitrarie, l'energia di un sistema e l'istante in cui esso la possiede. In altre parole, il prodotto delle due precisioni non può mai essere inferiore ad una certa quantità finita.

Ne scende che l'energia di un sistema vuoto può fluttuare al disopra dello zero senza che tale fluttuazione sia osservabile, purché duri per un certo intervallo di tempo, ma non più a lungo.

Il vuoto quindi può mettere a disposizione dell'energia e si comporta, nei riguardi di questa, come una banca che presta del denaro sotto la condizione di riaverlo indietro dopo un tempo tanto minore, quanto più grande è la somma prestata.

Se la fluttuazione dell'energia di cui si sta parlando è quella necessaria per creare, ad esempio, una coppia elettrone-positrone, allora il principio stabilisce qual è l'intervallo di tempo durante il quale la "coppia" virtuale può esistere. Questo intervallo risulta brevissimo, dell'ordine di qualche decimillesimo di miliardesimo di nanosecondo (10^{-22} secondi). Terminato questo intervallo, le due particelle virtuali si ricombinano nuovamente e restituiscono al vuoto l'energia di massa che le aveva create.

A questo punto, sorge l'idea seguente. Se in qualche modo, una volta che le due particelle sono apparse, si riuscisse ad impedire la loro ricombinazione, allora si potrebbero scartare gli elettroni (che non servono perché sono elettricamente negativi ed abbondanti) e invece si potrebbero raccogliere i positroni, per esempio in un fascio. Inviando questo fascio contro un bersaglio costituito da materia ordinaria, i positroni potrebbero urtare gli elettroni del bersaglio e annichilire con essi, liberando l'energia di massa posseduta dalla coppia secondo la (3-1). In tal modo l'energia della coppia risulta trasferita dalla sorgente al bersaglio materiale.

Con questo accorgimento, si potrebbero ottenere grandi quantità di energia. Infatti, un singolo processo di annichilazione elettrone-positrone libera circa 1 MeV; a causa però del grande numero di positroni che è possibile produrre e raccogliere in un singolo fascio, tali processi di annichilazione possono essere numerosissimi e quindi l'energia complessiva messa a disposizione può essere molto grande. Inoltre, poiché il processo è assai veloce, anche le potenze generate possono essere elevate, dell'ordine del GW e più.

Bisogna guardarsi dal ritenere che questo ragionamento violi il principio di conservazione dell'energia. In realtà, nessuna quantità di energia è creata o distrutta nel processo. Semplicemente, una certa quantità di energia già esistente è prelevata da un punto dello spazio e scaricata in un altro ed i portatori sono i positroni. La situazione è analoga a quello che farebbe chi, in riva al mare su una spiaggia, prelevasse con un secchio dell'acqua dal mare stesso e la versasse sulla sabbia.

Si tenga presente che l'energia messa a disposizione è del tutto pulita perché quando un positrone si annichila con un elettrone, si generano due raggi gamma che vengono subito assorbiti dalla materia circostante e si trasformano in calore.

Il processo di generazione, quindi, è assolutamente sicuro e non rilascia alcun tipo di radioattività. Infatti i gamma che si generano in conseguenza delle annichilazioni trovano subito dei nuclei con cui collidere e cedono ad essi la loro energia; questa energia si trasforma comunque in energia cinetica dei nuclei

stessi, cioè in calore. Il prezzo che si paga per far funzionare il generatore, è determinato dalle linee guida contenute dal paragrafo 5 in poi.

4. Fondamenti teorici.

Sia un sistema S del quale si voglia misurare l'energia E che possiede in un dato istante t.

L'energia posseduta E è affetta da una incertezza ΔE , e, analogamente, anche l'istante t possiede una incertezza Δt : noi possiamo solo dire che l'energia del sistema è contenuta nell'intervallo ΔE durante l'intervallo di tempo Δt . Per il principio di indeterminazione di Heisenberg, il prodotto di queste due incertezze non può mai essere inferiore ad un certo valore minimo. Precisamente si deve avere sempre:

$$(4-1) \quad \Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$$

dove \hbar è la costante di Planck h ($6,626 \cdot 10^{-34}$ J·s) divisa per 2π ; si ha cioè:

$$(4-2) \quad \hbar = 1,054 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 6,582 \cdot 10^{-22} \text{ MeV} \cdot \text{s}$$

Si noti che la (4-1) rimane valida qualunque sia S, quindi anche quando S è vuoto. Ciò significa, visto da un'altra prospettiva, che nel vuoto l'energia può fluttuare da 0 a ΔE , purché però tale incremento non duri per un tempo Δt più lungo di quello permesso dalla (4-1).

Dalla teoria della relatività risulta che ad ogni massa è associata dell'energia. In particolare, alla massa di un elettrone ($9 \cdot 10^{-28}$ grammi) corrisponde una energia pari a 0,51 MeV circa.

Il vuoto può quindi "prestare" questa energia $\Delta E=0,51$ MeV, però per non più di:

$$(4-3) \quad \Delta t = \frac{\hbar}{2 \cdot \Delta E} = \frac{6,582 \cdot 10^{-22}}{2 \cdot 0,511} = 6,44 \cdot 10^{-22} \text{ secondi}$$

In linea di principio, quindi, sarebbe possibile che il vuoto fornisse un elettrone che dovrebbe scomparire al termine del tempo dato dalla (4-3) e ritornare nel vuoto dal quale era uscito per fluttuazione statistica. Si tratterebbe quindi di un elettrone "virtuale", perché, per definizione, non esiste alcun metodo fisico per osservarlo direttamente.

Va notato tuttavia che l'apparizione di un elettrone singolo dal vuoto non può avvenire, per la ragione seguente. Un elettrone possiede una carica elettrica ed è noto che la carica si conserva sempre. Pertanto dal vuoto, che per definizione ha carica totale nulla, non potrebbe generarsi un elettrone, perché in tal caso

si avrebbe violazione della legge di conservazione della carica elettrica. Per questa ragione fin da principio avevamo considerato la creazione di una coppia costituita da un elettrone negativo e da un elettrone positivo (o positrone). Il positrone è in tutto simile ad un elettrone, se non per il fatto che ha una carica eguale in valore assoluto a quella dell'elettrone, ma positiva anziché negativa. La carica elettrica totale della coppia è perciò zero, e quindi la sua formazione dal vuoto non viola la legge di conservazione della carica.

Si deve quindi pensare che il vuoto "ribolle" continuamente, oltre che di fotoni o quant'altro, di coppie elettrone-positrone virtuali, che rimangono in vita per tempi brevissimi e poi scompaiono. L'esistenza fisica di tali coppie, anche se non osservabili direttamente, è tuttavia testimoniata in maniera indiretta dai loro effetti schermanti in vicinanza di atomi e dal cosiddetto "effetto Casimir". Ciò assicura che esse veramente appartengono alla fisica.

Una caratteristica fondamentale degli elettroni e dei positroni è lo spin, una rotazione interna della particella, che si può descrivere, in modo semplificato, tramite un vettore. Un positrone ha spin opposto a quello di un elettrone, mentre lo spin totale si conserva sempre, esattamente come la carica elettrica.

Poiché evidentemente il vuoto ha spin nullo, deve anche essere nulla la somma vettoriale degli spin dell'elettrone e del positrone virtuali che si formano per il fenomeno sopra accennato di fluttuazione dell'energia. Ciò significa che se l'elettrone al momento della sua formazione ha spin in una certa direzione, il positrone suo compagno deve avere spin orientato nella direzione opposta.

A questo punto, viene naturale pensare che se, nel brevissimo intervallo di tempo nel quale le due particelle rimangono in vita, i loro spin vengano fatti ruotare entrambi di uno stesso angolo diverso da 180° , esse non potranno più ricongiungersi e scomparire di nuovo nel vuoto, perché il loro spin totale, dopo la rotazione, non è più eguale a quello del vuoto, e cioè zero. In altre parole, se si ricongiungessero, verrebbe violata la legge di conservazione dello spin.

Su questo principio è basato il generatore di energia che si descrive qui di seguito. La macchina prepara delle condizioni tali, che fanno ruotare gli spin degli elettroni e dei positroni virtuali generati dal vuoto, al primissimo istante della loro formazione. In conseguenza di ciò, le particelle vengono, per così dire, devirtualizzate, cioè, non potendo più scomparire nel vuoto, passano all'esistenza reale stabile. La macchina inoltre, separati gli elettroni dai positroni, riunisce questi ultimi in un fascio che invia su materia ordinaria. Nell'urto con questa, i positroni incontrano degli elettroni; di conseguenza, le coppie si annichilano e liberano la loro energia di massa, cioè circa 1 MeV per evento. Dato il grande numero di positroni che si creano nell'unità di tempo e quindi presenti nel fascio, l'energia rilasciata è grande e, a causa dei tempi molto brevi di rilascio e di annichilazione, le potenze a disposizione rilevanti.

5. Problemi da risolvere.

Sembra opportuno chiarire prima di tutto quali sono i problemi che si devono necessariamente risolvere affinché un generatore di energia del tipo sopra descritto possa funzionare.

(Premettiamo che benché il principio di indeterminazione possa applicarsi ad una varietà di coppie particella-antiparticella, d'ora innanzi ci si riferirà solo, per semplicità, alle coppie elettrone-positrone).

I problemi da risolvere sono i seguenti:

1. Il primo, e il più importante, è, come si diceva, *il blocco della ricombinazione delle coppie virtuali elettrone-positrone*. Bisogna cioè impedire che elettroni e positroni virtuali possano ricongiungersi e ricombinarsi quasi subito nel vuoto dal quale provengono. In tal modo, elettroni e positroni da virtuali potranno passare all'esistenza stabile e, una volta separati gli elettroni dai positroni, questi ultimi potranno venire convogliati in un fascio ed inviati su un bersaglio fuori dalla macchina, dove potranno urtare gli elettroni del bersaglio e scomparire sviluppando energia, che potrà essere impiegata a fini pratici.
2. Il secondo problema da risolvere è il seguente. Poiché la separazione tra elettroni e positroni deve necessariamente avvenire *prima* del processo di convogliamento dei positroni in un fascio, bisogna impedire che positroni passati all'esistenza stabile ma non ancora convogliati, collidano con elettroni appartenenti a pezzi della macchina, onde evitare danni alla macchina stessa e l'irraggiamento di fotoni nell'ambiente circostante.
3. Il terzo problema consiste nel *convogliare i positroni in un fascio* che si possa dirigere contro un bersaglio di materia ordinaria situato all'esterno della macchina. Anche durante il processo di convogliamento si dovrà fare in modo che i positroni vadano a collidere esclusivamente con il bersaglio fuori dalla macchina e non, prematuramente, con la macchina stessa. Ne scende che il fascio dovrà essere contenuto da pareti non materiali, che dovranno essere costituite da campi elettromagnetici. Si vede anzi che occorrerà contenere il fascio con mezzi *esclusivamente magnetici*, cioè senza l'impiego di campi elettrici. Nella tecnica (tubi a raggi X, tubi a raggi catodici, magnetron, ciclotroni, ecc.), particelle cariche vengono fatte viaggiare da un punto A ad un bersaglio B applicando sempre campi elettrici (oltre che campi magnetici) tra A e B. Nel nostro caso, invece, ciò non è pensabile perché il bersaglio B può essere anche molto lontano dal generatore A.

6. Soluzione dei problemi e conseguente struttura della macchina.

Problema n. 1.

Bloccare la ricombinazione tra elettroni e positroni virtuali che si creano dal vuoto quantistico in virtù delle fluttuazioni di energia permesse dal principio di indeterminazione.

Si ricorda, come prima spiegato, che coppie virtuali elettrone-positrone si generano continuamente nello spazio all'interno della macchina e che, a causa del principio di indeterminazione, queste coppie si ricombinano dopo circa 10^{-22} secondi dalla loro creazione.

Consideriamo (Fig. 6-1) una terna di assi cartesiani ortogonali (XYZ) con origine nel punto O e sia Z l'asse volto verso l'alto.

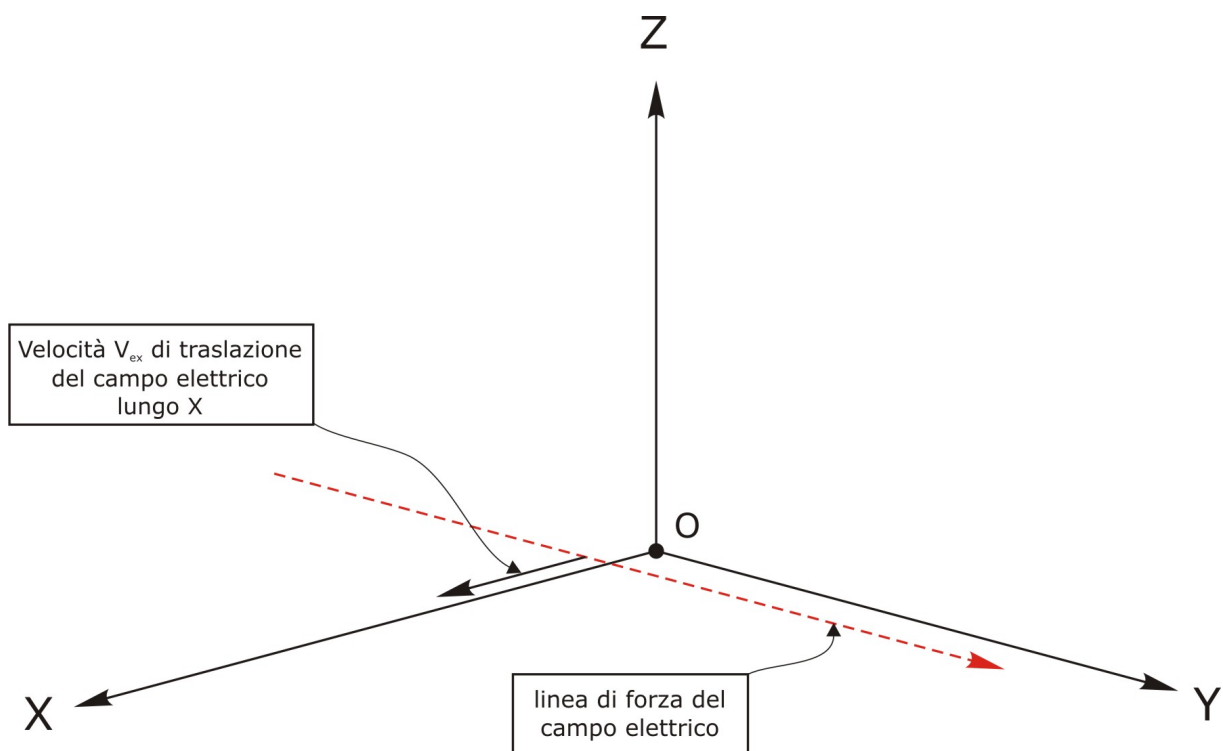


Fig. 6-1

Decidiamo di creare un campo elettrico in direzione dell'asse Y, le cui linee di forza siano orientate come indicato dalla freccia rossa tratteggiata.

Facciamo anche in modo che tali linee di forza traslino rettilineamente, ad esempio in direzione $+X$, con velocità V_{ex} dell'ordine di 1 metro/secondo.

In tal modo, le particelle virtuali formatesi, ad esempio nelle vicinanze dell'origine, tendono a muoversi nel modo seguente: gli elettroni tendono ad allontanarsi dal piano $X-Z$ verso le Y negative, mentre i positroni tendono a dirigersi in direzione opposta. La loro velocità (comune in modulo) viene provocata dalla presenza del campo elettrico. Supponiamo che sia dell'ordine di qualche migliaio di km/sec. , ossia qualche milione di volte maggiore di V_{ex} . In tali condizioni, l'influenza della velocità in direzione $+X$ sulle velocità lungo $\pm Y$ sarà trascurabile e si potrà affermare che le due particelle tenderanno a spostarsi nelle direzioni delle Y negative o positive (a seconda della loro carica).

Alla velocità di qualche migliaio di km/sec , durante il loro tempo di vita (ca. 10^{-22} sec), le particelle potranno percorrere uno spazio dell'ordine di 10^{-15} m (qualche fermi). Poiché gli spin a loro associati al momento in cui si formano rimangono antiparalleli, terminato il tempo di vita concesso dal principio di indeterminazione, si ricombinano restituendo al vuoto la loro energia di massa.

Per creare il campo elettrico in direzione Y , si possono disporre, ad esempio, tre dischetti ceramici paralleli (1), (2) e (3) (Fig. 6-2), calettati su un alberino isolante. Il centro dell'alberino sarà un punto O' sull'asse negativo delle Z .

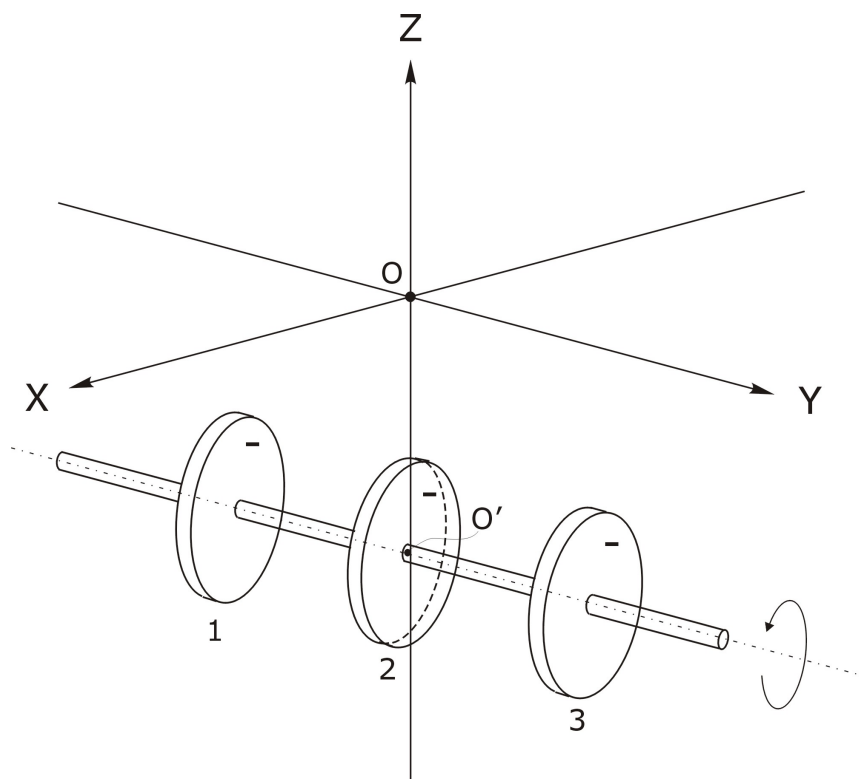


Fig. 6-2

Se i dischetti vengono caricati con una differenza di potenziale elettrico pari a $+V$ volt su una faccia rivolta verso le Y negative e a $-V$ volt sulla faccia opposta, si creerà un campo elettrico le cui linee di forza appunto andranno dalle Y negative verso le Y positive.

Se poi l'alberino verrà fatto ruotare (per esempio da un motore elettrico passo-passo meccanicamente connesso e comandato da apposita elettronica) in senso antiorario osservandolo dalla parte delle Y positive (come si vede nella Fig. 6-2), il campo traslerà in direzione $+X$, come si voleva.

Al fine, come spiegato nel paragrafo 2, di ottenere la rotazione reciproca degli spin dell'elettrone e del positrone di un angolo diverso da 180° , diciamo 90° , in modo che al termine della rotazione gli spin risultino perpendicolari, disponiamo sull'asse Y , ad eguale distanza dall'origine O , due sfere cave di acciaio inossidabile ^(NOTA 1) (Fig. 6-3), una (H) ruotante attorno ad un asse orizzontale parallelo all'asse X , l'altra (V) ruotante attorno ad un asse verticale parallelo all'asse Z :

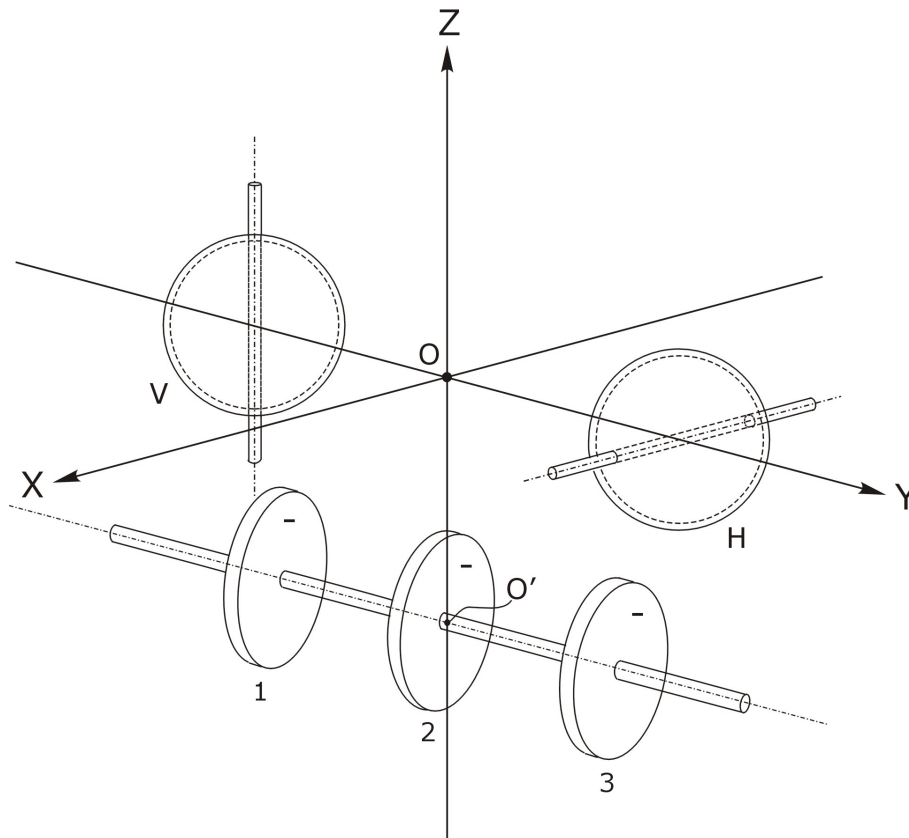


Fig. 6-3

NOTA 1: si noti che l'acciaio deve essere paramagnetico, quindi si impiegherà, ad es., una lega tipo AISI 304 o AISI 316 ben solubilizzata.

Ciascuna sfera sarà solidale ad un alberino in materiale non ferromagnetico (alluminio o acciaio inox come da Nota 1) passante per il suo centro. I due alberini saranno collegati meccanicamente a due motori elettrici passo-passo, comandati da apposite elettroniche.

Nelle due sfere si verseranno piccole ed eguali quantità di mercurio.

Il mercurio naturale contiene due isotopi (Hg_{80}^{199} e Hg_{80}^{201}), i cui nuclei hanno spin semintero (sono cioè fermioni).

Supponiamo dapprima le sfere ferme. Le due quantità di mercurio si disporranno allo stesso modo nel loro interno. Cioè, se chiamiamo G_H il baricentro del mercurio situato nella sfera H e G_V quello nella sfera V (Fig. 6-3), il segmento congiungente G_H con G_V sarà orizzontale e giacerà nel piano YZ. A causa dell'agitazione termica, gli spin degli isotopi punteranno a caso in tutte le direzioni e quindi lo spin totale di ogni massa di mercurio sarà nullo.

Mettendo in rotazione le sfere, le masse di mercurio al loro interno si metteranno anch'esse in rotazione per attrito e quindi i baricentri si disporranno in due posizioni diverse da prima (ma sempre situate, per simmetria, nel piano YZ). In altre parole, il segmento congiungente i baricentri si inclinerà rispetto all'orizzontale, in modo stabile una volta raggiunti regimi di rotazione stazionari. Allo stesso tempo, gli spin degli isotopi all'interno di una sfera tenderanno a puntare nella direzione dell'asse di rotazione della sfera in cui sono contenuti.

Questo fenomeno è dovuto alle circostanze seguenti. Per la teoria della relatività generale, ogni massa in rotazione determina un cosiddetto "campo gravito-magnetico" che ha un andamento assiale attorno all'asse di rotazione. Quindi anche attorno a ciascuna sfera si creerà un tale campo, dovuto alle masse di mercurio in rotazione al loro interno.

Limitandoci per il momento al positrone, si può dire che questo è dotato, oltre che di momento magnetico, anche di un momento gravito-magnetico, avente direzione opposta al primo. Il momento magnetico è dovuto alla carica elettrica in rotazione ed è parallelo allo spin, mentre il momento gravito-magnetico è dovuto alla massa in rotazione della particella ed è opposto al momento magnetico e allo spin.

Perciò un positrone nelle vicinanze di una sfera in rotazione, sarà indotto ad allineare il proprio momento gravito-magnetico coll'analogo campo originato dalla sfera, al fine di ridurre al minimo la sua energia potenziale. Di conseguenza il suo spin verrà trascinato ad orientarsi in direzione del campo stesso.

Analogo ragionamento, mutatis mutandis, vale per l'elettrone.

Affinché l'elettrone e il positrone di una coppia virtuale allineino contemporaneamente i loro spin, uno in direzione parallela all'asse Z e l'altro all'asse X, occorrono non solo le due sfere come sopra si diceva, ma anche che la coppia che appare dal vuoto si trovi ad eguale distanza dai baricentri delle masse di mercurio. Sia M il punto mediano del segmento G_H-G_V (Fig. 6-4).

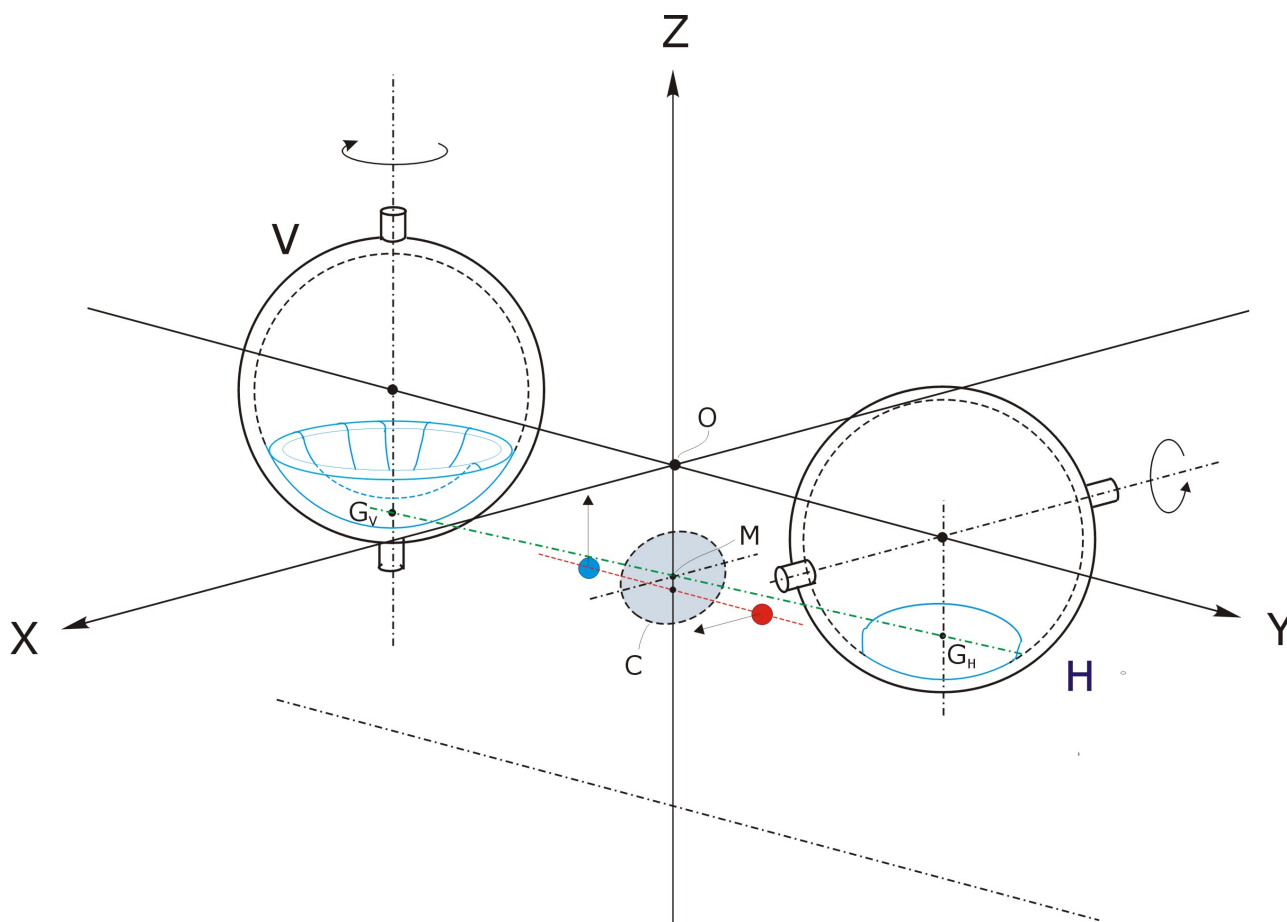


Fig. 6-4

Si considerino due sfere ideali, aventi centri nei due baricentri e intersecantisi in un cerchio C. Per costruzione, tutti i punti di tale cerchio saranno ad eguale distanza dai due baricentri e quindi solo le particelle che appaiono a coppie in questo cerchio potranno allineare i loro spin con gli assi delle due sfere e quindi potranno separarsi.

Invece, in una coppia che appare in un punto più vicino ad una sfera che all'altra, entrambe le particelle allineeranno i loro spin nella direzione di rotazione della sfera più vicina, con versi però necessariamente antiparalleli, a causa del principio di esclusione. Ciò comporterà la (quasi) immediata ricombinazione della coppia.

In tal modo, è stato risolto il primo problema: tutte le particelle nate in un cerchio (come C), luogo dei punti ad eguale distanza dai baricentri delle due masse di mercurio, ruotano i loro spin, quindi non possono più ricombinarsi e scomparire nel vuoto e possono essere separate.

Problema n. 2.

Evitare danni alla macchina causati da collisioni di positroni passati all'esistenza stabile ma non ancora convogliati, con elettroni appartenenti a pezzi della macchina.

Per risolvere questo problema, costruiremo, nei dintorni dell'origine, un campo magnetico debole B_{mp} , giacente sul piano Y-Z della macchina e orientato in modo da fare un certo angolo ψ con l'asse verticale Z (Fig. 6-5).

Per costruire questo campo B_{mp} , si disporranno due magneti permanenti a forma di disco sull'asse X ad eguale distanza dall'origine:

- un magnete n. 1 (indicato in azzurro nella figura), calettato su un alberino di materiale non ferromagnetico ruotante in direzione parallela all'asse Z e mosso da un motorino elettrico comandato da una opportuna elettronica;
- l'altro (n. 2, indicato in rosso), eguale al n. 1 dal punto di vista dimensionale e meccanico, con l'asse di rotazione parallelo all'asse Y e mosso da un altro motorino elettrico anch'esso comandato da un'altra opportuna elettronica:

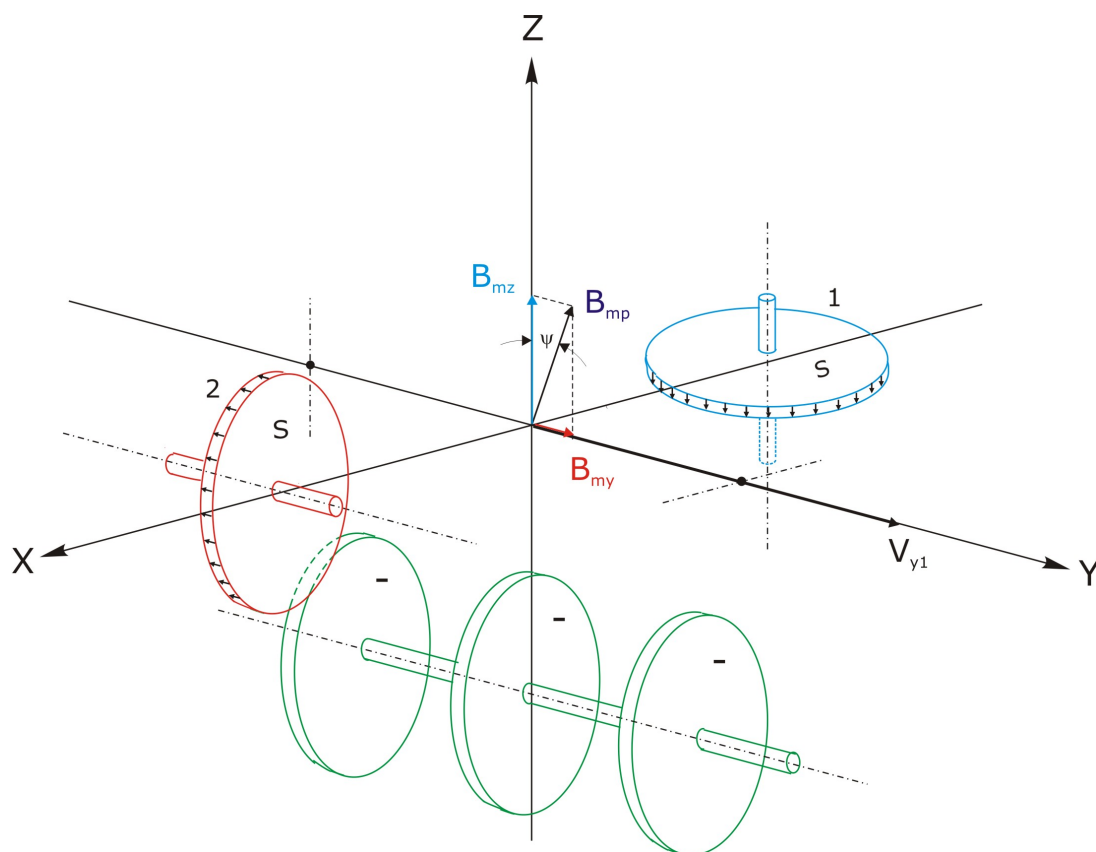


Fig. 6-5

Con le direzioni di magnetizzazione dei dischi indicate in Fig. 6-5, e cioè parallele allo spessore, nei pressi dell'origine (che qui si considera per semplicità), si avranno due campi magnetici:

- B_{mz} , indicato in azzurro, determinato dal disco 1 (le linee di forza del campo generato dal disco 1 lasciano la faccia Nord e tornano alla faccia Sud, perciò nei dintorni dell'origine il campo è volto verso l'alto);
- B_{my} , indicato in rosso, determinato dal disco 2 (per la stessa ragione, il campo punta verso le Y positive)

Regolando opportunamente le intensità di magnetizzazione dei due dischi, si potranno ottenere i due campi B_{mz} e B_{my} , in modo che il loro risultante sia il campo B_{mp} avente l'intensità e la direzione desiderate.

Per ragioni che saranno chiare più oltre, il campo B_{mp} deve giacere nel piano Y-Z della macchina.

Affinchè ciò avvenga, bisogna tener conto del campo magnetico terrestre.

Il vettore relativo giace sul piano verticale N-S, ha una intensità di ca. 0,6 gauss e (in Italia) una direzione volta verso il basso facente un angolo di 60° con un piano orizzontale (Fig. 6-6):

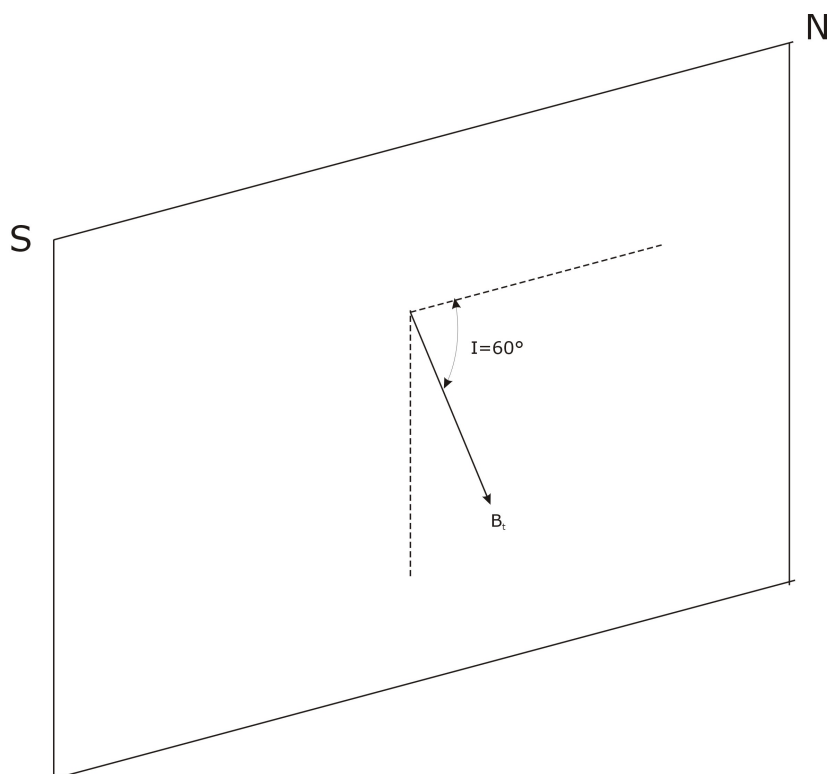


Fig. 6-6

Il campo magnetico terrestre ha perciò una componente orizzontale in direzione N-S pari a $0,6 \cdot \cos 60^\circ = 0,3$ gauss ed una componente verticale pari a $0,6 \cdot \sin 60^\circ = 0,52$ gauss circa.

Il c.m.t. è dovuto al fatto che la Terra si comporta come un magnete. Nella Fig. 6-7 che segue, è raffigurata la Terra e la retta $N_g - S_g$ che congiunge il Polo Nord geografico col Polo Sud geografico che è l'asse di rotazione del pianeta. E' inoltre indicata la retta $N_{gm} - S_{gm}$ che unisce il Polo Nord geomagnetico col Polo Sud geomagnetico:

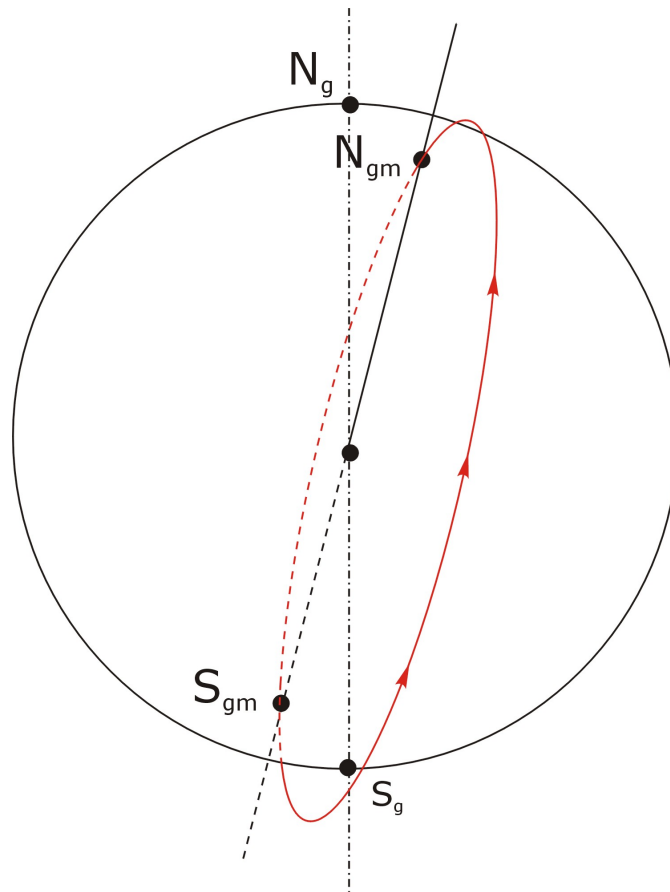


Fig. 6-7

- ❖ Il Polo Nord geomagnetico N_{gm} non coincide col Polo Nord geografico N_g , ma è spostato rispetto ad esso. Analogamente, il Polo Sud geomagnetico S_{gm} non coincide col Polo Sud geografico S_g .
- ❖ Le linee di forza del c.m.t. escono dal Polo Sud geomagnetico, risalgono lungo i meridiani ed entrano nel Polo Nord geomagnetico. In altre parole, il Polo Sud geomagnetico è in realtà un Polo Nord magnetico, mentre il Polo Nord geomagnetico è un Polo Sud magnetico. La punta dell'ago di una bussola che si orienta verso il Nord geomagnetico è perciò un polo nord magnetico (viene attirata da un Polo Sud magnetico); al contrario, l'altra estremità dell'ago è un polo sud magnetico.

Per fare in modo, come sopra si diceva, che il campo B_{mp} non abbia componenti fuori dal piano YZ, cioè lungo l'asse X, occorrerà orientare la macchina in modo che il suo asse Y sia parallelo alla direzione $N_{gm} - S_{gm}$, cioè a quella indicata dall'ago di una bussola. In tal caso, infatti, il c.m.t. non avrà alcuna proiezione sull'asse X della macchina e quindi il campo B_{mp} giacerà completamente nel piano YZ.

Poichè il campo attorno al quale si avvolgeranno ad elica le traiettorie dei positroni sarà il risultante del campo B_{mp} e del campo determinato dal

solenoidale (che è rigorosamente parallelo all'asse Z), si è sicuri in questo modo che gli assi delle traiettorie dei positroni non abbiano componenti lungo l'asse X.

Al fine poi di eliminare la componente verticale del c.m.t., si dispongono all'interno della macchina dei fogli di gomma magnetizzata, tutto attorno e sul fondo. Scegliendo opportunamente le intensità di magnetizzazione, si crea in tal modo un campo magnetico verticale volto verso l'alto capace di compensare la componente verticale volta verso il basso del c.m.t.

Così come la rotazione dei tre dischetti elettrizzati faceva traslare le linee di forza del campo elettrico (Fig. 6-1 e 6-2), analogamente anche le rotazioni dei due dischetti magnetizzati imprimeranno ai campi magnetici delle velocità che saranno sempre dell'ordine di 1 m/sec. Queste velocità saranno perciò trascurabili nei confronti di V_{y1} , la velocità posseduta dagli elettroni (verso -Y) e dai positroni (verso +Y) e dovuta al campo elettrico.

Poiché i dischetti elettrizzati ed i due dischi magnetizzati ruotano attorno a tre assi che sono tra loro ortogonali, essi generano, rispettivamente, un campo elettrico e due campi magnetici che sono tra loro ortogonali.

Per il principio di relatività dei moti, tutto avviene quindi come se i campi fossero fermi e la macchina traslasse con delle velocità lungo i tre assi eguali e opposte a quelle dei campi.

Quindi il luogo in cui può avvenire la separazione delle particelle virtuali sarà costituito di volta in volta da tutti gli infiniti punti di un volumetto, avente per lati le distanze percorse dai campi durante il tempo di attivazione del solenoide.

Gli spin degli elettroni e dei positroni virtuali che si formano per fluttuazione quantistica del vuoto prima dell'attivazione del solenoide si dispongono antiparalleli lungo la direzione del campo B_{mp} (vedi Fig. 6-5). Ciò impedisce ai due campi gravito-magnetici delle sfere di far ruotare reciprocamente gli spin delle due particelle e perciò di liberarle. Di conseguenza, le particelle si ricombinano una volta trascorso il breve tempo loro concesso dal principio di indeterminazione. Esse quindi non possono danneggiare la macchina.

Attivando il solenoide, la direzione comune degli spin delle due particelle ruota e diventa quella verticale del campo solenoidale. Durante tale rotazione, i campi gravito-magnetici delle due sfere possono intervenire e fanno ruotare reciprocamente i due spin. Le particelle quindi vengono liberate l'una dall'altra e non possono fare altro che allontanarsi tra loro muovendosi ad elica attorno alle linee di forza del campo stesso del solenoide.

Problema n. 3.

Convogliare i positroni (senza collisioni premature con elettroni della macchina) in un fascio che si possa dirigere contro un bersaglio di materia ordinaria situato all'esterno della macchina.

Con le parti della macchina finora installate, è possibile evitare che positroni, separati ma non ancora convogliati, collidano con le superfici interne della macchina.

Bisogna ora poter convogliare in un fascio i positroni separati. A tal fine, si devono disporre alcune ulteriori strutture, come risulta dalla seguente vista al CAD:

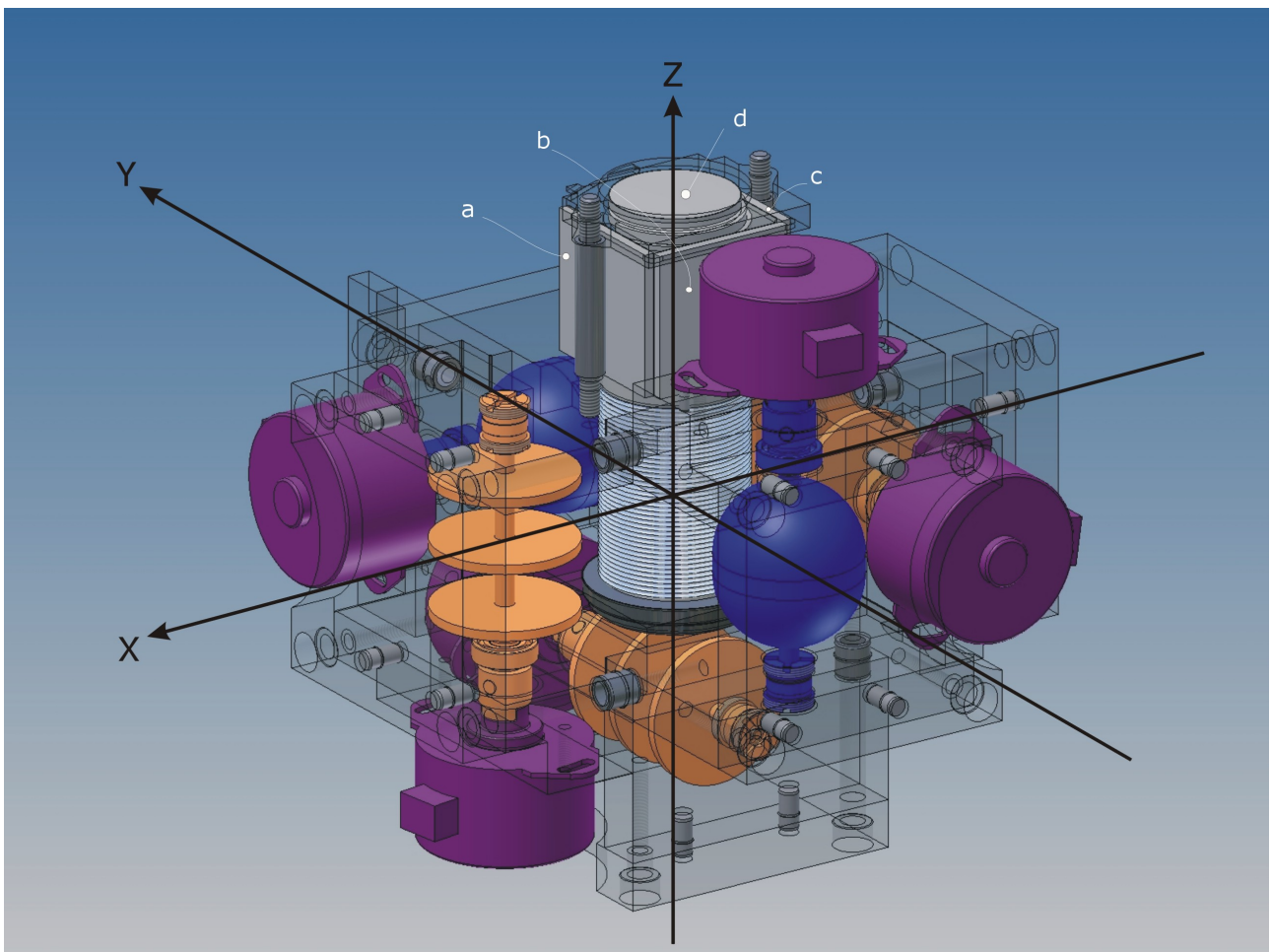


Fig. 6-8

In questa figura, che mostra una parte della realizzazione pratica della macchina, si notano:

-
- I tre dischetti ceramici (in arancio) sul fondo della macchina ed il motorino elettrico che li fa ruotare (in viola, nella parte posteriore)
 - Una terna di dischetti con asse di rotazione verticale (a sinistra). Sotto di essi, si intravede il relativo motorino. Il dischetto centrale è un magnete (che nella Fig. 6-5 era stato indicato col numero 1), gli altri due, uno sopra e l'altro sotto, sono in metalli preziosi.
 - La sfera V ad asse verticale (in blu) è visibile nel centro, col relativo motorino in alto.
 - Dietro si intravede la sfera H ad asse orizzontale (in blu), mossa dal motorino a sinistra.
 - A destra della sfera V, si vede un terzo motorino che guida un'altra terna di dischetti con asse di rotazione orizzontale; il dischetto centrale è un magnete (che era stato indicato col numero 2), i laterali sono di metalli preziosi.

Nel centro della macchina, è stato disposto un solenoide con l'asse coincidente con l'asse Z della macchina. Sopra la sua bocca superiore, sono presenti tre magneti permanenti quadrati (a, b e c), sopra i quali un apposito pezzo sorretto da due colonnine mantiene in posizione un magnete cilindrico d.

Il funzionamento è il seguente. Dando corrente al solenoide, si genera al suo interno un campo magnetico B_s abbastanza forte (dell'ordine di grandezza di 1.000 gauss). Le linee di forza di questo campo sono tutte parallele e dirette verso l'alto. Poiché prima di dare corrente al solenoide, esisteva un campo B_{mp} (vedi Fig. 6-5) generato dai due magneti permanenti a disco, il campo risultante B_{tot} sarà dato dalla composizione vettoriale dei campi B_s e B_{mp} (Fig. 6-9):

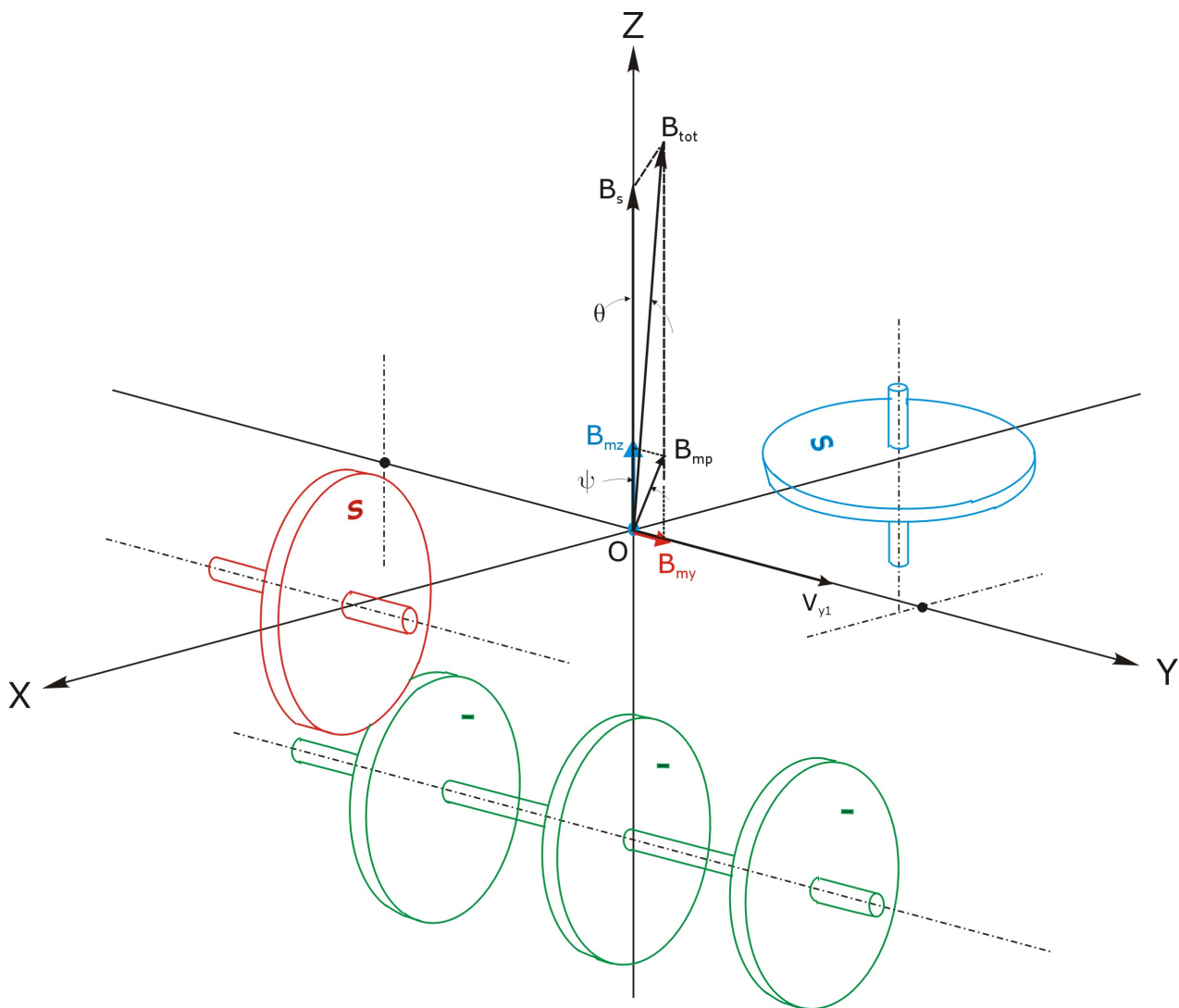


Fig. 6-9

E' essenziale che l'angolo θ sia diverso da zero: in virtù di questo angolo, il campo magnetico totale non sarà perpendicolare alla velocità e quindi i positroni liberati nei dintorni di O si allontaneranno verso l'alto con una traiettoria ad elica attorno al campo B_{tot} .

Questa traiettoria è la composizione di due moti: uno circolare attorno a B_{tot} dovuto alla forza di Lorentz:

$$(6-1) \quad FL' = e \cdot V_{y1} \cdot B_{tot} \cdot \sin(90^\circ - \theta) = e \cdot V_{y1} \cdot B_{tot} \cdot \cos \theta$$

ed uno di traslazione dovuto alla componente della velocità V_{y1} nella direzione del campo: $V_{y1} \cdot \cos(90^\circ - \theta) = V_{y1} \cdot \sin \theta$.

Si era detto che i due dischetti magnetici (in azzurro e rosso nella Fig. 6-9) e i tre dischetti ceramici elettrizzati (in verde nella stessa figura) ruotano attorno ai loro assi essendo meccanicamente connessi a tre motori elettrici comandati da apposite elettroniche.

La ragione di queste rotazioni è, a maggior chiarimento di quanto prima accennato, la seguente.

Con riferimento alla Fig. 6-4, si consideri il punto M, in una piccola regione attorno al quale si possono avere le condizioni per la separazione delle particelle virtuali che ivi si generano dal vuoto.

Queste condizioni sono piuttosto strette, per cui se si desse corrente al solenoide con tutti i dischetti fermi, il numero di particelle separate sarebbe limitato.

Facendo ruotare i dischetti, i tre campi (due magnetici ed uno elettrico) generati in M, trasleranno con velocità tangenziali dovute ai moti di rotazione dei dischetti.

Per il principio di relatività dei moti, è come se i campi rimanessero fermi e la macchina intera (compreso quindi il punto M) traslasse con velocità eguali ed opposte a quelle tangenziali dei campi (come si vede nella Fig. 6-10 seguente, dove appunto si sono indicate le velocità apparenti della macchina).

Ciò comporta che, per tutto il tempo in cui la corrente percorre il solenoide, il punto M e la piccola regione attorno ad esso nella quale si determinano le condizioni di separazione delle particelle, esploreranno un certo piccolo parallelepipedo, i lati del quale saranno pari alle distanze percorse dai campi durante il tempo di attivazione del solenoide.

Di conseguenza, il numero di particelle rilasciate dal sistema aumenterà grandemente, in proporzione sia alla durata dell'impulso di corrente, sia alle velocità di rotazione impresse ai dischetti.

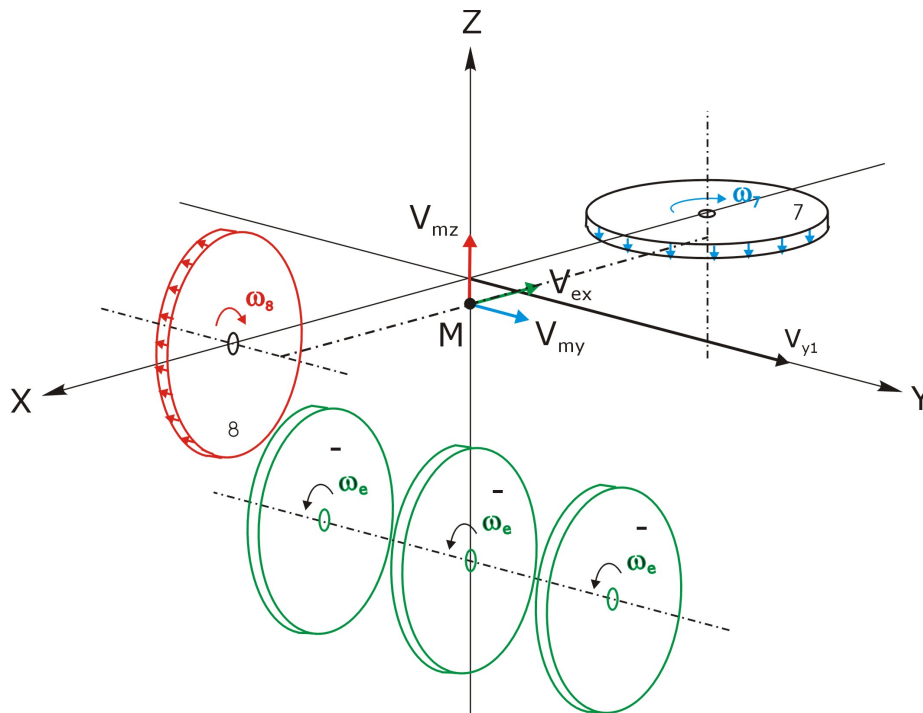


Fig. 6-10

Si è quindi giunti al risultato che tutti, o la maggior parte, dei positroni liberati sono stati riuniti in un fascio costituito da traiettorie ad elica che salgono verso l'alto in direzione della bocca superiore del solenoide.

A questo punto, viene sfruttata la solenoidalità del campo magnetico, che fa piegare verso l'esterno le linee di forza del campo magnetico. I positroni, infatti, vengono a trovarsi in una regione cubica circondata da quattro magneti permanenti (a, b, c e d in Fig. 6-8), che inducono le linee di forza del campo magnetico a piegare di 90° in direzione parallela all'asse Y della macchina, inducendoli ad entrare in una guida elettromagnetica costituita da cinque celle. Ogni cella è formata da quattro magneti permanenti opportunamente magnetizzati ed è separata dalla successiva da piastrine metalliche forate, all'interno delle quali può traslare il flusso positronico.