

LE INTERPRETAZIONI DELLE VERIFICHE SPERIMENTALI DELLA 'DILATAZIONE DEL TEMPO' 1960-1975 (CIRCA)

1 Introduzione

Nella evoluzione storica della fisica è possibile individuare processi di radicamento di opzioni filosofiche, di scelte ontologiche e di punti di vista caratterizzati dalla loro natura `non razionale': la diffusione della conoscenza considerata acquisita - costituita dall'insieme di teorie e risultati sperimentali - è infatti sovente accompagnata da quella dei punti di vista, delle scelte filosofiche e ontologiche che hanno contraddistinto la nascita, lo sviluppo e l'affermazione delle teorie e l'interpretazione degli esperimenti. La non razionalità di questi processi di radicamento non è dovuta ai loro contenuti filosofici o ontologici, ma al fatto che sono processi spontanei, non controllati e non sottoposti a verifica: il loro esito è negativo perché introducono nella scienza e nella immagine del mondo che essa produce elementi di irrazionalità che ne offuscano l'immagine e ne intralciano lo sviluppo.

In un altro lavoro abbiamo analizzato il fenomeno di radicamento della teoria elettromagnetica e dei suoi presupposti filosofici e ontologici nei manuali di elettromagnetismo contemporanei.[\[608\]](#) Presentiamo qui una analisi riguardante la ricerca di frontiera e coinvolgente un concetto - quello di tempo - le cui implicazioni sono state di ampia portata nella storia del pensiero e delle immagini del mondo.

2 Gli esperimenti e la loro interpretazione

La scoperta dell'effetto Mössbauer e la crescente disponibilità di orologi atomici hanno ridestato, negli anni sessanta, l'interesse per le possibili verifiche sperimentali della cosiddetta "dilatazione del tempo" legata alle trasformazioni di Lorentz, nonché degli effetti della gravitazione sulle misure degli intervalli di tempo, effetti inizialmente previsti dalla relatività generale. Gli esperimenti effettuati possono essere suddivisi in tre classi:

- * misura della vita media di particelle elementari (prevalentemente muoni)

- * esperimenti con fotoni

- * esperimenti con orologi atomici macroscopici

- * effetti della gravitazione su orologi e fotoni

Abbiamo analizzato i lavori sperimentali in cui vengono descritti e interpretati gli esperimenti e i lavori teorici di supporto o integrazione ai lavori sperimentali medesimi. Rinviando ad un prossimo scritto il compito di discutere approfonditamente i singoli articoli e di presentare le argomentazioni che hanno costituito la struttura portante del nostro lavoro, riportiamo qui sinteticamente le conclusioni cui siamo pervenuti.

21 Il punto di vista corrente

Il quadro interpretativo che emerge dalla lettura dei lavori citati nella bibliografia é sicuramente

complesso e non riducibile a schemi. E' tuttavia possibile individuare gli elementi che appartengono a questo quadro, precisando che essi non sono, in generale, tutti contemporaneamente presenti:

1. le teorie fisiche descrivono esattamente come il mondo funziona (assunzione implicita)
2. il tempo é una grandezza fisica (o entità) reale (assunzione implicita)
3. un approccio lorentziano, cioè viene assunto - implicitamente - un sistema di riferimento privilegiato
4. gli orologi in moto rettilineo uniforme rispetto ad un sistema di riferimento inerziale rallentano, cioè il loro periodo fondamentale aumenta
5. la gravitazione produce gli stessi effetti su qualunque orologio
6. non c'è alcun effetto della accelerazione sulla energia dei fotoni e sugli orologi
7. principio di equivalenza (debole)

2.2 Esperimenti con particelle elementari

Essi sono, essenzialmente, di due tipi:

a) misura della vita media di particelle in moto rettilineo uniforme

b) misura della vita media di particelle in moto circolare uniforme (quindi sottoposti ad accelerazione)

I relativi lavori sono caratterizzati dal fatto che i risultati sperimentali vengono descritti mediante la formula (diretta conseguenza delle trasformazioni di Lorentz):

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (1)$$

ma vengono interpretati sulla base dell'assunto 4. E' facile mostrare che tale assunto porta immediatamente alla (1), senza naturalmente far uso delle trasformazioni di Lorentz. L'uso congiunto di tale assunto e delle trasformazioni di Lorentz conduce invece alla relazione:

$$\Delta t = F \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (2)$$

dove il parametro F lega tra di loro i periodi fondamentali dei due orologi mediante la relazione $T'' = FT$ e dove, nei casi in esame, $F = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2}$.

I lavori del tipo b) mostrano inoltre che la vita media dei muoni non dipende dalla accelerazione (pari a $10^{18}g$) cui sono sottoposti [1]. Questo risultato é di grande rilevanza perché mostra che - assunta la validità del principio di equivalenza debole - l'assunto 5 del punto di vista corrente non é conforme all'esperimento, essendo noto che il periodo fondamentale degli orologi atomici dipende dal potenziale gravitazionale.

2.3 Esperimenti con fotoni

Questi esperimenti utilizzano l'effetto Mössbauer, cioè la emissione e l'assorbimento di fotoni

[gamma] senza rinvio. Essi sono, essenzialmente, di due tipi:

I sorgente e rivelatore a temperature diverse

II sorgente e rivelatore su un disco in rotazione uniforme (a distanze diverse dall'asse di rotazione)

I risultati sperimentali vengono interpretati come dovuti all'effetto Doppler trasversale, assumendo implicitamente un punto di vista lorentziano (sistema di riferimento privilegiato). Si ottiene così un'equazione asimmetrica rispetto allo scambio tra rivelatore e sorgente. Tale asimmetria è conforme ai dati sperimentali, ma è incompatibile con l'effetto Doppler. In entrambi i casi, i risultati sperimentali - asimmetrici rispetto allo scambio tra sorgente e rivelatore - sono descrivibili in termini di effetto della accelerazione (campo pseudogravitazionale) dei nuclei sulla energia dei fotoni emessi (nel caso I i risultati sono equivalentemente descrivibili in termini di conservazione della massa - energia). Come illustrazione di quanto qui sostenuto, si consideri il caso II. Se si assume come sistema di riferimento (privilegiato) quello del laboratorio e i punti 4 e 6 del 'punto di vista corrente', si ottiene una formula in cui compare la differenza dei quadrati delle velocità della sorgente e del rivelatore: $\omega^2(\alpha_1^2 - \alpha_2^2)$, essendo ω la velocità angolare del disco; viceversa, se si trattasse di effetto Doppler trasversale, dovrebbe intervenire il quadrato della velocità relativa tra sorgente e rivelatore, cioè l'espressione $\omega^2(\alpha_1^2 + \alpha_2^2 - 2\alpha_1\alpha_2)$; $v \ll c$. Si noti come la prima espressione descriva un effetto che cambia di segno scambiando la sorgente con il rivelatore, mentre la seconda sia invariante rispetto a questo scambio.

2.4 Esperimenti con orologi macroscopici

L'esperimento preso in considerazione è quello di Hafele e Keating [8][9][10]. Gli autori interpretano i risultati sperimentali come dovuti agli assunti 4, 5 e 6 del 'punto di vista corrente'. I risultati debbono invece essere descritti sulla base della influenza della accelerazione e della gravità sulla energia dei fotoni (e quindi sugli orologi atomici).

2.5 Gravità e fotoni

In questo caso i problemi interpretativi non sono rilevanti. E' solo opportuno sottolineare che l'effetto della gravitazione sull'energia dei fotoni e sugli orologi atomici è descrivibile, per campi gravitazionale deboli $\varphi \ll c^2$, semplicemente utilizzando il concetto da massa a riposo della relatività ristretta.

3 Conclusioni

Lo studio effettuato ci permette di concludere che, nel periodo considerato, le interpretazioni dei risultati sperimentali riguardanti la 'dilatazione del tempo' sono state effettuate all'interno di 'un punto di vista' segnato da stratificazioni concettuali, filosofiche e ontologiche di natura tale da produrre un esito contraddittorio e incompatibile con l'insieme della conoscenza acquisita.

Bibliografia

- [1] Bailey J. et al., 'Measurements of Relativistic Time Dilatation for Positive and Negative Muons in a Circular Orbit', *Nature*, 268 (1977), 301 - 5.
- [2] Bennewitz F., 'Concerning the Experimental Verification of the Theory of Relativity by Means of the Mössbauer Effect', *Physics Letters*, 19 (1965), 282 - 83.
- [3] Champeney D.C., Moon P.B., 'Absence of Doppler Shift for Gamma Ray Source and Detector on Same Circular Orbit', *Proceedings of the Physical Society*, 77 (1961), 350 - 52.

- [4] Champeney D.C., Isaak G.R., Khan A.M., 'A Time Dilatation Experiment Based on the Mössbauer Effect', *Proceedings of the Physical Society*, 85 (1965), 583 - 93.
- [5] Cocke W.J., 'Relativistic Corrections for Terrestrial Clock Synchronization', *Physical Review Letters*, 16 (1966), 662 - 64.
- [6] Josephson B.D., 'Temperature - Dependent Shift of Gamma Rays Emitted by a Solid', *Physical Review Letters*, 4 (1960), 341 - 42.
- [7] Hafele J.C., 'Relativistic Behaviour of Moving Terrestrial Clocks', *Nature*, 227 (1970), 270 - 71.
- [8] Hafele J.C., 'Relativistic Time for Terrestrial Circumnavigations' *American Journal of Physics*, 40 (1972), 81 - 85.
- [9] Hafele J.C., Keating R.E., 'Around - the - World Atomic Clocks: Predicted Relativistic Time Gains', *Science*, 177 (1972), 166 - 68.
- [10] Hafele J.C., Keating R.E., 'Around - the - World Atomic Clocks: Observed Relativistic Time Gains', *Science*, 177 (1972), 168 - 70.
- [11] Hay H.J., Schiffer J.P., Cranshaw T.E., Egelstaff P.A., 'Measurement of the Red - Shift in an Accelerated System Using the Mössbauer Effect', *Physical Review Letters*, 4 (1960), 165.
- [12] Kündig W., 'Measurement of the Transverse Doppler Effect in an Accelerated System', *Physical Review*, 129 (1963), 2371 - 75.
- [13] Lee E.T.P., Ma S.T., 'Relativistic Doppler Effect', *Proceedings of the Physical Society*, 79 (1962), 445 - 47.
- [14] Pathria R.K., 'Relativistic Behaviour of Circumnavigating Clocks', *Nature*, 241 (1973), 263.
- [15] Pound R.V., Rebka G.A. jr., 'Gravitational Red - Shift in Nuclear Resonance', *Physical Review Letters* 3 (1959), 439 - 41.
- [16] Pound R.V., Rebka G.A. jr., 'Variation with Temperature of the Energy of Recoil - Free Gamma Rays from Solids', *Physical Review Letters*, 4 (1960), 274 - 5.
- [17] Pound R.V., Rebka G.A. jr., 'Apparent Weight of Photons', *Physical Review Letters*, 4 (1960), 337 - 41.
- [18] Pound R.V., Snider J.L., 'Effect of Gravity on Gamma Radiation', *Physical Review*, 140 (1965), 788 - 803.
- [19] Rossi B., Hall D.B., 'Variation of the Rate Decay of Mesotrons with Momentum', *Physical Review*, 59 (1941), 223 - 28.
- [20] Schlegel R., 'Flying Clocks and the Sagnac Effect', *Nature*, 242 (1973), 180.
- [21] Sherwin C.W., 'Some Recent Experimental Tests of the "Clock Paradox"', *Physical Review*, 120 (1960), 17 - 21.

[608] Vedi, in questi Atti: M. Antoniazzi e G. Giuliani, *Il concetto di campo nei manuali di elettromagnetismo*.