1. RICHIAMO DEI FONDAMENTI DELLA MECCANICA CLASSICA.

Per una comprensione profonda dei concetti fondamentali della Teoria della Relatività Ristretta (TR) è necessario avere ben chiari i principi della meccanica newtoniana.

I concetti da tenere presenti non sono molti: essi si riducono sostanzialmente a due complessi di nozioni. Il primo è costituito da:

I tre principi fondamentali, che conviene qui ricordare nella seguente forma sintetica:

a) Prima legge o principio d'inerzia, che postula l'esistenza delle terne inerziali, cioé delle terne in cui un elemento materiale isolato si muove di moto rettilineo uniforme.

b) Seconda legge, in base alla quale le forze scambiate fra due elementi che costituiscono un sistema isolato, formano in ogni istante una coppia di braccio nullo.

c) Terza legge o principio di sovrapposizione delle forze.

E' opportuno spendere qualche parola a proposito delle forze scambiate fra due elementi. La seconda legge è tradotta parzialmente [(1)] in formule dalle "equazioni del moto" dei due elementi:

$$m_1\vec{a}_1 = \vec{f}\,(OP_1;OP_2,\ \vec{v}_1;\vec{v}_2) \qquad (\text{vers}\ \vec{f} = \pm\ \text{vers}\, P_1P_2\ )$$
$$m_2\vec{a}_2 = -\ \vec{f}(OP_1;OP_2;\vec{v}_1;\vec{v}_2)$$

dove $OP_i, \vec{v}_i, \vec{a}_i, m_i$ $(i=1,2)$ sono rispettivamente il vettore di posizione, la velocità, l'accelerazione, la massa dell'i^{mo} elemento ed $\vec{f}$ è la forza che l'elemento 2 esercita sull'elemento I.

---

(1) Dalle equazioni non risulta che vers $\vec{f} = \pm$ vers P_1P_2

In termini espliciti, la forza agente sull'elemento 1 all'istante t è

$$\vec{f}[OP_1(t),\ OP_2(t),\ \vec{v}_1(t),\ \vec{v}_2(t)].$$

Questo equivale a dire che la forza che l'elemento 1 risente all'istante t da parte dell'elemento 2 dipende dalla posizione e dalla velocità che l'elemento 2 possiede in quello stesso istante.

In altri termini l'azione esercitata dall'elemento 2 sull'elemento 1 si propaga istantaneamente, ossia ha velocità infinita.

Ora nessuna grandezza fisica ha valore infinito: d'altra parte la meccanica classica, che poggia sulle equazioni citate e sulle loro conseguenze, è ben verificata sperimentalmente, almeno nei fenomeni di moto ordinari. Bisogna dunque conciliare due fatti antitetici: la velocità di propagazione delle interazioni deve essere finita e contemporaneamente sembrano essere valide leggi di forza che implicano invece un valore infinito per tale velocità.

La soluzione di questa apparente contraddizione sta nel fatto che la velocità di propagazione delle interazioni è molto maggiore delle velocità con le quali si muovono i corpi nei fenomeni ordinari di moto.

Si consideri per esempio un sistema isolato costituito da due elementi. Si indichino con $r(t)$ la distanza fra gli elementi e con c la velocità di propagazione della interazione. Se c è molto maggiore delle velocità massime degli elementi, nell'intervallo di tempo, presumibilmente dell'ordine di $\frac{r(t)}{c}$, impiegato dall'interazione per "passare" da un elemento all'altro, i due elementi si spostano di tanto poco, che la differenza dei valori che la forza assume all'istante t_1 di partenza dell'interazione o all'istante t_2 di arrivo di questa, rientra largamente nelle approssimazioni consentite o negli errori sperimentali. Per es. se $|\vec{v}_i|/c \ll 1$ si ha

$$OP_i(t_2) \simeq OP_i(t_1) + \vec{v}_i \Delta t \equiv OP_i(t_1) + \frac{r}{c}\vec{v}$$

e, per valori non troppo grandi di r, può accadere che la differenza fra $OP_i(t_2)$ e $OP_i(t_1)$ sia trascurabile.

In questo caso introdurre nelle equazioni del moto la quantità

$$\vec{f}[OP_1(t_2)\ OP_2(t_1)\ \vec{v}_1(t_2)\ \vec{v}_2(t_1)] \quad o \quad \vec{f}[OP_1(t_1) OP_2(t_1) \vec{v}_1(t_1) \vec{v}_2(t_1)]$$

non porta differenze sostanziali.

Da quanto detto risulta chiaro anche che le interazioni sono istantanee in senso stretto se e solo se gli elementi sono a contatto ($OP_2-OP_1 = 0$).

Quando è lecito assumere un valore infinito per la velocità di propagazione delle interazioni, il tempo assume un carattere "assoluto" e cioé è lo stesso per tutti gli osservatori (vedere n.4).

Il secondo complesso di nozioni è connesso con

2) <u>L'invarianza in forma delle equazioni di moto rispetto a trasformazioni che facciano passare da un riferimento inerziale ad un altro</u>. Nei riferimenti inerziali lo spazio e il tempo sono omogenei e isotropi in relazione ai moti dei sistemi isolati.Queste proprietà sono equivalenti a certe forme di dipendenza delle forze (effettive) dalle variabili di posizione e di velocità degli elementi del sistema materiale isolato e dal tempo (da questo ultimo le forze non dipendono esplicitamente, mentre dai vettori di posizione dipendono soltanto per il tramite di tutte le possibili differenze OP_i-OP_k, e analogamente per le velocità).

Va infine tenuto presente che tutte le proprietà ricordate sono proprietà di tutti i riferimenti inerziali e quindi questi, dal punto di vista meccanico, non sono distinguibili mediante esperienze mec caniche effettuate nel loro interno. Perciò nella meccanica classica non esiste uno spazio privilegiato, o "assoluto": gli spazi di tutti i riferimenti inerziali sono "assoluti".

L'espressione matematica della indistinguibilità dei riferimenti inerziali sta nel fatto che una trasformazione di coordinate che faccia passare da un riferimento inerziale ad un altro, lascia invariate le equazioni del moto. Se la velocità relativa di due riferimenti inerziali è parallela alla comune direzione degli assi x e x' le coordinate $x\ y\ z$, $x'\ y'\ z'$ sono legate alle relazioni:

(1) $$x' = x-vt, \qquad y' = y, \qquad z' = z .$$

Come si vede si è tacitamente assunto che il tempo sia "universale". Questo è conseguenza del fatto che le interazioni si propagano con velocità infinita (vedere n.4).

L'equivalenza dei riferimenti inerziali o, se si vuole, l'invarianza delle equazioni del moto, rispetto alle trasformazioni (1), prende il nome di "principio di relatività galileiana" (v. per es.[1] n°7).

2. DIFFICOLTA' DELLA FISICA CLASSICA.

Come si è accennato al n. 1 il principio di relatività galileiana è perfettamente soddisfacente nel campo della meccanica dei corpi macroscopici. Naturalmente soddisfacenti sono anche le sue premesse e cioé l'esistenza di un tempo unico per tutti gli osservatori (tempo assoluto) o,in modo equivalente,l'ipotesi di velocità infinita di propagazione delle interazioni. Si è pure detto che questo stato di cose è conseguenza del fatto che rispetto alla velocità di spostamento dei corpi macroscopici con i quali si ha a che fare nei moti ordinari, la velocità di propagazione delle interazioni è così grande che assumer-