LE TRE RELATIVITÀ

1 - QUELLA DI GALILEO

AIF - 24 SETT. 2014

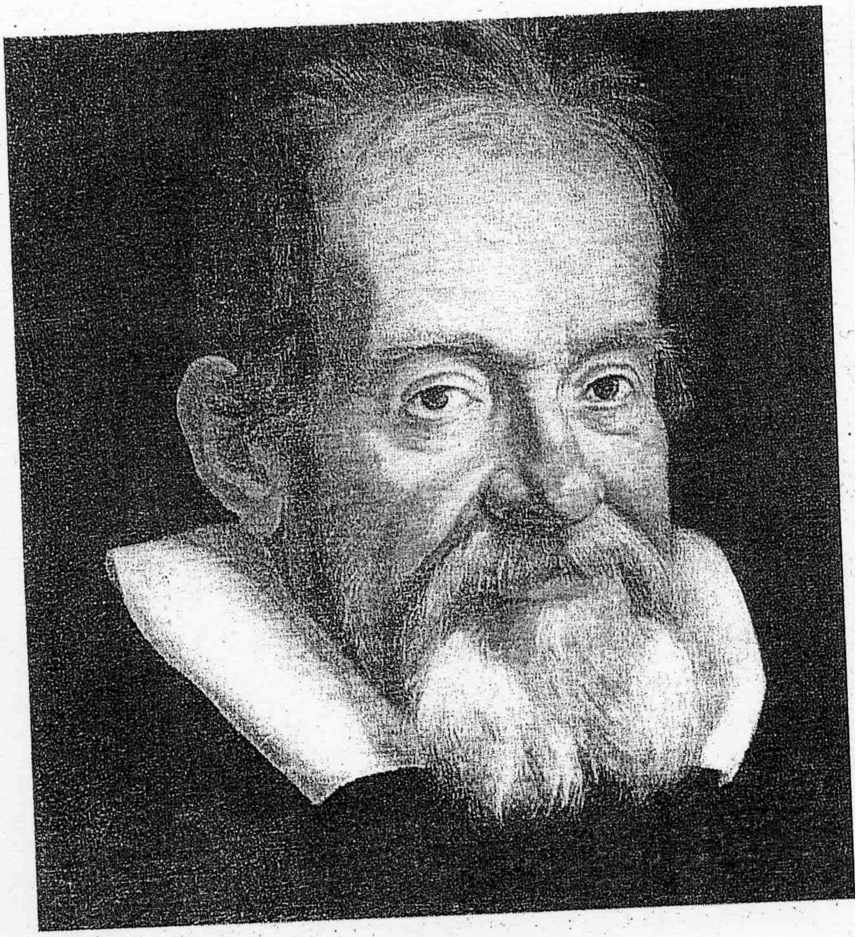
A. PIAZZOLI

MENU

1 - BREVE BIOGRAFIA DI GALILEO

- NASCE A PISA IL 15 FEB 1564, PRIMOGENITO DI 6 E MUORE QUASI CIECO AD ARCETRI L'8 GEN 1642.
- SI ISCRIVE A MEDICINA NEL 1581 MA...
- CATTEDRA DI MATEMATICA PRIMA A PISA E POI A PADOVA E POI "MATEMATICO E FILOSOFO DEL GRANDUCA DI TOSCANA".
- OLTRE CHE DI MATEMATICA, SI OCCUPA DI MECCANICA E DI ASTRONOMIA.
- IN PERENNI DIFFICOLTÀ ECONOMICHE.
- CONTRIBUTI IN MECCANICA:
  - PIANO INCLINATO $(s \propto t^2)$
  - PRINCIPIO D'INERZIA E DI <u>RELATIVITÀ</u>.
  - ISOCRONISMO DEL PENDOLO
  - MOTO DEI PROIETTILI.

NOTA: GALILEO, OVVIAMENTE, NON CONOSCEVA LA TEORIA DEGLI ERRORI! MA...



Un ritratto di Galileo conservato all'Accademia dei Lincei.

- CONTRIBUTI IN ASTRONOMIA
  - LA LUNA È "RUGOSA".
  - LA VIA LATTEA È FATTA DI STELLE.
  - GIOVE HA 4 SATELLITI ("MEDICEI").
  - LE FASI DI VENERE.
  - LA ROTAZIONE DELLE MACCHIE SOLARI.

- "CANTONATE": MAREE E COMETE.

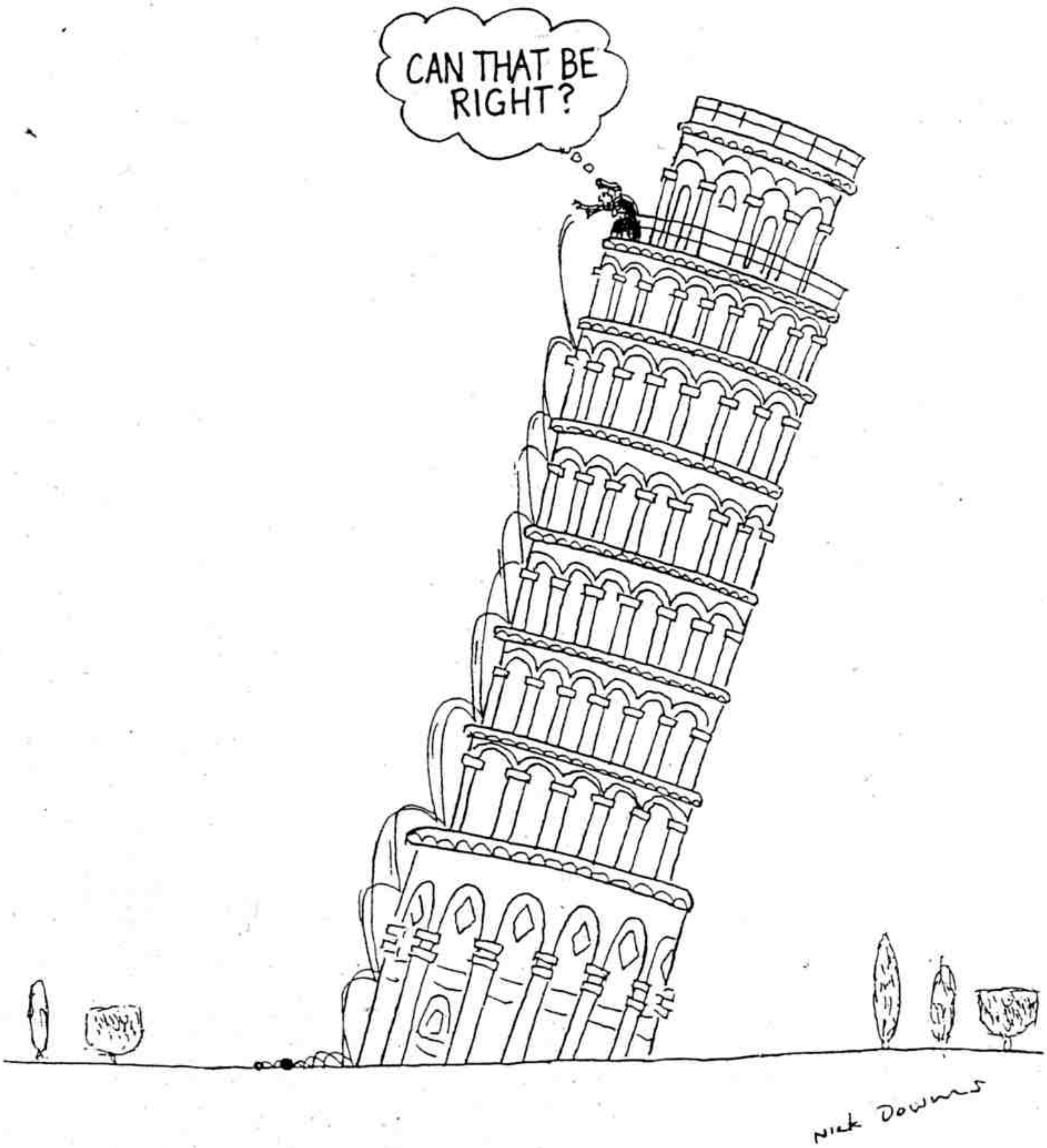
- OPERE: - LA BILANCETTA - SIDEREUS NUNCIUS
  - "DIALOGO" - "DISCORSI" - LETTERA A MARIA CRISTINA DI LORENA.

- 12 APR. 1633: INIZIA IL CELEBRE PROCESSO
- 22 GIU 1633: PRONUNCIA LA FAMOSA ABIURA (IN GINOCCHIO).
- FU UN "OPPORTUNISTA" E ARRIVÒ A ELABORARE LA "TEORIA DELLA DOPPIA VERITÀ".

- LEGGENDE: - LA TORRE DI PISA (VEDI 2)
  - LA LAMPADA
  - "EPPUR SI MUOVE".

LETTURA CALDAMENTE SCONSIGLIATA:
"GALILEO IL DIVIN UOMO" DI A. ZICHICHI.

3 bis



2 - LE RELATIVITÀ

- LE TRE RELATIVITÀ SONO... CINQUE!
  - EUCLIDEA (RE)
  - GALILEIANA (RGA)
  - SPECIALE (RS) } EINSTEIN
  - GENERALE (RG) }
  - UNITARIA (RU) NON C'È... ANCORA!

- IL TERMINE RELATIVITÀ È IMPROPRIO, INTRODOTTO DA PLANCK E ACCETTATO DA EINSTEIN: LE R CERCANO L'ASSOLUTO, CIOÈ CIÒ CHE È INVARIANTE IN DIVERSI SISTEMI DI RIFERIMENTO (SR).

- ANCORA: LA CONOSCENZA DI TANTI ASPETTI RELATIVI DI UNA COSA È LA STRADA MAESTRA PER ARRIVARE A UNA CONOSCENZA DI QUELLA COSA.

LETTURA CONSIGLIATA: "RELATIVITÀ, QUANTE STORIE" DI ANTONIO SPARZANI

- TRASFORMAZIONI E "GRUPPI"

RE	E3	(EUCLIDE)
RGA	G	(GALILEO)
RS	L	(LORENTZ)
RG	P	(POINCARÈ)
RU	D	(DIFFEOMORFISMO ?)

3 - IL PRINCIPIO D'INERZIA

(CHE NEWTON ELEVERÀ A 1° PR. DELLA MECCANICA)

- LI RIPORTIAMO TUTTI E TRE NELLA VERSIONE ORIGINALE DI NEWTON:

  - CIASCUN CORPO PERSEVERA NEL PROPRIO STATO DI QUIETE O DI MOTO RETTILINEO UNIFORME, ECCETTO CHE SIA COSTRETTO A MUTARE QUELLO STATO DA FORZE IMPRESSE.

  - IL CAMBIAMENTO DI MOTO È PROPORZIONALE ALLA FORZA MOTRICE IMPRESSA ED AVVIENE LUNGO LA LINEA RETTA SECONDO LA QUALE LA FORZA È STATA IMPRESSA.

  - A OGNI AZIONE CORRISPONDE UNA REAZIONE UGUALE E CONTRARIA.

NOTA: GALILEO NON CONOSCEVA IL 3°, ARISTOTELE ... TUTTI!

- IL 1° PR. È VALIDO SOLO NEI SR INERZIALI (SRI) LA CUI DEFINIZIONE, TAUTOLOGICA, PUÒ ESSERE: I SRI SONO QUELLI IN CUI È DI FATTO VERIFICATO IL 1° PR.!

MA ... VEDI DOPO.

NOTA : PRIMA SI PENSAVA CHE IL MOTO "NATURALE" FOSSE IL CIRCOLARE UNIFORME

4 - IL PRINCIPIO DI RELATIVITÀ DI GALILEO

(QUALCUNO SOSPETTA CHE GALILEO NON FOSSE CONSAPEVOLE DELL'IMPORTANZA DI QUESTO PRINCIPIO)

- È MIRABILMENTE ESPRESSO NEL CELEBRE ARGOMENTO "DELLA NAVE" CHE SI TROVA NELLA SECONDA GIORNATA DEL "DIALOGO" IN BOCCA A SALVIATI, RIPORTATO INTEGRALMENTE A pg 7.

- IL SUGO È CHE SE LA NAVE È IN MOTO RETTILINEO UNIFORME, NON È POSSIBILE ALCUNA OSSERVAZIONE SPERIMENTALE A BORDO CHE NE EVIDENZI IL MOTO.

- LA NAVE COSTITUISCE UN SRI E TUTTI GLI SR IN QUIETE O IN MOTO RETTILINEO UNIFORME RISPETTO A UN SRI SONO ANCH'ESSI SRI. CIOÈ LA MECCANICA È INVARIANTE PER LE "TRASFORMAZIONI DI GALILEO", CHE SONO LE SEGUENTI ;

NOTA: PRIMA SI PENSAVA CHE IL MOTO "NATURALE" FOSSE IL CIRCOLARE UNIFORME

4 - IL PRINCIPIO DI RELATIVITÀ DI GALILEO

(QUALCUNO SOSPETTA CHE GALILEO NON FOSSE CONSAPEVOLE DELL'IMPORTANZA DI QUESTO PRINCIPIO)

- È MIRABILMENTE ESPRESSO NEL CELEBRE ARGOMENTO "DELLA NAVE" CHE SI TROVA NELLA SECONDA GIORNATA DEL "DIALOGO" IN BOCCA A SALVIATI, RIPORTATO INTEGRALMENTE A pg 7.

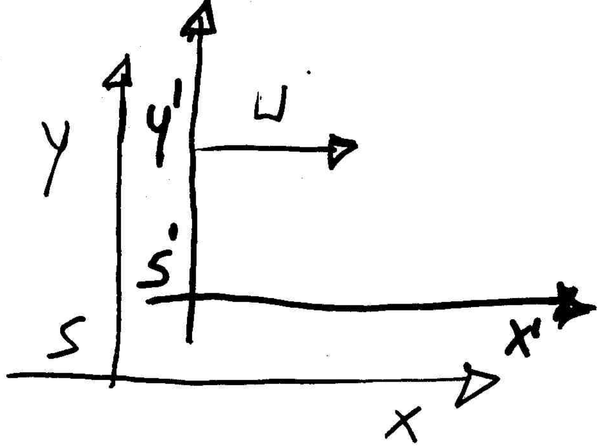
- IL SUGO È CHE SE LA NAVE È IN MOTO RETTILINEO UNIFORME, NON È POSSIBILE ALCUNA OSSERVAZIONE SPERIMENTALE A BORDO CHE NE EVIDENZI IL MOTO.

- LA NAVE COSTITUISCE UN SRI E TUTTI GLI SR IN QUIETE O IN MOTO RETTILINEO UNIFORME RISPETTO A UN SRI SONO ANCH'ESSI SRI. CIOÈ LA MECCANICA È INVARIANTE PER LE "TRASFORMAZIONI DI GALILEO", CHE SONO LE SEGUENTI;

7

"LA NAVE"

Riserratevi con qualche amico nella maggiore stanza che sia sotto coverta di alcun gran navilio, e quivi fate d'aver mosche, farfalle e simili animaletti volanti; siavi anco un gran vaso d'acqua, e dentrovi de' pescetti; sospendasi anco in alto qualche secchiello, che a goccia a goccia vadia versando dell'acqua in un altro vaso di angusta bocca, che sia posto a basso: e stando ferma la nave, osservate diligentemente come quelli animaletti volanti con pari velocità vanno verso tutte le parti della stanza; i pesci si vedranno andar notando indifferentemente per tutti i versi; le stille cadenti entreranno tutte nel vaso sottoposto; e voi, gettando all'amico alcuna cosa, non più gagliardamente la dovrete gettare verso quella parte che verso questa, quando le lontananze sieno eguali; e saltando voi, come si dice, a piè giunti, eguali spazii passerete verso tutte le parti. Osservate che avrete diligentemente tutte queste cose, benché niun dubbio ci sia che mentre il vassello sta fermo non debbano succeder così, fate muover la nave con quanta si voglia velocità; ché (pur che il moto sia uniforme e non fluttuante in qua e in là) voi non riconoscerete una minima mutazione in tutti li nominati effetti, né da alcuno di quelli potrete comprender se la nave cammina o pure sta ferma.



NEL CASO PARTICOLARE IN CUI $X' \parallel X$ E $U \parallel X, X'$

(GENERALIZZAZIONI BANALI)

$$x' = x - Vt \qquad V'_x = V_x - U$$
$$y' = y \qquad a' = a$$
$$t' = t \qquad m' = m$$

X E Y SONO LE COORDINATE DI UN CORPO, V_X E V_Y LE COMPONENTI DELLA SUA VELOCITÀ, t IL TEMPO, a L'ACCELERAZIONE, m LA MASSA.

5 - IL PROBLEMA DEL SRI

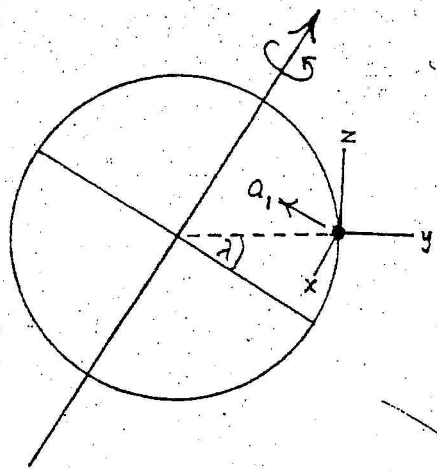
- LA NAVE DI GALILEO NON È A RIGORE UN SRI PERCHÉ NON LO È NEPPURE LA TERRA. FORSE POSSIAMO RITENERLI TALI PER BREVI PERIODI DI OSSERVAZIONE, PERÒ IL PROBLEMA APPARE SUBITO COMPLESSO E LA DEFINIZIONE TAUTOLOGICA NON CI BASTA PIÙ: COME FACCIAMO A DISPORRE DI UN CORPO NON SOGGETTO AD ALCUNA FORZA? FORSE SE È MOLTO LONTANO DA QUALSIASI ALTRO CORPO, PERÒ ...

- UN SR È INERZIALE SE È IN QUIETE O IN MOTO R.U. RISPETTO A... (TENTATIVI):
  - IL SOLE O "IL CIELO DELLE STELLE FISSE". PERÒ NON SONO... FISSE (VEDI pag. 10)
  - LA MEDIA DELLE NEBULOSE LONTANE (VELOCITÀ TRASCURABILE RISPETTO A QUELLA DI RECESSIONE): "SECCHIO DI NEWTON", "PRINCIPIO DI MACH"... (EINSTEIN LO FARÀ SUO)
  - IL FONDO ISOTROPO: "UN SRI È QUELLO IN CUI NON SI OSSERVA ALCUN EFFETTO DOPPLER NEL FONDO ISOTROPO. (VEDI 11)

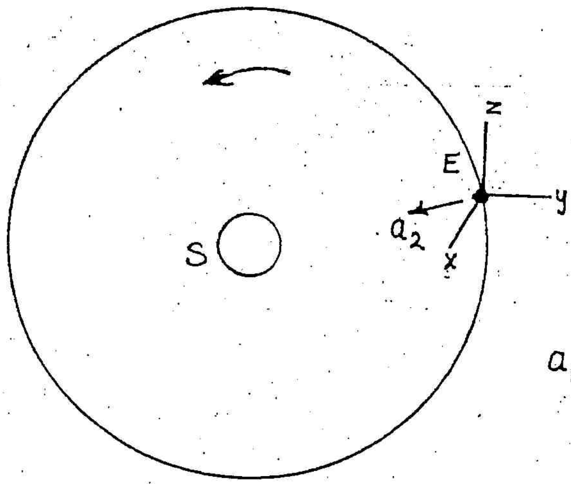
Accelerations of our Laboratory reference frame

(a) Acceleration toward earth's axis of rotation :

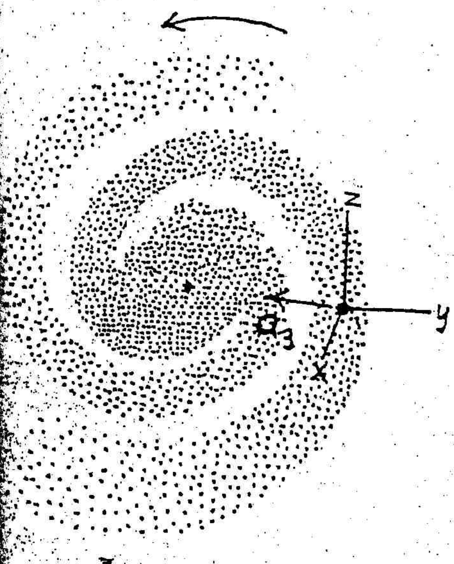
$$a_1 \approx 3.4 \times 10^{-2} \cos\lambda \quad m/sec^2$$



(b) Acceleration toward sun

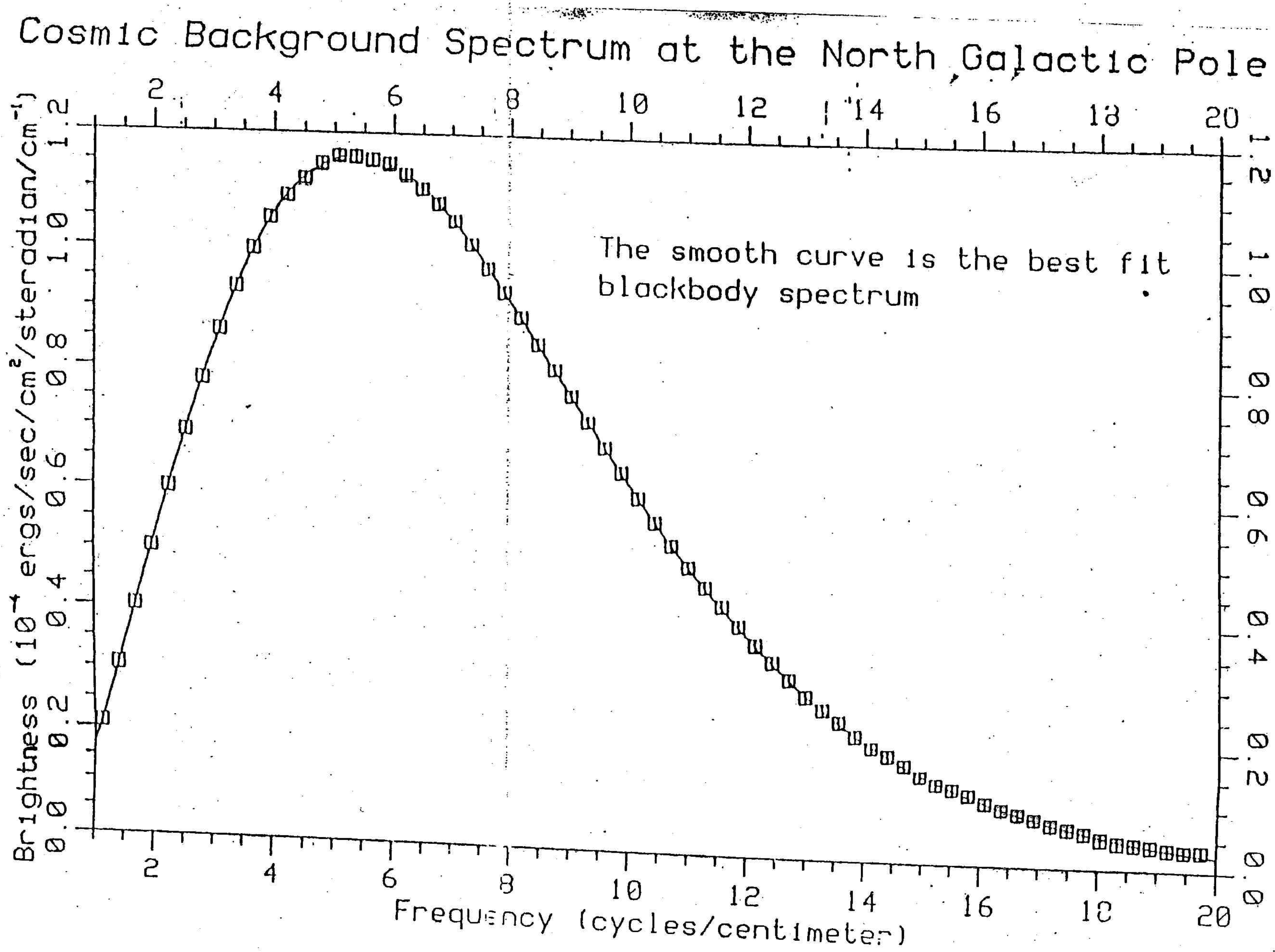


$$a_2 \approx 5.9 \times 10^{-3} \quad m/sec^2$$



(c) Acceleration toward center of Galaxy :

$$a_3 \approx 10^{-10} \quad m/sec^2$$



COBE (LANC. '89) $T = 2.728 \pm 0.002$ K

OPPURE LA DEFINIZIONE DI BRIDGMAN CHE QUI RIPORTIAMO DA UN AM. J. PHYS DEL 1961:

... «Un sistema formato da tre assi ortogonali rigidi è galileiano se tre particelle con massa diversa da zero, lanciate lungo i tre assi con velocità arbitrarie, continuano a muoversi in quelle direzioni con velocità costanti. I nostri laboratori terrestri non costituiscono sistemi galileiani, ma è possibile costruirne uno misurando nei nostri laboratori come tre masse, lanciate arbitrariamente, deviano dal comportamento che si pretendeva... e incorporando queste deviazioni, come correzioni in senso contrario, nelle condizioni richieste per il sistema galileiano. Non occorre fare alcun riferimento alle stelle per descrivere correttamente il comportamento dei corpi; basta riferirsi a situazioni osservabili da vicino, come la rotazione del piano del pendolo di Foucault rispetto alla terra o come la deviazione dalla verticale della traiettoria di un corpo che cade. Anche se l'addetto ai razzi, che sta tentando di porre in orbita un satellite, trova conveniente fare alcune specificazioni riferendosi alla stella polare, è ovvio che il suo apparecchio alla fine deve essere descritto con riferimento alla terra... In un sistema galileiano un corpo girevole, dopo che è stato messo in rotazione e tutte le forze sono state tolte, conserva l'orientamento del suo piano di rotazione e, di conseguenza, mantiene inalterata la direzione del suo asse di rotazione».

P. WILLIAMS BRIDGMAN (1882–1961)

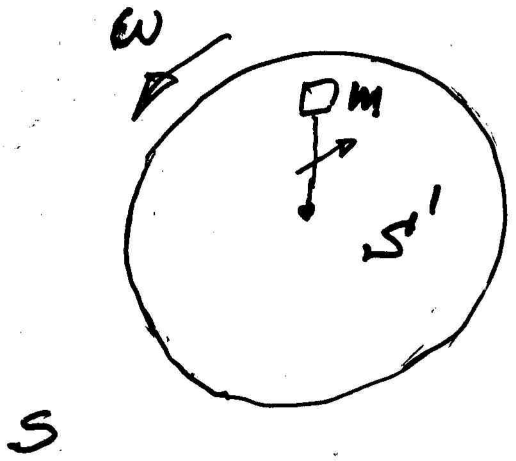
6 - LE FORZE APPARENTI

- CENTRIFUGA F_{CF}
- CORIOLIS F_C

$\boxed{\text{NON ESISTONO NEI SRI}}$

- TRATTAZIONE INTUITIVA

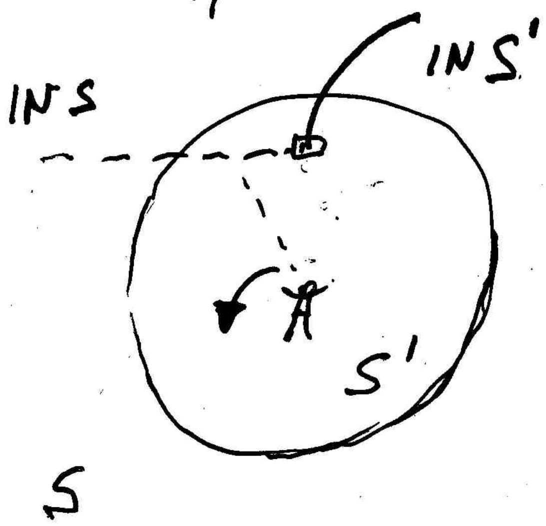
- DISCO ROTANTE



IN S ; $F_{CP} = m\omega^2 r$ E... BASTA!

IN S' ; $F_{CP} = -F_{CF}$

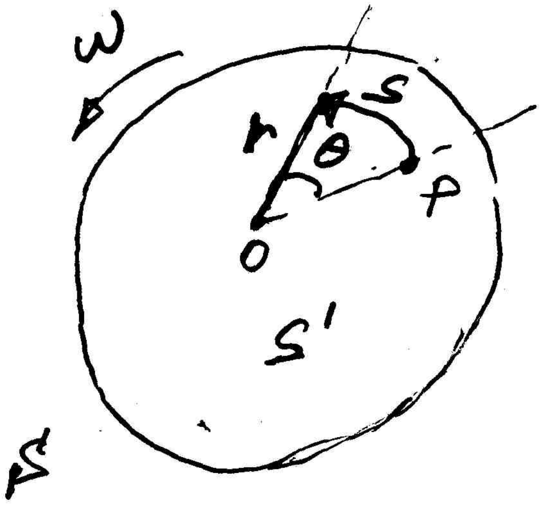
- TAGLIO DELLA FUNE



IN S : $F = 0 \rightarrow$ FUGA TANGENZ.

IN S' : FUGA RADIALE, MA...
A DESTRA (F_C)

• DERIVAZIONE DI F_c



$V_P = r\omega$ (P = PUNTO FISSO)

IN UN TEMPO t UN CORPO LANCIATO DA O CON V' PERCORRE UNA DISTANZA RADIALE $V't$ E IL PUNTO FISSO P UN ARCO $S = r\omega t$

$$\to S = V't\omega t = \omega V' t^2 = \frac{1}{2}\underbrace{(2\omega V')}_{= a_c \text{ (CORIOLIS)}} t^2$$

E $m a_c = F_c$

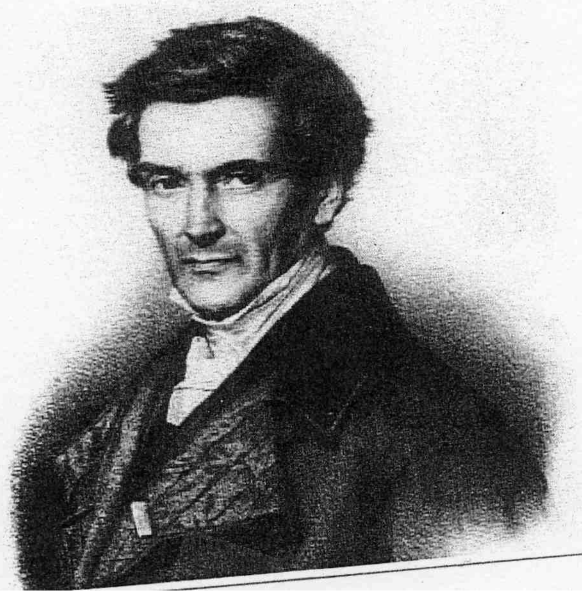
$$\to \vec{F}_c = 2m\vec{V}' \wedge \vec{\omega} \quad \text{("MANO DESTRA")}$$

NOTA : "V'" PER RICORDARE CHE È IN S'

NOTA - ELIOCENTRISMO/GEOCENTRISMO :

IL PUNTO È CHE IL SOLE È ... PIÙ INERZIALE DELLA TERRA E QUINDI UN SR AD ESSO SOLIDALE È PIÙ COMODO, PIÙ SEMPLICE : LA COVARIANZA DELLA RG CONCEDE DI PROCLAMARE CENTRO DELL'UNIVERSO QUALSIASI PUNTO.

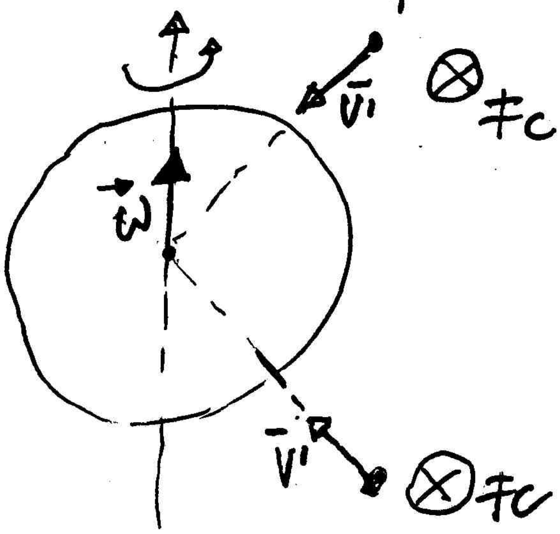
Gustave coriolis



7 - ALCUNE CELEBRI CONSEGUENZE DI F_C

(LA TERRA È UNA PIATTAFORMA ROTANTE)

- CADUTA DEI GRAVI



DEV. A SUD (F_{CF})
A EST (F_C)

DEV. A NORD (F_{CF})
A EST (F_C)

- CICLONI: ANTIORARI NELL'EMISFERO NORD
  ORARI " " SUD

- PRECESSIONE DEL PENDOLO

- MISSILI BALISTICI

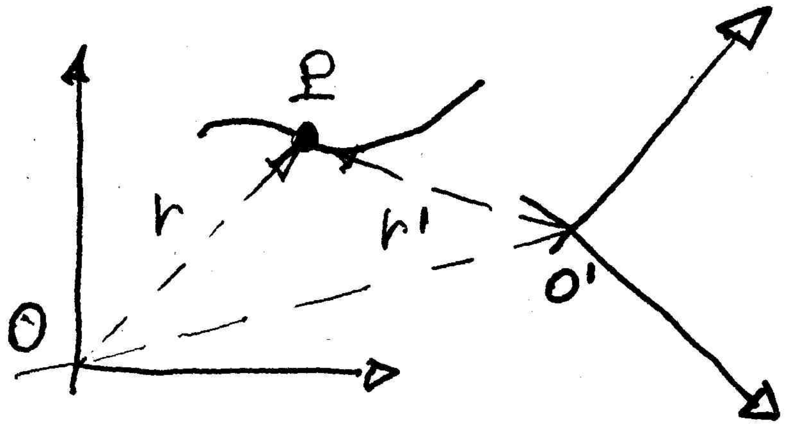
- LAVANDINI ?

NOTA - UNA MISURA DI POLARIZZAZIONE SU STELLE DOPPIE DI PAUL BIRCH NEL 1981 SUGGERÌ CHE L'UNIVERSO POTESSE ESSERE IN ROTAZIONE CON $\omega \sim 10^{-13}$ rad/y.

RISPETTO A CHI? E MACH? NON SO!

- LA MECCANICA RELATIVA

(TRATTAZIONE RIGOROSA, DAL MAZZOLDI)



IN DUE DIMENSIONI

O IN QUIETE

O' MOBILE

P IN MOTO (∼ TRAIETTORIA)

$$\vec{r} = \overrightarrow{OO'} + \vec{r}'$$

NOTA: OVVIAMENTE LA FISICA È INVARIANTE SE O' FOSSE ANCH'ESSO IN QUIETE (LO SONO ANCHE SCALARI, VETTORI, TENSORI)

$$\vec{V} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\vec{u}_x + \frac{dy}{dt}\vec{u}_y$$

$$\vec{V}' = \frac{d\vec{r}'}{dt} = \frac{dx'}{dt}\vec{u}_{x'} + \frac{dy'}{dt}\vec{u}_{y'}$$

$$\vec{V}_{O'} = \frac{d\vec{OO'}}{dt} = \frac{dX_{O'}}{dt}\vec{u}_x + \frac{dY_{O'}}{dt}\vec{u}_y$$

$$\vec{V} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\vec{OO'}}{dt} + \frac{d\vec{r'}}{dt}$$

$$= \frac{dX_{O'}}{dt}\vec{u}_x + \frac{dY_{O'}}{dt}\vec{u}_y \qquad V_{O'}$$

$$+ \frac{dx'}{dt}\vec{u}_{x'} + \frac{dy'}{dt}\vec{u}_{y'} \qquad V'$$

$$+ x'\frac{d\vec{u}_{x'}}{dt} + y'\frac{d\vec{u}_{y'}}{dt}$$

CIOÈ: $\vec{V} = \vec{V}_{O'} + \vec{V'} + \left[x'\frac{d\vec{u}_{x'}}{dt} + y'\frac{d\vec{u}_{y'}}{dt}\right]$

MA, TEOREMA DI POISSON:

$$\frac{d\vec{u}_{x'}}{dt} = \vec{\omega} \wedge \vec{u}_{x'}$$

$$\frac{d\vec{u}_{y'}}{dt} = \vec{\omega} \wedge \vec{u}_{y'}$$

ALLORA:

$$\vec{V} = \vec{V}_{o'} + \vec{V}' + x'\left(\vec{\omega} \wedge \vec{u}_{x'}\right) + y'\left(\vec{\omega} \wedge \vec{u}_{y'}\right)$$

$$= \vec{V}_{o'} + \vec{V}' + \vec{\omega} \wedge \left(x'\vec{u}_{x'} + y'\vec{u}_{y'}\right)$$

$$\longrightarrow \quad \vec{V} = \vec{V}_{o'} + \vec{V}' + \vec{\omega} \wedge \vec{r}' \quad \star$$

$$\left[\quad \vec{V} - \vec{V}' = V_o' + \vec{\omega} \wedge \vec{r}' \equiv V_T \quad \right]$$

V_T = VELOCITÀ DI TRASCINAMENTO

$$\vec{a} = \frac{d^2x}{dt^2}\vec{u}_x + \frac{d^2y}{dt^2}\vec{u}_y$$

$$\vec{a}' = \frac{d^2x'}{dt^2}\vec{u}_{x'} + \frac{d^2y'}{dt^2}\vec{u}_{y'}$$

$$\vec{a}_{o'} = \frac{d\vec{V}_o'}{dt}$$

$$\vdots$$

$$\vec{a} = \vec{a}' + \underbrace{\vec{a}_{o'} + \vec{\omega} \wedge \left(\vec{\omega} \wedge \vec{r}'\right) + \frac{d\vec{\omega}}{dt} \wedge \vec{r}'}_{\text{TRASCINAMENTO}} + \underbrace{2\vec{\omega} \wedge \vec{V}'}_{\text{CORIOLIS}}$$

QUINDI

$$\vec{a} = \vec{a}' + \vec{a}_T + \vec{a}_C$$

$$\rightarrow \quad m\vec{a}' = m\vec{a} - m\vec{a}_T - m\vec{a}_C$$

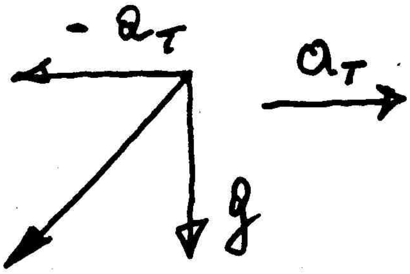
CIOÈ: $\vec{F}' = \vec{F} - \vec{F}_T - \vec{F}_C$ ← CORIOLIS

CONSEGUENZE:

- MOTO RETT. UNIF.: BANALE, TR. DI GALILEO!

- CADUTA DEI GRAVI

$$\vec{a} = \vec{g} \quad \rightarrow \quad \vec{a} = \vec{a}' + \vec{a}_T \rightarrow \vec{a}' = \vec{g} - \vec{a}_T$$



ANCHE FILO A PIOMBO
E... PALLONCINO!

"RAINDROP PROBLEM" (VEDI 21)

21

A THEORETICAL SOLUTION TO THE GREAT RAINDROP PROBLEM

BRUCE WEINER
University of Cincinnati
Department of Chemistry
Cincinnati, Ohio 45221

Abstract. *An equation is obtained for the number of raindrops falling on a model person moving parallel to the road. Relevant and irrelevant cases are discussed. The results are compared to recent experiments.*

INTRODUCTION

From the time man first became aware of rain until the present, he has posed the following question: Should one run or walk in order to minimize the amount of rain drops collected? The answer is clearly relevant, and it provides a common link between basic research and the fruits[1] of applied technology. Extensive early experimental work in this area indicates the continuing interest in this ancient question.[2]

Recent experimental advances involving motion parallel to the road are almost impressive.[3] Although no investigations involving perpendicular motion have been reported, results are encouraging. Seedy[4] has shown unequivocably that the total number of drops collected increases with time. In an elegant set of experiments, Pennywistle[5] showed that a persons weight, including his clothes, increases the longer he remains in the rain. An interesting saturation effect was also observed. Very recently Gnat[6] revolutionized the entire experimental field by using the mathematical technique of counting.

Previous theoretical investigations by Landers[7] and Abby[8] are largely metaphysical in nature. The former advises taking a bus, and the latter suggests delaying the journey until the inclement weather passes. Though helpful in many cases, these solutions are not general. Thus, it is the aim of the current work to present a quantitative solution which can be used to answer relevant questions while running in the rain. A brief version of this work has already appeared.[9]

MODEL ASSUMPTIONS

The method of significant neglect is used to create a model amenable to simple solution. Certain significant factors in a real situation, such as the shape of the person and uneven rainfall, are neglected. Instead consider the parallelopiped (shown in Figure 1) walking down the street. The model person of length ℓ, width w, and height h is traveling with a uniform horizontal speed s_p. Meanwhile raindrops of constant number density ρ are falling vertically with a uniform speed s_d. The model is required to travel a fixed distance D in time t, where $s_p = D/t$. Although arbitrary, the choice of either t or s_p as the independent variable is made for reasons of inconvenience and confusion.

SOLUTION

Consider the number of drops hitting the model during an infinitesimal time dt. Actually, this is too short a time for anything significant to occur. So consider a small but finite time Δt. Now Δt is long compared to dt by definition, yet small compared to the time it took to develop this argument. Thus one arrives rather directly at the pertinent variable t itself. Obviously the number of drops hitting the front of the model must be equal to the density of drops times the volume swept out in time t. Therefore, $N_F = \rho\ell h s_p t$ or $N_F = \rho\ell h D$, which is a constant unless the model is growing. Similarly, the number striking the top is given by $N_T = \rho\ell w s_d t$.

The total number of drops hitting the model is the sum of N_F and N_T or

$$N = \rho\ell h D + \rho\ell w s_d t \qquad (1)$$

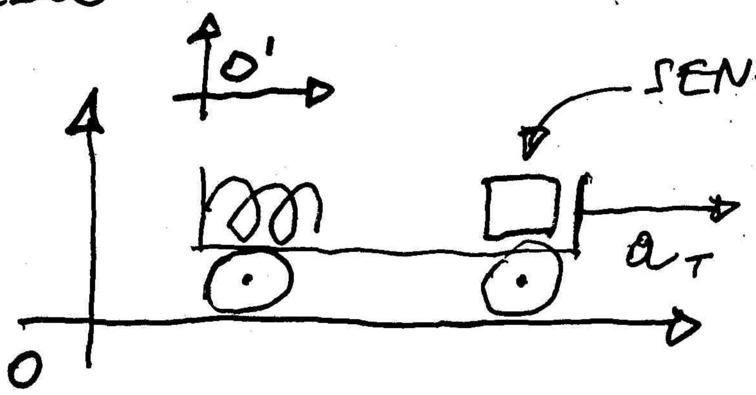
N is plotted in Figure 2 as a function of t and in Figure 3 as a function of s_p for clarity. Since nature is linear, Figure 2 is preferred by most workers in this field.

JOURNAL OF IRREPRODUCEBLE RESULTS

Journal of irreproducible results - Vol. 22, N°4, 17

1973

- CARRELLO



IN O : ☐ FERMO - MOLLA GLI VA INCONTRO E SI COMPRIME - ☐ SI METTE IN MOTO (MA È FERMO IN O')

IN O' : ☐ SI MUOVE CON $-a_T$ - COMPRIME LA MOLLA E SI FERMA - CHI LA COMPRIME ? UNA F APPARENTE $-m a_T$

- ROTAZIONE UNIFORME

COND. INIZIALI : $\vec{a}_{O'} = 0$, $\vec{v}_{O'} = 0$, $\omega = cost$

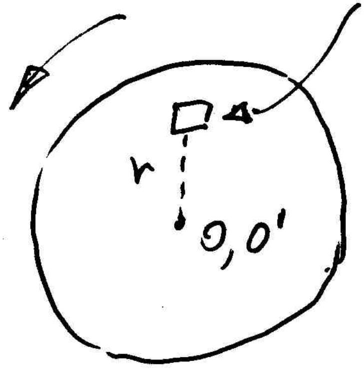
** $\rightarrow$ $\vec{a} = \vec{a}' + \vec{\omega} \wedge (\vec{\omega} \wedge \vec{r}') + 2\vec{\omega} \wedge \vec{v}'$

$\rightarrow$ $F' = \vec{F} - m\vec{\omega} \wedge (\vec{\omega} \wedge r) - 2m\vec{\omega} \wedge \vec{v}'$

| CENTRIFUGA | CORIOLIS |

$-mr\omega^2$

SENZA ATTRITO



IN O: $V_{O'} = 0$ $a_{O'} = 0$ $\omega = cost$

IN O': $\vec{V}' = -\vec{\omega} \wedge \vec{r}$ $(r = r')$

DALLA ✱

DALLA ✱ ✱:

$$\vec{a} = \vec{a}' + \vec{\omega} \wedge (\vec{\omega} \wedge \vec{r}) + 2\vec{\omega} \wedge \vec{V}'$$

$$\vec{F} = \vec{F}' - \vec{F}_{CF} - \vec{F}_C$$

$$\vec{F}_{CF} = -m\vec{\omega} \wedge (\vec{\omega} \wedge \vec{r})$$

$$\vec{F}_C = -2m\vec{\omega} \wedge \vec{V}' \quad (= 2m\vec{V}' \wedge \vec{\omega})$$

ALLORA

IN O $\vec{V} = 0$ $\vec{a} = 0$

IN O' $\vec{V}' = -\vec{\omega} \wedge \vec{r}$, $\vec{a}' = -\vec{\omega} \wedge (\vec{\omega} \wedge \vec{r}) + 2\omega \wedge (-\vec{\omega} \wedge \vec{r}) = \vec{\omega} \wedge (\vec{\omega} \wedge \vec{r}) \equiv \vec{a}_{CF}$

9- LA RELATIVITÀ ... GENERALE DI GALILEO

CIOÈ "LA PIUMA E IL MARTELLO"

LETTURA

10- DUE ... INDOVINELLI DI GALILEO

- LA BILANCIA A "PERCOSSA"
- LA BILANCIA IDROSTATICA.