Author name
Giuliano Bettini

Title
Zitterbewegung and Higgs particle. A short introduction.

Abstract
As I showed in my previous writings [16], a field similar to the gauge boson W provides a helical motion that transforms a TEM in a TE (or TM) in a waveguide. This helical motion in the Hestenes interpretation of electron is the zitterbewegung.
In [16] I just talk about electromagnetic fields, TEM and TE, TM.
I noticed that "a TEM is wrapped in a waveguide and becomes a TE or TM with mass" and “the Higgs particle do not appear".
Similarities inevitable appear, already appeared in [15], all questionable, with neutrinos and electrons / positrons.
However Hestenes in "Spacetime calculus”, speaking of the helical motion ie zitterbewegung makes more explicitly the hypothesis that, given the above similarities, it seems interesting:
"This opens up possibilities for integrating the zitterbewegung idea with electroweak theory. Evidently that would obviate the need for including Higgs bosons in the theory, since the zitterbewegung provides an alternative mechanism to account for the electron mass."
In face of a possible elimination of the Higgs particle from the electroweak theory it appears useful to repeat my ideas in a popular way.

Zitterbewegung e particella di Higgs. Divulgativo

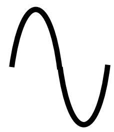
Introduzione e sommario

Ho mostrato, in un mio precedente scritto [16], che un campo di gauge analogo al bosone W fornisce a un TEM un helical motion che trasforma il TEM in un TE (o TM) in guida d'onda.
Questo helical motion nella interpretazione di Hestenes dell'elettrone è il zitterbewegung.
Io in [16] mi sono limitato a parlare di campi elettromagnetici, TEM e TE, TM. Ho notato che "un TEM si avvolge a elica e diventa un TE o TM con massa" e "non compare la particella di Higgs".
Appaiono inevitabilmente delle analogie, già comparse in [15], tutte discutibili, con neutrini ed elettroni/positroni.
Tuttavia Hestenes in "Spacetime calculus" , parlando del helical motion i.e. zitterbewegung fa un'ipotesi più esplicita che, tenuto conto delle analogie, appare interessante:
"This opens up possibilities for integrating the zitterbewegung idea with electroweak theory. Evidently that would obviate the need for including Higgs bosons in the theory, since the zitterbewegung provides an alternative mechanism to account for the electron mass."
A fronte di una possibile eliminazione della particella di Higgs dalla teoria elettrodebole ritengo utile riproporre le mie idee in modo divulgativo.
Per quale ragione si possa e si debba parlare di forze elettrodeboli sui TE; TM e TEM è ampiamente trattato in [16], di cui riporto anche la Bibliografia ma, per dirla in breve:
1°) il gruppo che lascia invariato il quadrivettore energia e impulso totali del campo elettromagnetico non è solo l'"electromagnetic gauge group" $\psi \to \psi' = \psi e^{i\varphi}$ (Hestenes) ma è il gruppo $SU(2)\otimes U(1)$;
2°) la applicazione di una trasformazione $SU(2)\otimes U(1)$ <u>locale</u> <u>in uno spazio astratto</u> è in fisica il modo con cui si produce e si descrive la "unificazione fra le forze elettromagnetiche e le forze elettrodeboli".
Pertanto è evidente che deve essere possibile visualizzare l'effetto di una trasformazione $SU(2)\otimes U(1)$ <u>locale</u> anche nel caso del campo elettromagnetico.
In più, dico io, non <u>in uno spazio astratto</u> ma <u>nello spazio</u> (vero).
Questo effetto deve manifestarsi (e si manifesta) come "forze elettrodeboli" sui campi TE TM e TEM.
L'esposizione che faccio qui è volutamente semplificata e (quasi) senza formule.
Primo: ridiscuto l'effetto geometrico dei generatori del gruppo $SU(2)\otimes U(1)$.
Secondo: mostro come geometricamente e intuitivamente agiscono sui campi TE; TM e TEM oggetti fisici analoghi ai bosoni W e Z°, nonché al fotone γ.

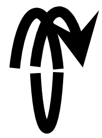
Le interazioni deboli

Il primo problema è: esistono forze elettrodeboli sui campi TE; TM e TEM?
A questo ho cercato di dare una risposta matematica in [16].
Quale è invece una risposta non matematica ma qualitativa?
Le particelle W e Z° portatrici della “forza debole” dovrebbero trovare la loro interpretazione nella azione di un bersaglio radar, o di un ostacolo in guida , o simili.
Si può visualizzare la azione di un oggetto su un segnale elettromagnetico incidente per arrivare a dire: “ecco, questa è la azione della particella Z°” oppure “questa è come la azione della particella W”?
In [15] ho stabilito delle analogie che qui rammento e mi aiuto con dei disegni.

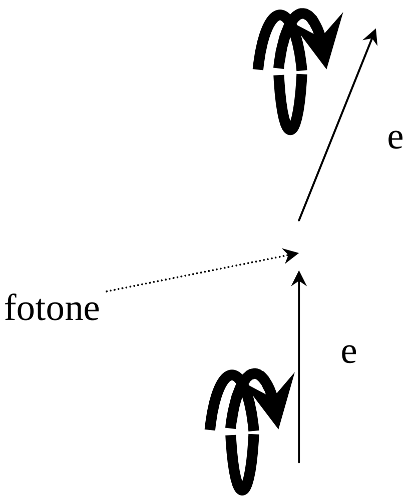
neutrino:
campo e. m. trasversale (TEM)
in polarizzazione circolare a velocità c



elettrone (e positrone)
campo e. m. avvolto a elica (TE o TM)
in polarizzazione circolare a velocità V

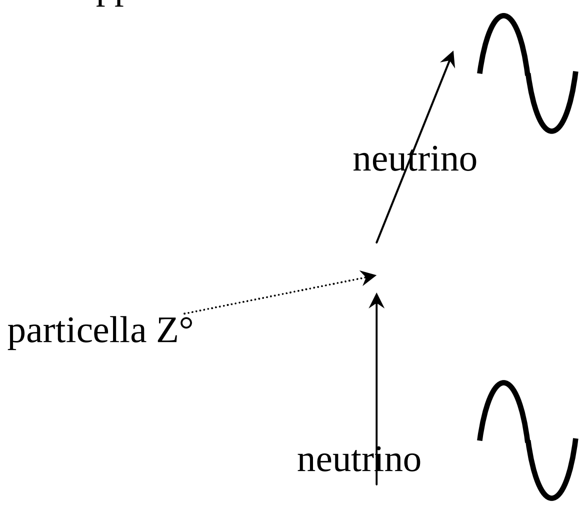


Cominciamo a riassumere la azione del fotone. Esso rallenta o devia elettroni

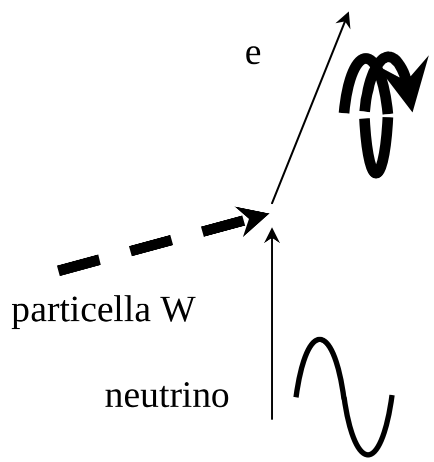


Nella analogia radar-elettromagnetica (considerando solo l’azione di rallentamento o accelerazione) è un fittizia “guida equivalente” che cambia di dimensione.

(Ho dato questa interpretazione in [15]. In [16] ho dato una interpretazione più semplice di questa, ossia una variazione di ω nella stessa guida).
Proviamo invece a interpretare le azioni delle particelle W e Z° portatrici della "forza debole".
Nessun fotone è in grado di agire (deviare o rallentare) un neutrino, e ciò è coerente col fatto che nessuna guida agisce su un TEM essendo per definizione un TEM libero da qualsivoglia guida. Sui neutrini viceversa può agire la Z°, la cui azione, vista in termini di azione di un bersaglio radar, può essere rappresentata da uno scattering da TEM a TEM a parità di polarizzazione.
Il TEM "scattered" risulterà deviato e/o con ω aumentata o diminuita se esiste un effetto doppler.



L'oggetto che può fare questo potrebbe essere semplicemente un bersaglio radar in eventuale moto di avvicinamento o allontanamento.
Più complessa è la azione della particella W. Essa è in grado di trasformare neutrini in elettroni o viceversa (ed è pertanto una particella dotata di carica).



Nella analogia radar-elettromagnetica un oggetto che trasforma TE, TM in TEM o viceversa esiste ed è...... la porta di uscita o di ingresso di una guida. Essa opera la transizione spazio – guida e quindi obbliga le sopradette trasformazioni.

elettrone neutrino neutrino elettrone

Si trattava di tradurre la azione di questi oggetti in operatori matematici tali da operare in modo analogo alle particelle Z° e W in meccanica quantistica.
È questo il compito che ho cercato di risolvere in [16] studiando l'azione del gruppo $SU(2)\otimes U(1)$ sui campi TE TM e TEM.
Ora invece ne do una interpretazione praticamente "grafica".

L’Algebra di Clifford

Per ciò che qui serve l’Algebra di Clifford la possiamo considerare una estensione del calcolo con i numeri complessi.
Parimenti la possiamo considerare una estensione del calcolo vettoriale.
La estensione parte (e in fondo lì finisce) con la “banale” chiarificazione del significato geometrico dell’ usuale “immaginario” i.
Ciò è essenzialmente dovuto a Hestenes con la Space Time Algebra, Hestenes a cui non sarà mai espressa abbastanza gratitudine e ammirazione.
Sfortunatamente io mi sono abituato a mie notazioni “da ingegnere”, ma la Space Time Algebra di Hestenes è la stessa cosa. Queste mie notazioni “da ingegnere tuttavia sono comode per esempio <u>adesso</u>, proprio a partire da i.
Espongo quanto ci basta (chiedendo ovviamente scusa agli esperti).
L’ Algebra di Clifford è una volgare algebra, solo che ogni tanto qua e là ci sono dentro anche delle entità (numeri) che <u>anticommutano</u>.
Tali sono i versori degli assi $\hat{i}$ $\hat{j}$ $\hat{k}$ $\hat{T}$ che (si assume) tutti anticommutano.
Se due numeri anticommutano il loro prodotto ab è diverso dal fare ba.
Risulta invece $ab = -ba$.
In realtà siamo già abituati a questo perché consideriamo per esempio i vettori unitari (versori) degli assi nello spazio. Di solito sono indicati come $\hat{i}$ $\hat{j}$ $\hat{k}$.
(Nota: il segnettino ^ ha la sola funzione di richiamo mnemonico se vogliamo rammentare che stiamo pensando ad un versore, ma il realtà in Algebra di Clifford non serve a nulla. Tutti gli enti dell’ Algebra di Clifford è bene pensarli come, e <u>sono</u>, semplicemente numeri).
Orbene pensando a $\widehat{\hat{i}\hat{j}}$ non ci viene in mente che sia uguale a $\widehat{\hat{j}\hat{i}}$, perché guardando $\widehat{\hat{i}\hat{j}}$ ci viene in mente semmai...... il prodotto esterno o prodotto vettore fra $\hat{i}$ e $\hat{j}$ ...., e quindi $\hat{k}$. Semmai $\widehat{\hat{i}\hat{j}}$ ci farebbe pensare a $-\hat{k}$.
Quindi non ci sconvolge che ci siano enti con la proprietà $\widehat{\hat{j}\hat{i}} = -\widehat{\hat{i}\hat{j}}$.
(Nota: anche se in Algebra di Clifford $\widehat{\hat{i}\hat{j}}$ <u>non è</u> $\hat{k}$ ma è....... $\widehat{\hat{i}\hat{j}}$, e tale resta scritto.
Una entità come $\widehat{\hat{i}\hat{j}}$ viene chiamata ed è un “bivettore”, mentre $\hat{k}$ è un vettore).
Ma mi sono ripromesso di fare una esposizione di natura divulgativa, volutamente semplificata e (quasi) senza formule, quindi procedo rapidamente, e per qualche altro dettaglio rimando a [16].
Torniamo al nostro “immaginario” i.
Hestenes ha brillantemente dimostrato, o meglio ha capito, che l’“immaginario” i altro non è che il bivettore $\widehat{\hat{i}\hat{j}}$ (attenti ai segnettini ^!), $\widehat{\hat{i}\hat{j}} = i$. Esso ruota i vettori del piano $\hat{i}, \hat{j}$ (piano x,y). Generalizzando, poniamo $\widehat{\hat{i}\hat{k}} = j$, che così ruota i vettori del piano $\hat{i}, \hat{k}$ (piano x,z) e infine segue anche automaticamente $ij = \widehat{\hat{i}\hat{j}}\widehat{\hat{i}\hat{k}} = -\hat{i}\widehat{\hat{i}\hat{j}}\hat{k} = -\hat{j}\hat{k} = \widehat{\hat{k}\hat{j}}$, il quale ruota i vettori del piano $\hat{k}, \hat{j}$ (piano z,x). Tutto ciò, assieme all’uso degli esponenziali come $e^{-i\Phi}$ eccetera, ci basta per proseguire.

I campi di gauge e le interazioni deboli

Le interazioni elettromagnetiche e le interazioni deboli sono “unificate” nella teoria di Weinberg Salam della interazione elettrodebole (“electroweak interaction”).
Con questa teoria si mostra che accanto alla forza elettromagnetica, esercitata dal fotone γ, esiste una forza debole, esercitata dalle particelle W e Z°.
Queste forze apparentemente di natura diversa sono in realtà parenti strette.
Perché?
Da un punto di vista matematico la parentela è espressa dal fatto che tutte nascono da campi di gauge generati dalle trasformazioni di $SU(2) \otimes U(1)$
(Nota: per due parole di spiegazione sui campi di gauge, vedasi [16]).
Ad ogni trasformazione corrisponde un campo.
Le trasformazioni coinvolte sono quelle del tipo:
$\psi \rightarrow \psi' = \psi e^{-iUt}$
$\psi \rightarrow \psi' = \psi e^{-jWt}$
$\psi \rightarrow \psi' = \psi e^{-ijWt}$
$\psi \rightarrow \psi' = \psi e^{-TjiZt}$
quindi con esponenziali e “generatori delle rotazioni” $\widehat{i}\widehat{j} = i$, oppure $\hat{i}\hat{k} = j$, oppure $ij = \widehat{k}\widehat{j}$ e ove occorra $\widehat{i}\widehat{j}\hat{k}\hat{T} = Tji$.
Ora come dice Hestenes [12] nella teoria di Weinberg Salam delle interazioni elettrodeboli $SU(2) \otimes U(1)$ appare come una simmetria interna in uno <u>spazio astratto</u>.
Invece, dice sempre Hestenes (traduco liberamente il suo pensiero) deve essere possibile darne una interpretazione geometrica nello <u>spazio</u> (quello vero).
Io dico questo e dico di più: deve essere possibile darne una interpretazione geometrica e anche visualizzarne l’effetto sui TE; TM e TEM.
Visualizzare cioè l’effetto delle forze elettrodeboli non solo sulle particelle elementari (elettrone, neutrino ecc.) ma anche sui normali campi TE; TM e TEM.
Questo intendo fare nel seguito, riferendomi esplicitamente alla azione dei generatori delle rotazioni $\widehat{i}\widehat{j} = i$, oppure $\hat{i}\hat{k} = j$, oppure $ij = \widehat{k}\widehat{j}$ e ove occorra $\widehat{i}\widehat{j}\hat{k}\hat{T} = Tji$.

Azione dei generatori $\hat{i}\hat{j} = i$, $\hat{i}\hat{k} = j$, $ij = \hat{k}\hat{j}$ e $\hat{i}\hat{j}\hat{k}\hat{T} = Tji$.

Perché intervengono i generatori $\hat{i}\hat{j} = i$, $\hat{i}\hat{k} = j$, $ij = \hat{k}\hat{j}$ e $\hat{i}\hat{j}\hat{k}\hat{T} = Tji$?
Dobbiamo fare un ampio giro che parte da $\psi\hat{T}\psi^*$.
La espressione

(1) $\psi\hat{T}\psi^*$

fornisce il quadrivettore energia e impulso del corpo in esame (qui del <u>modo</u> in esame, TE, TM, TEM) descritto dallo spinore ψ.
Possiamo interpretare la azione di ψ nella (1) come quella di “mettere in moto” il corpo, descrivendone contemporaneamente i corretti valori di energia e impulso.
Operiamo una delle trasformazioni di $SU(2)\otimes U(1)$, ad esempio $\psi \to \psi' = \psi e^{-i\Phi}$.
Se ψ viene sostituita da ψ' la (1) diventa:

(2) $\psi'\hat{T}\psi'^* = \psi(e^{-i\Phi}\hat{T}e^{+i\Phi})\psi^*$

Da questa si capisce che se la trasformazione è tale per cui:

(3) $(e^{-i\Phi}\hat{T}e^{+i\Phi}) = \hat{T}$

ossia “lascia invariato $\hat{T}$”, nulla cambia nella (1) perché:

(4) $\psi'\hat{T}\psi'^* = \psi(e^{-i\Phi}\hat{T}e^{+i\Phi})\psi^* = \psi\hat{T}\psi^*$

$SU(2)\otimes U(1)$ è per l’appunto “il gruppo di tutte le trasformazioni che lasciano invariato $\hat{T}$”.
Come conseguenza esse non cambiano <u>nulla</u> nella energia e nell’ impulso del corpo, per qualunque condizione di moto.
Allora, si dirà, non fanno niente?
Il fatto è che non cambiano energia e impulso del corpo se sono trasformazioni <u>globali</u>, come in (1), ossia con angoli costanti indipendenti dalle coordinate.
Se invece sono trasformazioni <u>locali</u>, ad esempio con angoli dipendenti dal tempo, allora le cose cambiano.
Ma c’è di più.
Consideriamo l’effetto delle trasformazioni non solamente su $\hat{T}$ ma anche su $\hat{i}$ $\hat{j}$ $\hat{k}$.

I versori $\hat{i}\ \ \hat{j}\ \ \hat{k}\ \ \hat{\mathrm{T}}$ sono i versori degli assi x, y, z e dell'asse tempo ma, seguendo Hestenes, consideriamoli anche come assi "appiccicati" al corpo. Così essi sono anche una terna di versori $\hat{i}\ \ \hat{j}\ \ \hat{k}$ che ne indica l'assetto, mentre $\hat{\mathrm{T}}$ ne indica il "tempo proprio". Un qualunque spinore ψ determina su di essi delle rotazioni. In particolare se ψ è unitario le grandezze

$$\psi\hat{i}\psi^* = \hat{e}_1$$

$$\psi\hat{j}\psi^* = \hat{e}_2$$

(5)

$$\psi\hat{k}\psi^* = \hat{e}_3$$

$$\psi\hat{\mathrm{T}}\psi^* = \hat{e}_0 = \hat{u}$$

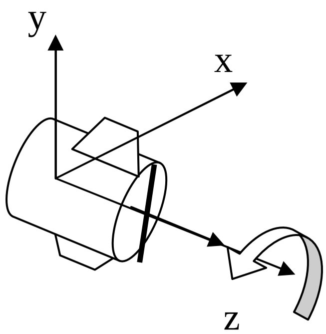
formano un sistema di assi ruotato rispetto a $\hat{i}\ \ \hat{j}\ \ \hat{k}\ \ \hat{\mathrm{T}}$.
(Nota: se la ψ è una rotazione di Lorentz, essa "mette in moto" il corpo. Se viceversa è una delle rotazioni di $SU(2)\otimes U(1)$**,** che è per l'appunto "il gruppo di tutte le trasformazioni che lasciano invariato $\hat{T}$", non succede niente, almeno per quanto riguarda $\hat{T}$).
Con riferimento alla (1) e alla (2) un attimo di riflessione ci fa capire che una qualunque delle trasformazioni di $SU(2)\otimes U(1)$, ad esempio $e^{-i\Phi}$, può essere interpretata come (o se vogliamo <u>è</u>) una rotazione applicata <u>prima</u> che agisca ψ.
Possiamo parlare con un poco di immaginazione di una rotazione applicata prima che ψ abbia messo in moto il corpo.
Questo aspetto è molto importante.
Limitiamoci alle rotazioni spaziali di $SU(2)$, con generatori $\hat{i}\hat{j} = i$, $\hat{i}\hat{k} = j$, $ij = \hat{k}\hat{j}$:

<u>**possiamo dunque identificare una qualunque delle rotazioni di $SU(2)$ che lasciano invariato $\hat{T}$**</u> **come una <u>variazione di assetto</u> del corpo <u>a riposo.</u>**

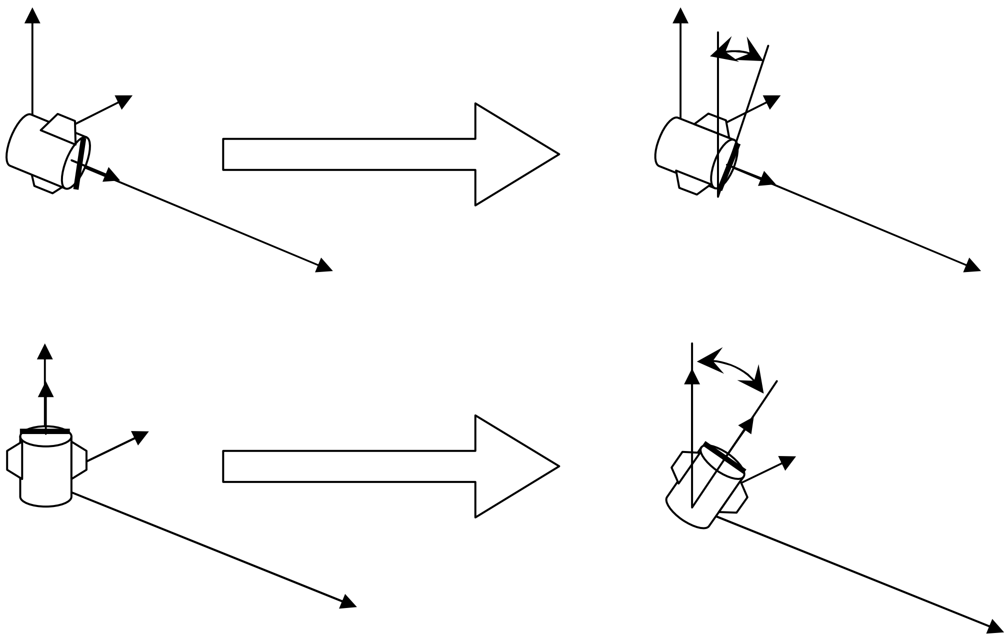
Procediamo da qui, per una spiegazione certamente approssimata e discutibile, ma che ha il pregio di fornirci una immagine visiva della azione dei campi di gauge e di come essi determinano la forza elettromagnetica e la forza debole.
Ragioniamo su un campo elettromagnetico in polarizzazione circolare.
Adottiamo anzitutto una immagine del campo come un corpo al quale è appiccicato un sistema d'assi $\hat{i}\ \ \hat{j}\ \ \hat{k}$ e in particolare $\hat{k}$ ne rappresenti l'asse di rotazione.
Ammetto implicitamente che il corpo o il campo "frullino" intorno all'asse $\hat{k}$ causa un termine $e^{-i\omega t}$ contenuto in ψ.
Nella interpretazione di Hestenes $\hat{k}$ è l'asse di spin.

Con una figura rappresento il corpo come un piccolo satellite “spinning” intorno al proprio asse. Lo spinning è prodotto dal termine $e^{-i\omega t}$.

x

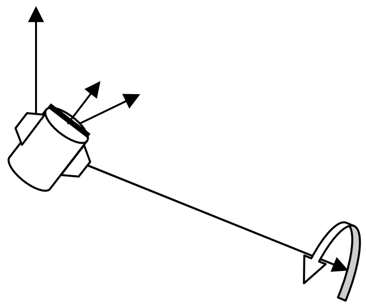


Possiamo ora una a una interpretare la azione delle varie rotazioni ad angolo fisso, trasformazioni <u>globali</u> di $SU(2)$.
Abbiamo ipotizzato di poter assimilare queste rotazioni di $SU(2)$ che lasciano $\hat{T}$ inalterato (e quindi poi non interagiscono con l’andamento del quadrivettore energia e impulso) a una “variazione di assetto” del corpo a riposo.
Eseguiamo una qualunque di queste variazioni di assetto, posizionando il satellite in una nuova posizione, ruotata rispetto alla precedente di un angolo fisso



Risulta abbastanza ragionevole (oppure del tutto rigoroso) pensare che, allorquando il corpo “spinning” abbia cambiato <u>comunque</u> di assetto ciò non muti la sua energia complessiva, quando è fermo, né il suo impulso, quando è in moto.

Infatti cosa succederà?
Semplicemente il corpo (eventualmente) ruoterà intorno a un diverso asse (e ammettiamo che questo fatto non modifichi la sua energia di rotazione).
Come una trottola nello spazio, o come un satellite “spinning” nello spazio, il corpo proseguirà il suo moto con la conservazione di impulso, energia e momento angolare. (nota: nella mia prima stesura di [16] questo disegno è stato riportato in modo sbagliato. Bisogna tenere conto che la rotazione prodotta dal termine $e^{-i\omega t}$ è comunicata al corpo dopo la variazione di assetto)



Ma la situazione cambia (e cambia in modo interpretabile) quando gli angoli sono per esempio funzione del tempo.

Le particelle γ e W.

Cominciamo dalla situazione più semplice che è....la forza elettromagnetica, in contrasto con la successiva che vedremo che è la forza debole.
Essa è generata da una trasformazione $\psi \to \psi' = \psi e^{-i\varphi(t)}$ ovvero più esplicitamente $\psi \to \psi' = \psi e^{-iUt}$.
Questa inserita nella equazione di Dirac produce una diminuzione di ω a $(\omega - U)$.
Tralasciando di ripercorrere tutti i particolari tecnici già esaminati altrove ([15] e [16]), alla fine dunque U compare come una energia additiva o una ω additiva (o come qui sottrattiva) che qualcuno ha comunicato al campo (al corpo).

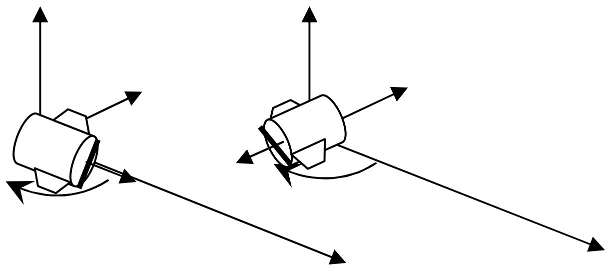
Abbiamo dunque qui una interpretazione immediata che nemmeno ha bisogno di essere fatta perché.......è già pronta.

Una rotazione aggiuntiva, portando la rotazione che già c'era ad essere più veloce o più lenta, cambia l'energia del corpo.

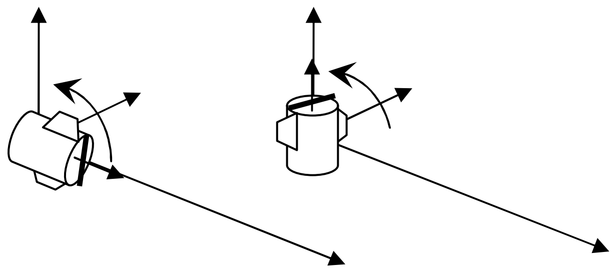
E' quello che succede per un campo in guida d'onda se qualcuno a qualcosa ne cambia la ω.
E' anche precisamente questo l'effetto di un potenziale su una particella carica, in meccanica quantistica l'effetto del fotone γ sull'elettrone.
Passiamo ai generatori $\hat{i}\hat{k} = j$ e $ij = \widehat{kj}$.
Questi, come dice Hestenes (traduco) "non lasciano invariato $\hat{k}$".
Possiamo chiaramente visualizzare gli effetti di una trasformazione di gauge con $\hat{i}\hat{k} = j$ e $ij = \widehat{kj}$.
Rammentiamo preliminarmente che nella teoria delle interazioni deboli a questi due generatori viene attribuita la azione della particella W e quindi è questo fatto che dovremo spiegare. Rammentiamo inoltre che la azione della particella W è quella, fra le altre, di poter trasformare elettroni in neutrini, o viceversa.
In una analogia con TE, TM, TEM diremmo brevemente e sinteticamente "dotare di massa i TEM" oppure viceversa "portare TE, TM alla velocità della luce". Da un punto di vista puramente elettromagnetico si tratta di dotare un TEM di una "frequenza di taglio" (che esso non ha) oppure invece "liberare TE e TM dalla propria frequenza di taglio" trasformandoli così in TEM.
Ebbene ciò premesso vediamo di interpretare geometricamente la azione di $e^{-\hat{i}\hat{k}\rho} = e^{-j\rho}$ e di $e^{\hat{j}\hat{k}\nu} = e^{-ij\nu}$ (i segni sono di comodo) su $\hat{k}$, considerato ancora come asse di rotazione del corpo.
Per brevità scrivo le azioni degli esponenziali come fossero "da un lato".

Per $\rho = \nu = \frac{\pi}{2}$ si vede immediatamente che $e^{-\hat{i}\hat{k}\rho}$ porta $\hat{k}$ su $\left(-\hat{i}\right)$ e $e^{\hat{j}\hat{k}\nu}$ porta $\hat{k}$ su $\hat{j}$.

$e^{-\hat{i}\hat{k}\rho}\hat{k} = -\hat{i}$ $\rightarrow$



$e^{\hat{j}\hat{k}\nu}\hat{k} = \hat{j}$ $\rightarrow$



Possiamo considerare la azione dei due generatori equivalente nel senso che entrambi portano $\hat{k}$ sul piano trasverso (come pure farebbe una loro combinazione).

Ovviamente per $\rho,\nu \leq \frac{\pi}{2}$ valgono posizioni intermedie.

Per ρ,ν costanti queste sono variazioni di assetto e ciò non muta la energia complessiva del corpo, quando è fermo, né il suo impulso, quando è in moto.

Il corpo prosegue il suo moto con la conservazione di impulso, energia e momento angolare.

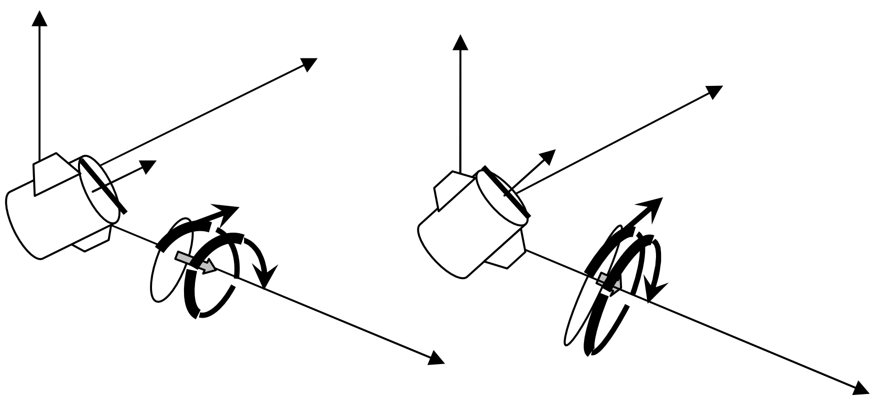
Sia invece per esempio $e^{\hat{j}\hat{k}\nu} = e^{-ij\nu} = e^{-ijWt}$ ossia l'angolo di rotazione intorno all'asse x divenga funzione del tempo $\nu = Wt$.

Possiamo intuire che succederà qualcosa di più complicato.

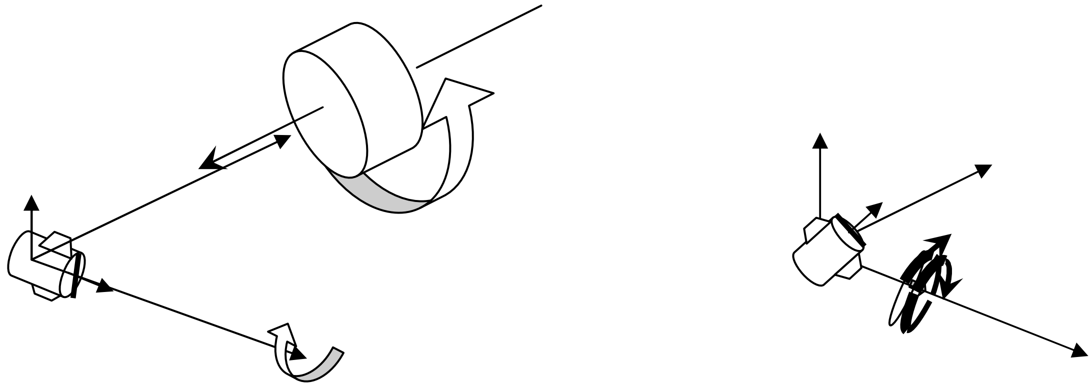
La matematica ci fornisce la risposta:

Il satellite <u>rallenta</u> il suo moto lungo z e <u>acquista</u> un moto di precessione di $\hat{k}$ intorno all'asse z.

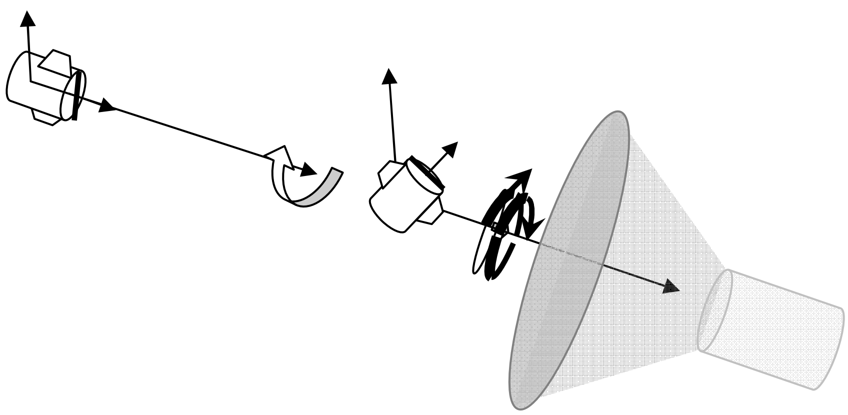
In sostanza parte della sua energia di moto va in energia di rotazione.



E’ quello che succede per un campo in guida d’onda: il campo ha acquistato massa o energia a riposo.
Per $W = \omega$ il moto di avanzamento si ferma completamente e l’energia è tutta posta in rotazione (in guida d’onda il campo è alla frequenza di taglio).
Con ciò abbiamo tradotto graficamente la azione della particella W (in elettromagnetismo trasformazione da TEM a TE, TM e viceversa, attribuibile a una “horn antenna”) ovverosia la azione della trasformazione di gauge $\psi \rightarrow \psi' = \psi e^{-ijWt}$.
Possiamo spingere l’immaginazione fino ad attribuire l’azione di W a un urto che comunica uno “spin” laterale. Nel disegno W è raffigurata come una grossa particella.



Se questo è il meccanismo per dotare di massa un neutrino, possiamo immaginare che <u>altrove</u> in regioni dello spazio o del tempo la presenza di una grande quantità di particelle W abbia trasformato neutrini in materia. Attualmente non c’è in giro una apprezzabile quantità di W, stante anche la brevissima vita.
In ogni modo questo meccanismo per fornire massa sarebbe alternativo alla particella di Higgs.
In elettromagnetismo la trasformazione da TEM a TE, TM è invece più simpaticamente immaginabile come la azione esercitata dalle pareti della “horn antenna”.



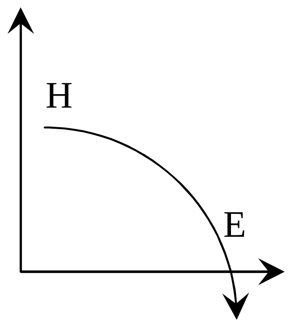
La particella $Z°$.

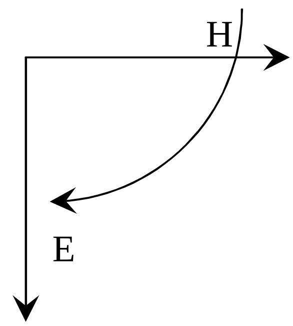
Nella teoria delle interazioni deboli la azione della particella Z° si esplica attraverso la azione congiunta dei campi di gauge prodotti dalle trasformazioni con generatori i e Tji agenti in uno spazio astratto.
La azione è in breve di questo tipo:

una azione congiunta di i e Tji, e con "cariche" di ν_L (neutrino, sinistro) e $\bar{\nu}_R$ (anti neutrino, destro) di segno opposto.

Esaminiamo l'effetto di questi due generatori, e non in uno spazio astratto ma ora nello spazio vero.
Il generatore i agisce nel modo già visto, ossia non altera $\hat{k}$ e ruota i vettori sul piano x, y.
Il generatore Tji <u>non</u> è una rotazione spaziale: esso ha un effetto più complesso, che però possiamo sommariamente esporre così:

Tji **non altera $\hat{k}$ ma sul piano x,y cambia i campi <u>elettrici</u> in <u>magnetici</u> (e i magnetici in elettrici, ma di segno opposto).**





Entrambi quindi operano a modo loro rotazioni sul piano x,y.
Prendiamo in considerazione su un TEM la azione di una trasformazione congiunta:

(6) $$\psi \rightarrow \psi' = \psi e^{-TjiZt - iUt}$$

Un TEM destro contiene di per sé un fattore esponenziale:

(7) $$e^{-i\omega t+ik_z z}$$

L'effetto della trasformazione (6) è un effetto particolare, che solo la matematica ci illustra in modo completo [16].
L'effetto è il seguente (lo enuncio):
k_Z e ω subiscono una modificazione cambiando secondo la relazione:

(8) $$(k_Z + Z)^2 = (\omega - U)^2$$

Dunque, a partire da una condizione iniziale in assenza di campi con $k_Z = \omega$, deve succedere che k_Z e ω subiscano una modificazione tale da soddisfare la (8).
Da un punto di vista fisico la ω di un TEM può effettivamente aumentare o diminuire tramite la interazione con un oggetto (o un "bersaglio").
Ad esempio consideriamo la seguente situazione: un TEM che si propaga secondo z interagisce con un bersaglio in movimento che gli comunica una doppler ω_d e prosegue in "forward scattering" con (per esempio) un aumento di frequenza da ω a $\omega + \omega_d$.
Tuttavia se consideriamo il problema da un punto di vista fisico la ω di un TEM può aumentare o diminuire, ma k_Z deve farlo di conserva, sempre mantenendo la condizione di uguaglianza fra ω e k (che significa propagazione a velocità c=1).
Ne segue dalla (8) che la azione di U e Z non è ammissibile con i segni che lì compaiono, vale a dire (per U e Z positivi) con un aumento di k_Z e una diminuzione di ω.
Pertanto l'unica ipotesi possibile è che sotto la trasformazione (6):
a) U e Z compaiano entrambi e non separatamente, solo l'uno o solo l'altro;
b) U e Z abbiano valore uguale e segno opposto e quindi
c) esistano "cariche di accoppiamento" verso U e Z di segno opposto.

Facciamo comparire "cariche di accoppiamento" verso U e Z di segno opposto. Si trova così la soluzione per un TEM "right":

(9) $$(k_Z + Z)^2 = (\omega + U)^2$$

Questa soluzione è ora fisicamente compatibile e rappresenta la azione un bersaglio in movimento che comunica una doppler ω_d con un aumento di frequenza del TEM da ω a $\omega + \omega_d$. La azione di questo oggetto resta così identificata con il campo di gauge prodotto dalla trasformazione (6).
Consideriamo ora la soluzione TEM "left" (non più destro, ma sinistro).

Interagendo con lo stesso bersaglio di prima e quindi sotto la azione del campo di gauge prodotto dalla trasformazione (6) si troverebbe [16] la seguente soluzione:

(9) $$(k_Z - Z)^2 = (\omega - U)^2$$

Questo conduce alla situazione assurda per la quale lo stesso bersaglio comunicherebbe una doppler positiva ai TEM “right” e una doppler negativa ai TEM “left”, il che non è fisicamente ragionevole.
Dobbiamo quindi supporre“cariche di accoppiamento” dei TEM “left”verso U e Z completamente <u>opposte</u> a quelle precedenti dei TEM “right”.
Questa situazione è analoga a quella che si presenta nella teoria delle interazioni deboli per l’accoppiamento fra la particella $Z°$ e i neutrini:

serve una azione congiunta di i e Tji, e “cariche” per ν_L (neutrino, sinistro) e $\bar{\nu}_R$ (anti neutrino, destro) di segno opposto.

In conclusione, e distinguendo i fatti elettromagnetici dalle interpretazioni “particellari”, abbiamo visto come dato di fatto quale è la azione sui TEM della trasformazione di gauge (6) e abbiamo evidenziato una possibile interpretazione in termini di analogia con la azione di Z° sui neutrini

Conclusioni

Abbiamo esaminato l'effetto geometrico dei generatori del gruppo $SU(2)\otimes U(1)$.
Abbiamo poi mostrato come geometricamente e intuitivamente agiscono sui modi TE; TM e TEM degli oggetti fisici analoghi ai bosoni W e Z°, nonché al fotone γ.
In particolare abbiamo visualizzato la azione dei campi di gauge di $SU(2)\otimes U(1)$ sui sunnominati modi (TEM etc.). Sono stati individuati gli oggetti fisici che implementano queste azioni.
Sono state infine mostrate analogie, tutte ovviamente discutibili e da approfondire, con la azione di $\gamma, W, Z°$.
Vorrei insistere e ben distinguere i <u>fatti</u> dalle <u>interpretazioni</u>.
a –I campi di gauge di $SU(2)$ e/o $SU(2)\otimes U(1)$ agiscono sui modi (TEM etc.) nella maniera che abbiamo descritto (qui in modo intuitivo, in [16] in modo matematico).
Questo è un <u>fatto</u>.
b - Abbiamo evidenziato possibili analogie con la azione di $\gamma, W, Z°$ su neutrini ed elettroni.
Queste sono <u>interpretazioni</u>.
Esistono tuttavia una serie di coincidenze che possono essere significative. Partiamo da una premessa: un campo TE o TM in guida ha per molti aspetti un comportamento analogo, per non dire identico, a quello di una particella relativistica. Le analogie riguardano presenza di massa, "spin", tunneling eccetera. Inoltre una horn antenna in ricezione opera la transizione da TEM ("senza massa") a TE o TM ("con massa").
Ma questi sono fatti banali, noti da sempre, si trattava solo di prenderne atto in maniera esplicita. Tuttavia matematicamente parlando:
a) un campo in guida ammette una rappresentazione con l'equazione di Dirac così come avviene per l'elettrone ([15]);
b) la azione di una horn antenna in ricezione è attribuibile a una trasformazione di gauge con $\hat{i}\hat{k} = j$ e $ij = \widehat{kj}$ ([16]);
c) nella teoria delle interazioni elettrodeboli a questi due generatori viene attribuita la azione della particella W.
Questi eventi, messi assieme, conducono a ritenere possibile una teoria matematica delle interazioni elettrodeboli senza l'intervento del bosone di Higgs.
Precisamente una teoria che possa essere sviluppata dapprima facendo riferimento al caso "visibile" dei campi elettromagnetici, e poi riportata nell'ambito delle particelle elementari.

Bibliografia

[1] D. Hestenes “A unified language for Mathematics and Physics”, in “Clifford Algebras and their Applications in Mathematical Physics”, NATO ASI Series, Reidel (1986)
[2] C. Doran et al.,”States and Operators in the Spacetime Algebra”, Found. Phys. 23(9), 1239 (1993)
[3] D. Hestenes, “Space time algebra”, Gordon and Breach (1966)
[4] S. Gull et al., “Imaginary numbers are not real – the geometric algebra of spacetime”, Found. Phys. 23(9):1175, (1993)
[5] W. Pauli, “Teoria della relatività”, Boringhieri (1958)
[6] M.I. Skolnik, “Radar Handbook”, Mc Graw Hill (1970)
[7] S. Ramo, J. R. Whinnery, T. van Duzer, “Fields and Waves in Communication Electronics”, John Wiley (1994)
[8] D. Hestenes, “Quantum mechanics from self – interaction”, Found. Phys. 15, 63-87 (1985)
[9] D. Hestenes, “Zitterbewegung modeling”, Found. Phys. 23, 365-387,(1993)
[10] D Hestenes, “The zitterbewegung interpretation of quantum mechanics”, Found. Phys. 20, 1213-1232 (1990)
[11] D. Hestenes, “Clifford Algebra and the interpretation of quantum mechanics”, in “Clifford Algebras and their Applications in Mathematical Physics”, NATO ASI Series, Reidel (1986)
[12] D. Hestenes, “Space-time structure of weak and electromagnetic interactions”, Found. Phys. 12, 153-168 (1982)
[13] D. Hestenes, “Mysteries and Insights of Dirac Theory”, available on line at http://modelingnts.la.asu.edu .
[14] D. Hestenes, “Spacetime calculus”, available on line at http://modelingnts.la.asu.edu .
[15] G. Bettini, “Clifford Algebra and Dirac equation for TE, TM in waveguide” or “Algebra di Clifford ed equazione di Dirac per i campi in guida”, see viXra.
[16] G. Bettini, “TE, TM, TEM and electroweak interactions” or “TE, TM, TEM e interazioni elettrodeboli”, see viXra.