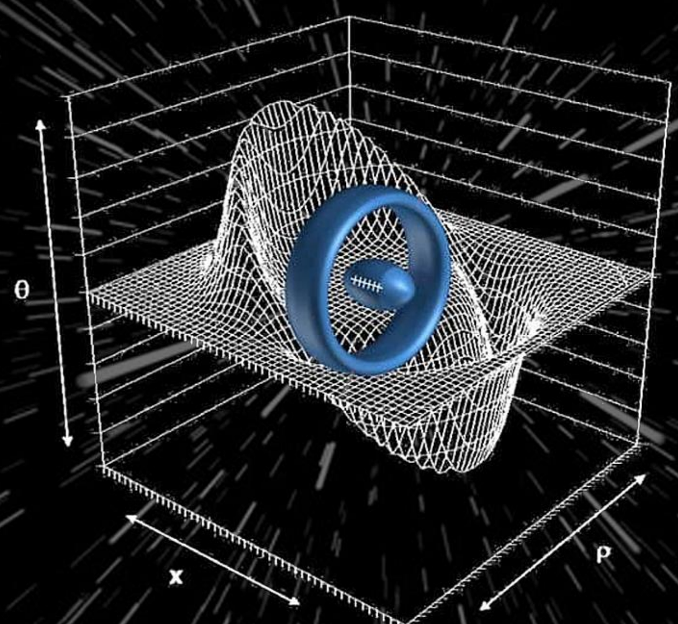
Parrocchia S. Marco
UNIVERSITA' CARD. G. COLOMBO

MARTEDI' 16 APRILE - ORE 15,00 - AULA 2

I VIAGGI INTERSTELLARI SONO POSSIBILI?



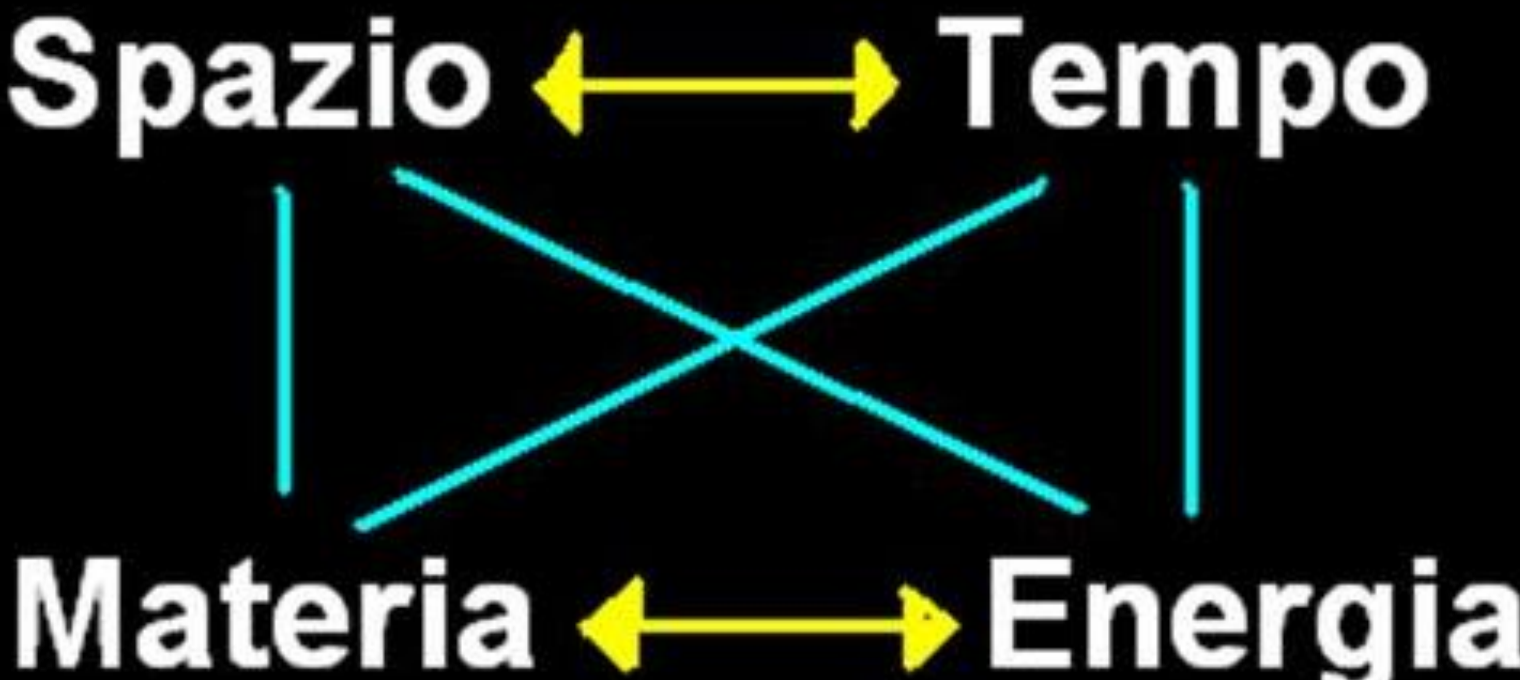
Conferenza a cura del Dott.
ADRIANO GASPANI
S.E.A.C. EUROPEAN SOCIETY FOR ASTRONOMY IN CULTURE

Ciò che non va contro le leggi della Fisica è realizzabile

prima o poi...


Spazio
Tempo
Materia
Energia
4 diversi aspetti della stessa cosa...

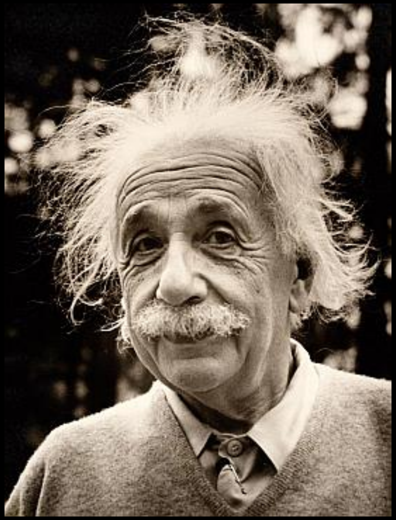
Esiste quindi una corrispondenza incrociata tra tutti...



sono legati indissolubilmente...

Prima di capire come viaggiare nello spazio e nel tempo proviamo a cercare di comprendere cosa sia il "Tempo"

La Teoria delle Relatività (Ristretta e Generale) forse ci aiuta...

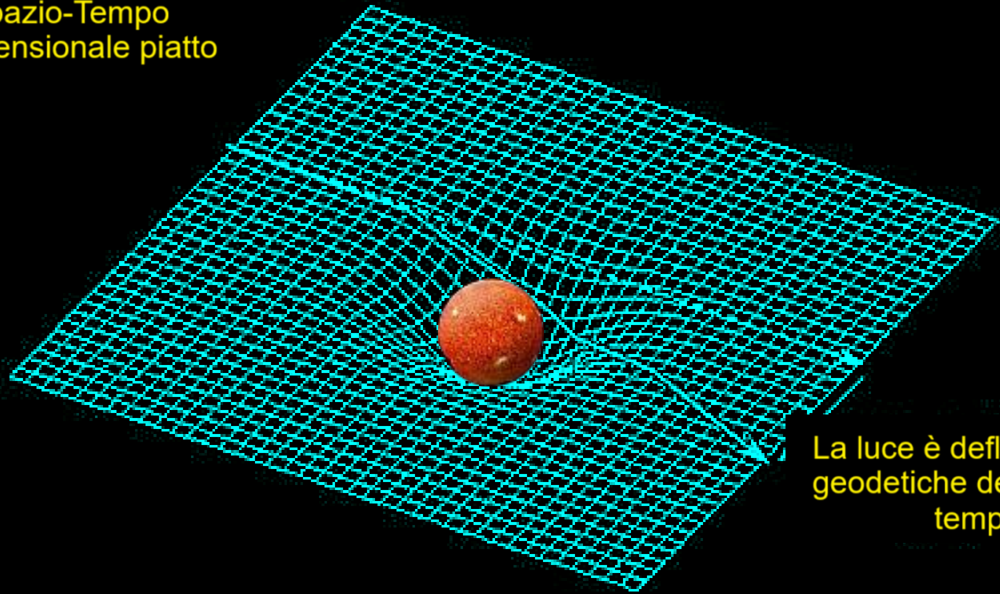


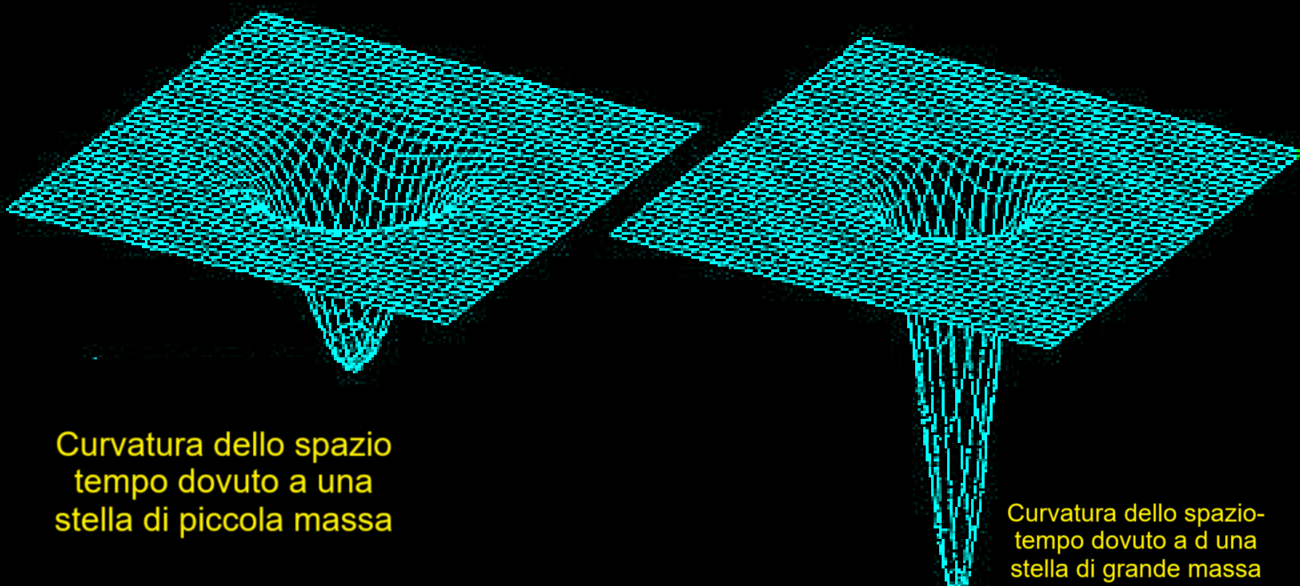
Spazio, tempo e materia

Lo spazio e il tempo non possono esistere senza materia

Spazio, tempo e materia formano un tutt'uno inscindibile

Se si toglie la materia, non resta lo spazio vuoto: non resta nulla



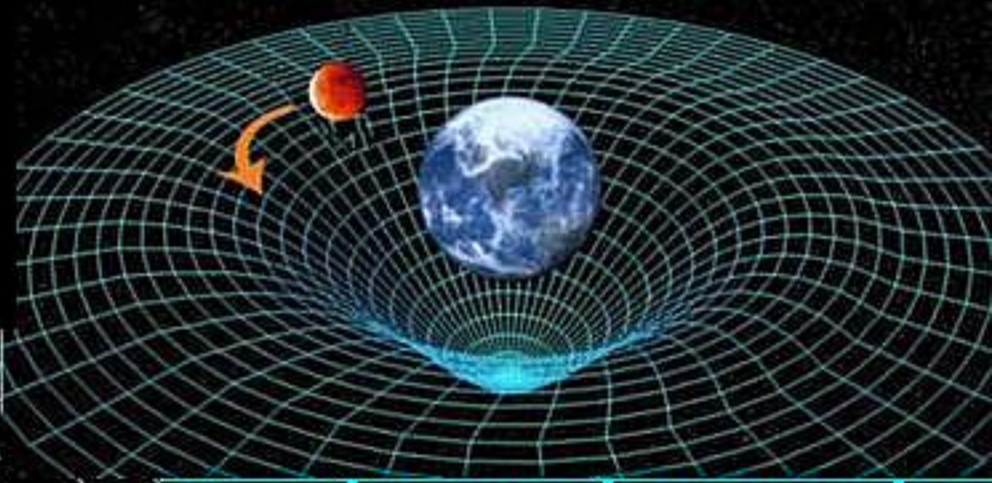


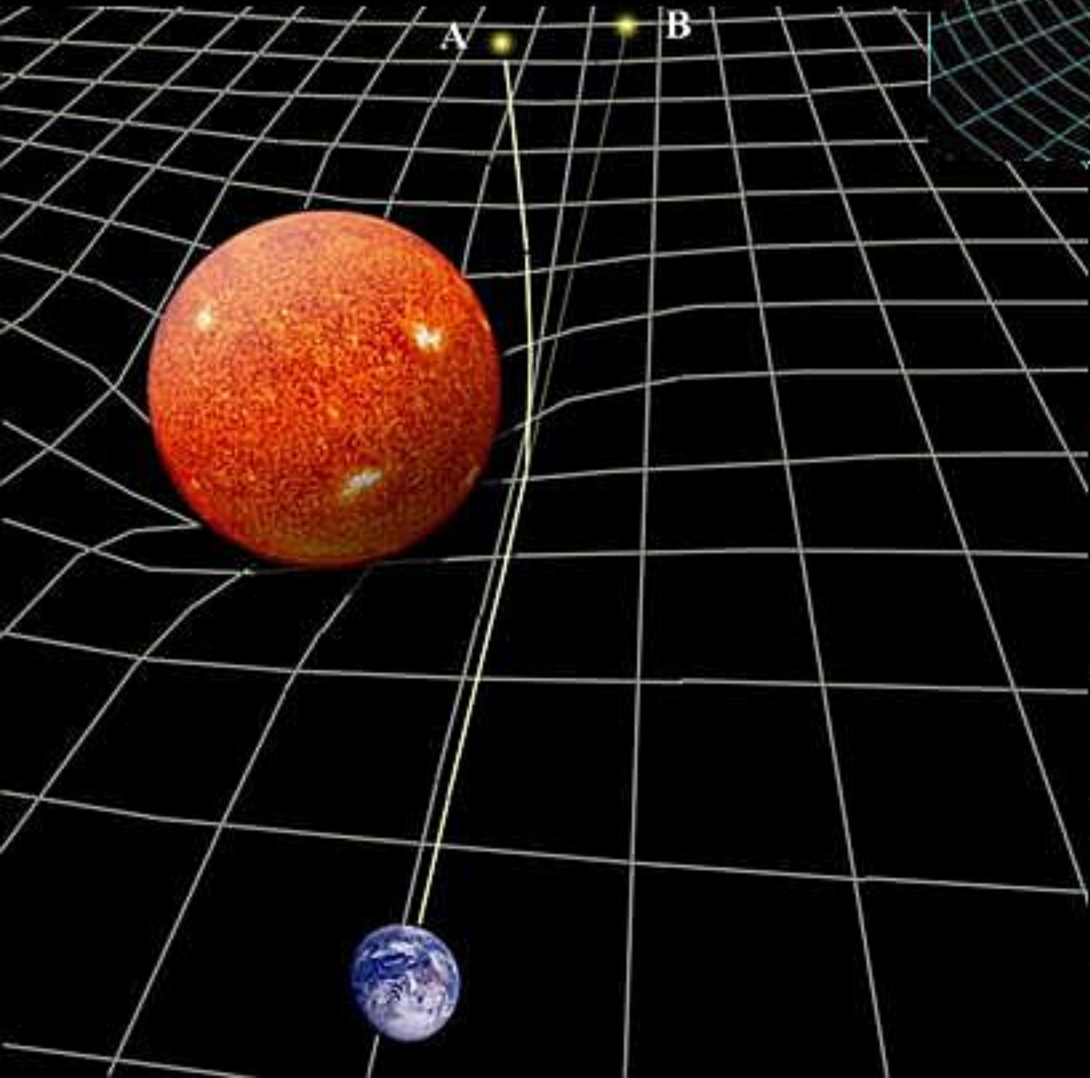
Curvatura dello spazio tempo dovuto a una stella di piccola massa

Curvatura dello spazio-tempo dovuto a d una stella di grande massa oppure ad una stella di neutroni

Secondo la teoria della relatività generale, proposta per la prima volta da Einstein, si aprono nuove prospettive per il viaggio nel tempo. Tale teoria stravolge l'ordinaria considerazione di spazio e tempo, sostenendo che entrambi facciano parte di un continuum spazio-temporale. Il tempo diventa solo un'altra dimensione dello spazio.

Questo tessuto ha la particolarità di deformarsi in presenza di una massa o di un campo gravitazionale.





Essendo un continuum spazio-temporale, la sua deformazione, oltre ad essere spaziale, risulta di fatto anche temporale. Più precisamente il tempo risulta scorrere più lento più la deformazione è accentuata: vivere a pianterreno, piuttosto che sulla cima di un grattacielo ci allunga la vita, seppure di qualche microsecondo.

1) Il campo gravitazionale diminuisce allontanandosi dalla concentrazione di massa.

2) La curvatura dello spazio tempo aumenta avvicinandosi alla concentrazione di massa.

3) lo scorrere del tempo rallenta avvicinandosi alla concentrazione di massa.

$$\boxed{t(d) = t(d°) \cdot \left(1 + \frac{2\,g}{c^2} (d - do) \right)}$$

$$\frac{2\,g}{c^2} = 2.18 \cdot 10^{-16} \text{ secondi/metro}$$

MOTI NELLO SPAZIO-TEMPO

Lo spazio-tempo della relatività generale ha una geometria non euclidea .

Una massa non soggetta a forze che si trova nello spazio-tempo per il 1° principio della dinamica si muove di moto rettilineo uniforme, ma le “rette” che percorre sono le geodetiche!

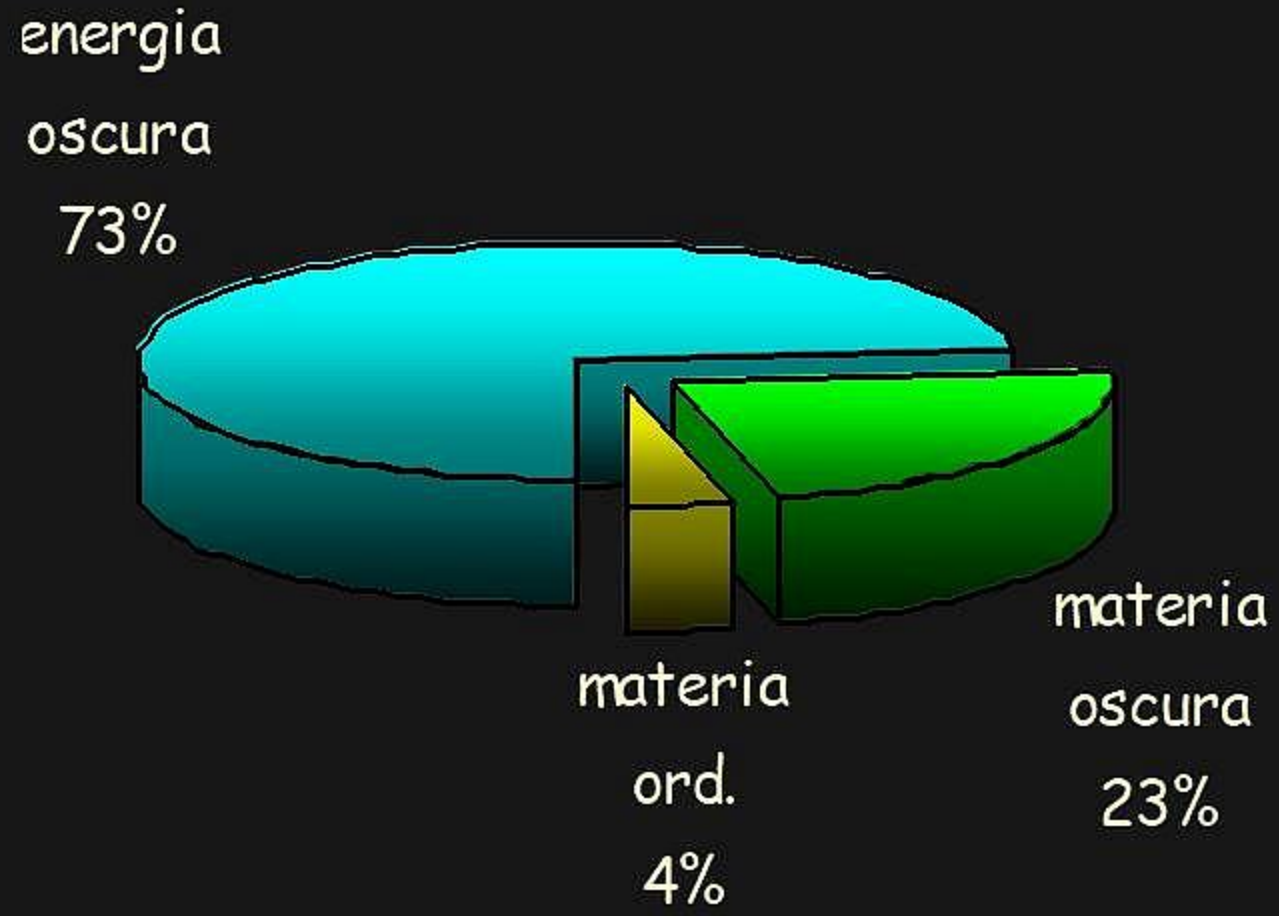
Che possono essere curve...

Ragioniamo in grande...

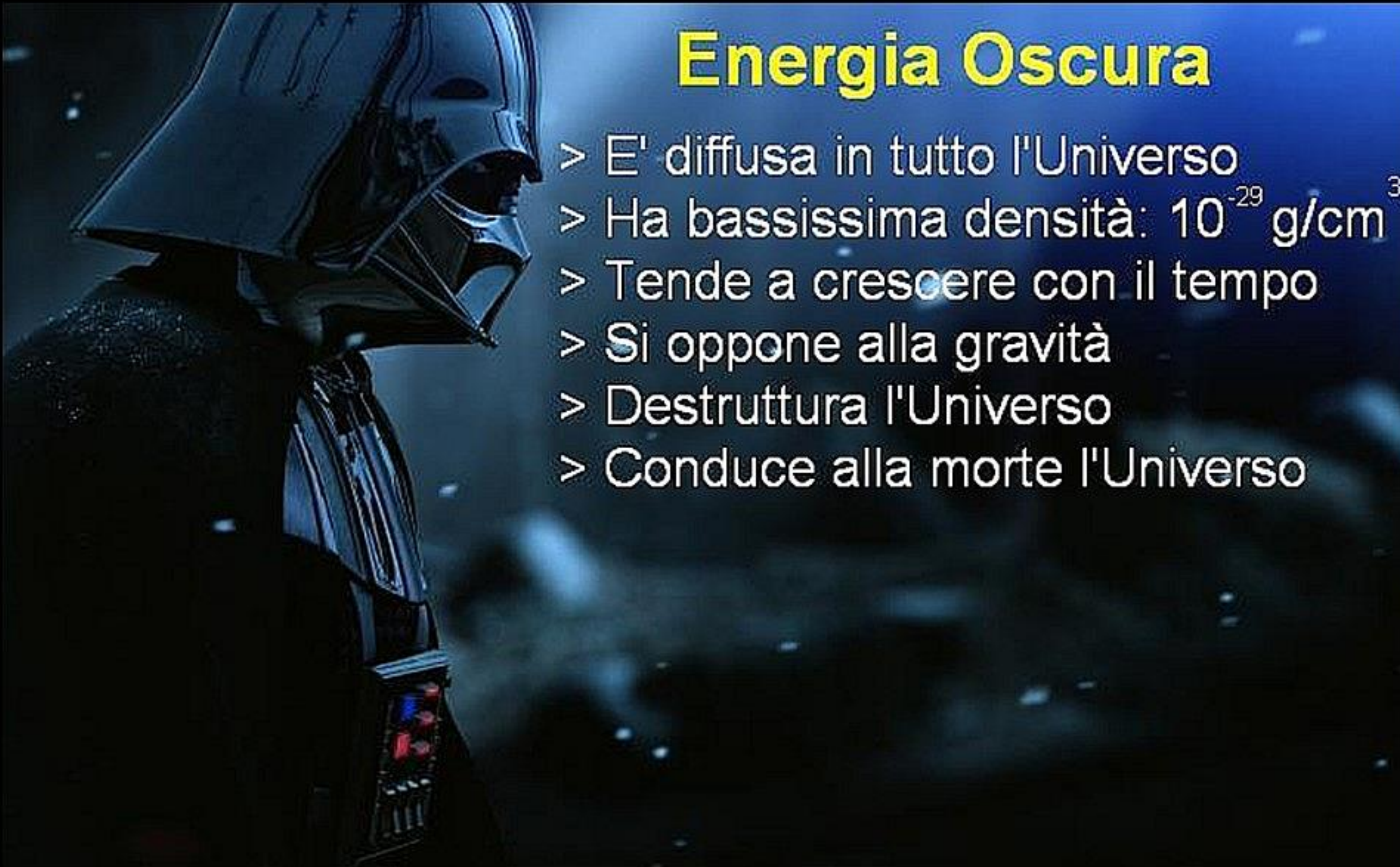
Multiverso

Di cosa è fatto l'UNIVERSO?

...per lo meno il nostro



L'espansione dell'Universo
è dovuta all'Energia Oscura
(negativa, antigravitazionale)
che genera lo Spazio-Tempo
ad una velocità molto superiore
a quella della luce.


Energia Oscura
> E' diffusa in tutto l'Universo
> Ha bassissima densità: 10^{-29} g/cm^3
> Tende a crescere con il tempo
> Si oppone alla gravità
> Destruttura l'Universo
> Conduce alla morte l'Universo

Energia oscura
(esotica, negativa, del vuoto, etc...)

Nessuno sa cosa sia, ma esiste, e se vogliamo viaggiare nello spazio-tempo arrivando lontano, ci serve...

per ora non sappiamo produrla...

Le fluttuazioni quantistiche la producono...

L'Energia del Vuoto

La densità di energia *p* contenuta nello "spazio vuoto" dovuta alle fluttuazioni quantistiche è:

$$p = \frac{I_{co} \cdot \hbar \cdot c}{R^4} = 10^9 \; Joule/m^3$$

I_{co} = *Quantità di informazione contenuta nell'Universo*

$\hbar$ = *Costante di Plank ridotta*

c = *Velocità della Luce (c=300.000 Km/sec)*

R = *Raggio dell'Universo (R=13.7 miliardi di Anni Luce*

Densità dell'Energia Oscura

La velocità della luce è finita ed è la massima raggiungibile dalla materia e dall'energia

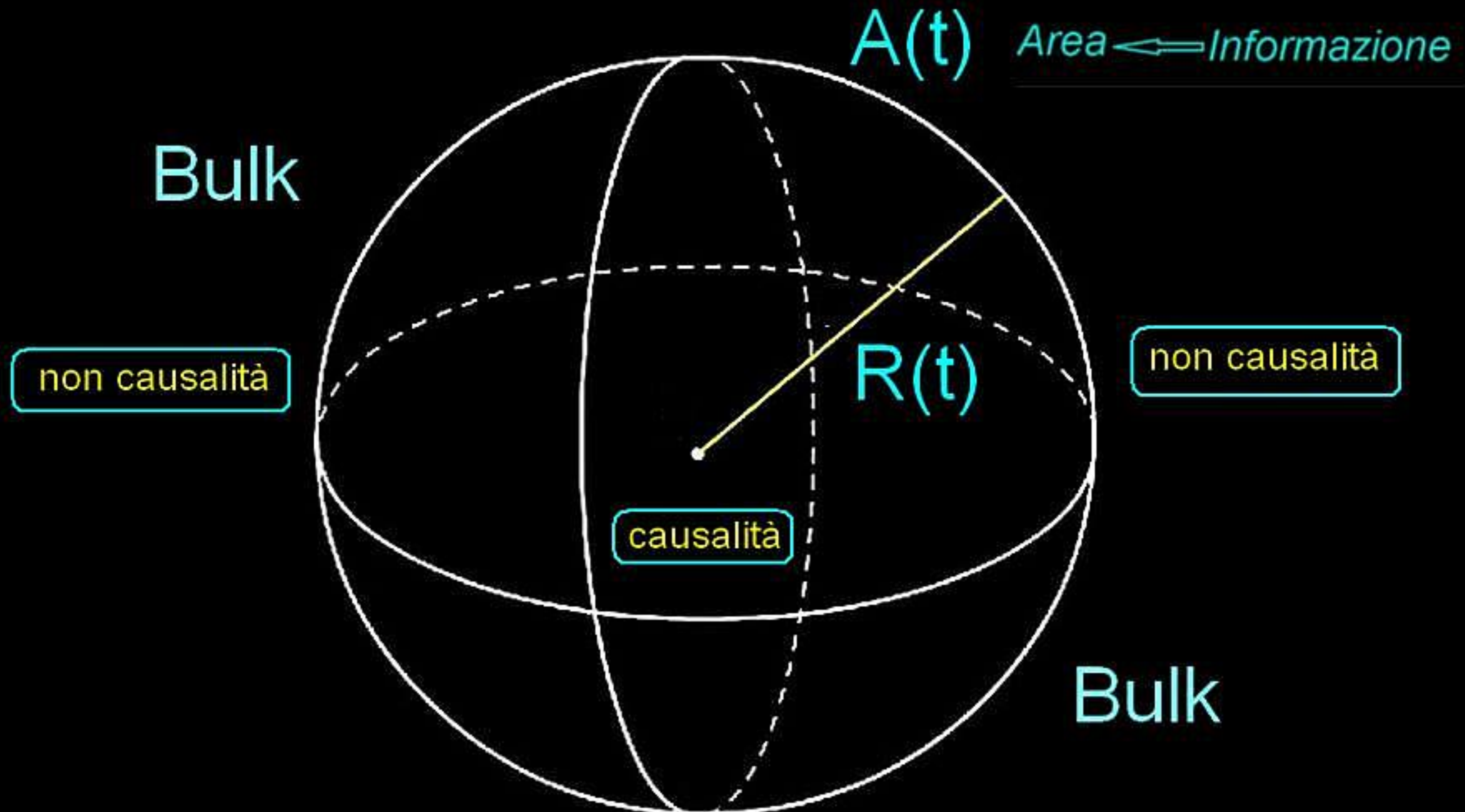
Il fatto che la velocità della luce sia finita (c=300000 km/sec) crea un orizzonte cosmologico al tempo t di età dell'Universo.

Il suo raggio è R = t anni luce

Si crea una superficie che racchiude un volume di spazio a cui abbiamo accesso in maniera causale.

L'Universo è 38 volte più grande di quello che riusciamo a osservare

Universo (k=1)



R(t) = 13,7 miliardi di AL

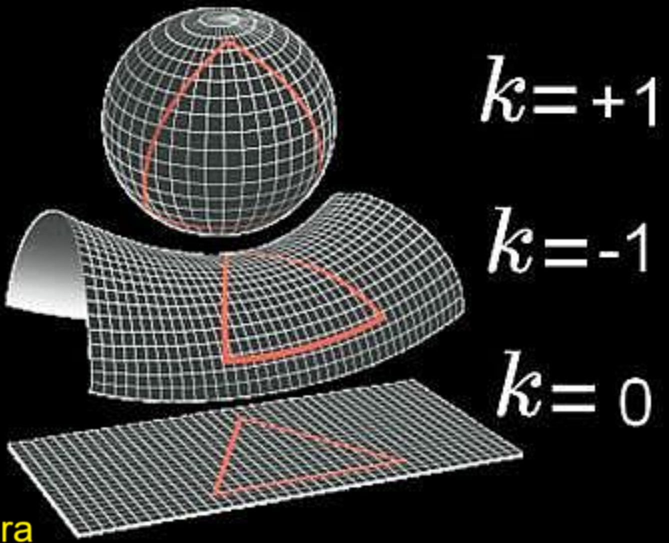
Equazioni di Friedmann

$$\dot{R} = \left[R^2 \frac{8\pi G\rho + \Lambda c^2}{3} - k c^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

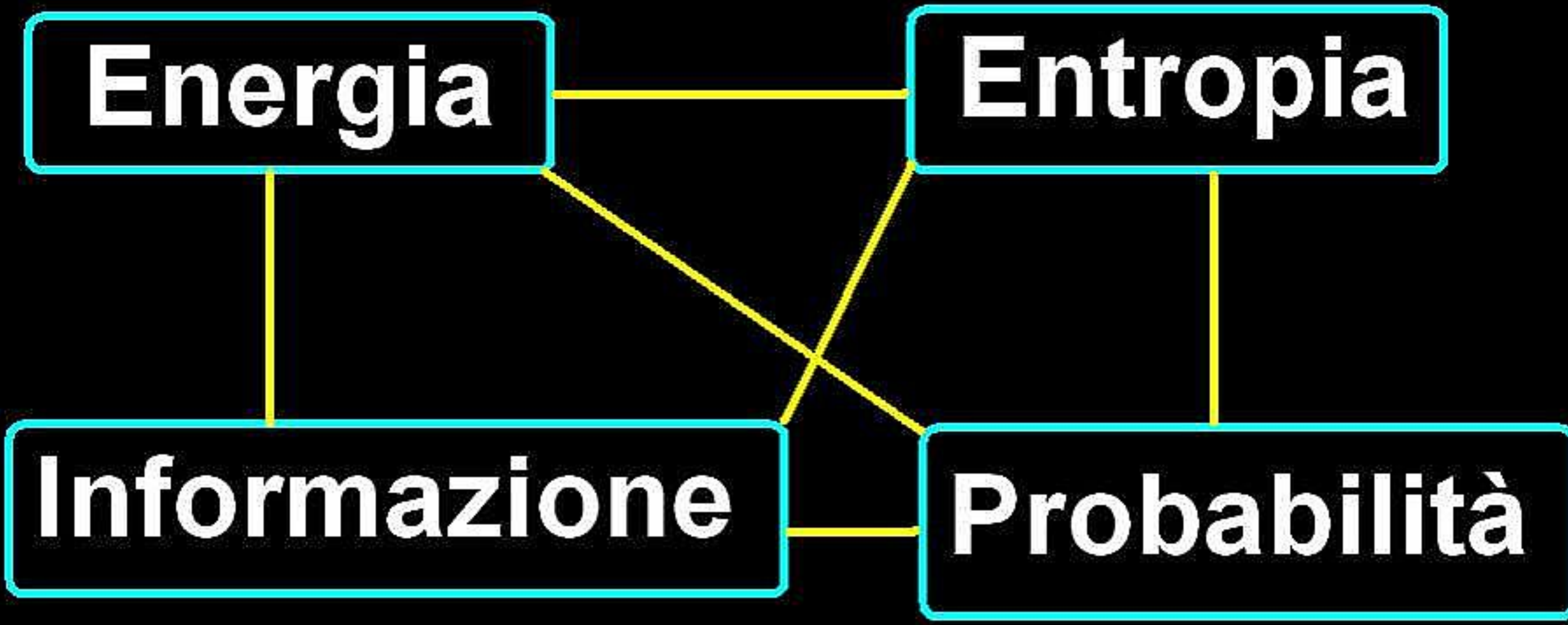
$$\ddot{R} = -\frac{4\pi G}{3}\left(\rho + \frac{3p}{c^2}\right)R + \frac{\Lambda c^2}{3} R$$

Aleksandr Aleksandrovič Fridman
(San Pietroburgo, 6 giugno 1888 – Pietrogrado, 16 settembre 1925)

R = Raggio dell'Universo
$\dot{R}$ = Velocità di espansione
$\ddot{R}$ = Accelerazione dell'espansione
ρ = Densità media della materia
p = Pressione
c = Velocità della luce
G = Costante di Gravitazione Universale
Λ = Costante cosmologica ← L'energia oscura agisce qui...
k = Parametro di curvatura



Corrispondenze interessanti



L'Entropia descrive l'Informazione contenuta in un sistema:

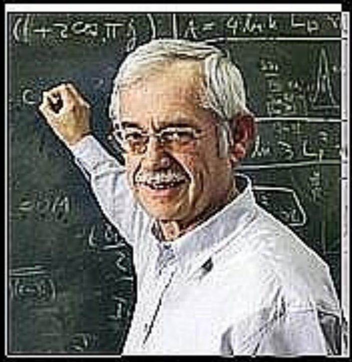
$$\boxed{I_{BH} = e^{\frac{S_{BH}}{k}}}$$

I_{BH} = informazione
S_{BH} = Entropia
k = costante di Boltzmann

Entropia dell'Universo al tempo t

Entropia di Beckenstein - Hawking

Hawking



Beckenstein

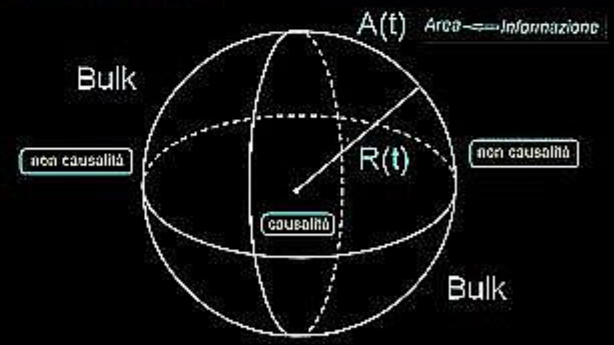
$$S_u(t) = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{k_B \cdot c^3}{h \cdot G} \cdot A(t)$$

E' possibile applicare la definizione di Entropia di Beckenstein - Hawking all'intero Universo.

Essa sarà proporzionale all'area del suo inviluppo (orizzonte cosmologico) al tempo t

$$A(t) = 4 \cdot \pi \cdot R(t)^2$$

Universo (k=1)



R(t) = 13,7 miliardi di AL

$$S_u(t) = 2 \cdot \pi^2 \cdot \frac{k_B \cdot c^3}{h \cdot G} \cdot R(t)^2$$

h = costante di Plank
G = costante di gravitazione universale
K_B = costante di Boltzmann
c = velocità della luce nel vuoto

...il trascorrere del tempo.

$$(t - t_o) = \frac{3.17 \times 10^{-8}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{h \cdot G}{2 \cdot k_B \cdot c^5}} \cdot \frac{1}{\sqrt{S_u(t)}} \cdot \left[S_u(t) - S_u(t_o) \right] \qquad \text{(anni)}$$

ma anche:

$$(t - t_o) = 3.17 \times 10^{-8} \cdot \left[R(t) - R(t_o) \right] \qquad \text{(anni)}$$

dove:

$S_u(t)$ = Entropia dell'Universo al tempo t

$S_u(t_o)$ = Entropia dell'Universo al tempo t_o

$R(t)$ = Raggio dell'Universo visibile al tempo t (anni luce)

$R(t_o)$ = Raggio dell'Universo visibile al tempo t_o (anni luce)

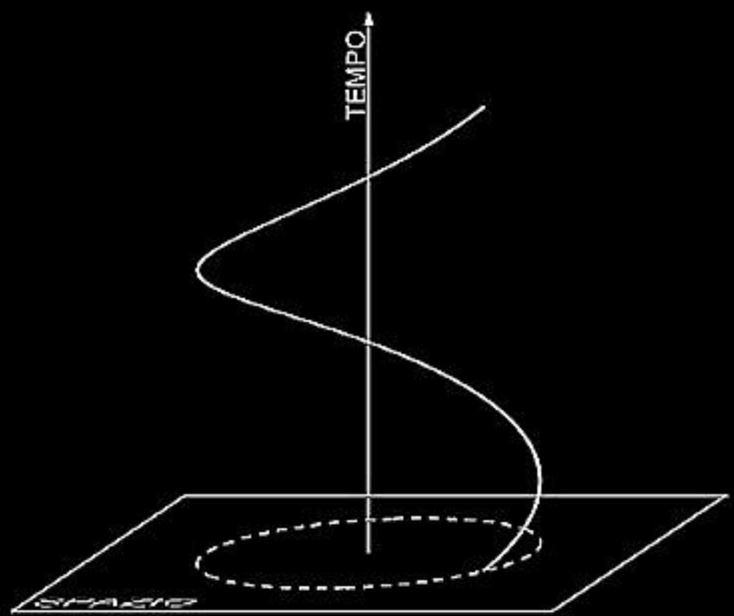
h = costante di Plank $6.626\,070\,040(81) \times 10^{-34}$ J s

G = costante di gravitazione universale $6.674\,08(31) \times 10^{-11}$ $m^3\,kg^{-1}\,s^{-2}$

K_B = costante di Boltzmann $1.380\,648\,52(79) \times 10^{-23}$ $J\,K^{-1}$

c = velocità della luce nel vuoto $299\,792\,458$ $m\,s^{-1}$

La velocità con cui il tempo scorre localmente dipende da come varia l'Entropia (e anche l'Informazione)



lo spaziotempo
di
Minkowski

Hermann Minkowski

Hermann Minkowsky

Hermann Minkowski (Aleksotas, 22 giugno 1864 – Gottinga, 12 gennaio 1909) è stato un matematico lituano. Egli sviluppò la teoria geometrica dei numeri ed utilizzò metodi geometrici per risolvere impegnativi problemi della teoria dei numeri, della fisica matematica e della teoria della relatività.

Nel 1907 Minkowski giunse al convincimento che la teoria della relatività speciale (conosciuta anche come relatività ristretta), introdotta da Einstein nel 1905 e basata su precedenti lavori di Lorentz e di Poincaré, potesse essere meglio compresa nell'ambito di uno spazio non euclideo, da allora noto come spazio di Minkowski, in cui il tempo e lo spazio non sono entità separate ma connesse fra loro in uno spazio-tempo quadridimensionale, e nel quale la geometria di Lorentz della relatività ristretta può essere opportunamente rappresentata. Tale rappresentazione risultò utile e senz'altro aiutò le indagini di Einstein in merito alla relatività generale.

La parte iniziale del suo discorso pronunciato in occasione dell'ottantesima Assemblea degli Scienziati della Natura e dei Medici Tedeschi (21 settembre, 1908) è divenuta famosa:

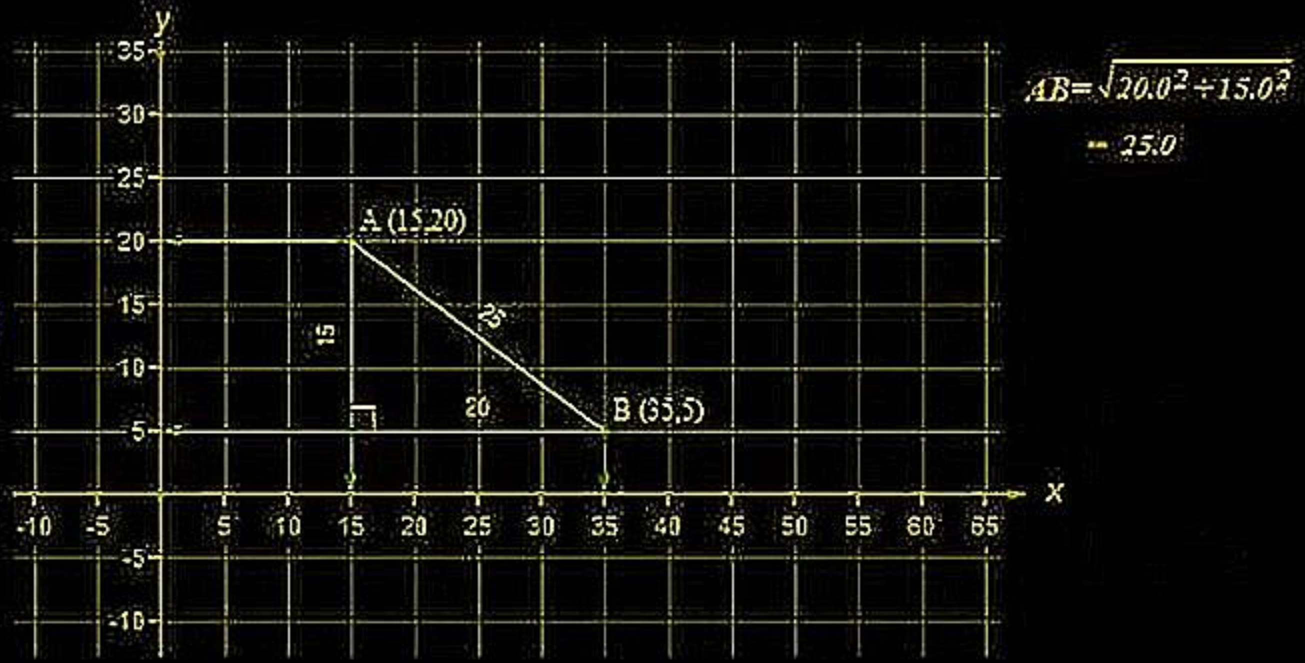
« I concetti di spazio e di tempo che desidero esporvi traggono origine dal terreno della fisica sperimentale, e in ciò risiede la loro forza. Sono radicali. D'ora in avanti lo spazio singolarmente inteso, ed il tempo singolarmente inteso, sono destinati a svanire in nient'altro che ombre, e solo una connessione dei due potrà preservare una realtà indipendente. »

Spaziotempo di Minkowski

Minkowski, che era stato un insegnante di Einstein, si accorge che la Relatività dimostra che lo spazio ed il tempo sono uniti in uno *spaziotempo* quadridimensionale.
Un **evento** è qualunque cosa accada in un dato luogo e in un dato istante.
Possiamo caratterizzarlo con le tre coordinate spaziali che indicano *dove* ha avuto luogo, associate alla coordinata temporale che indica *quando* si è verificato.
Usiamo i simboli x, y, z per indicare le tre coordinate spaziali e la variabile t per indicare quella temporale.
Un evento è univocamente determinato dalla quaterna (x, y, z, t).

Distanza tra due punti

La distanza tra i punti A e B è data dalla formula:



$$d = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}$$ (2 dimensioni)

$$d = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2 + (t_B - t_A)^2}$$ (4 dimensioni)

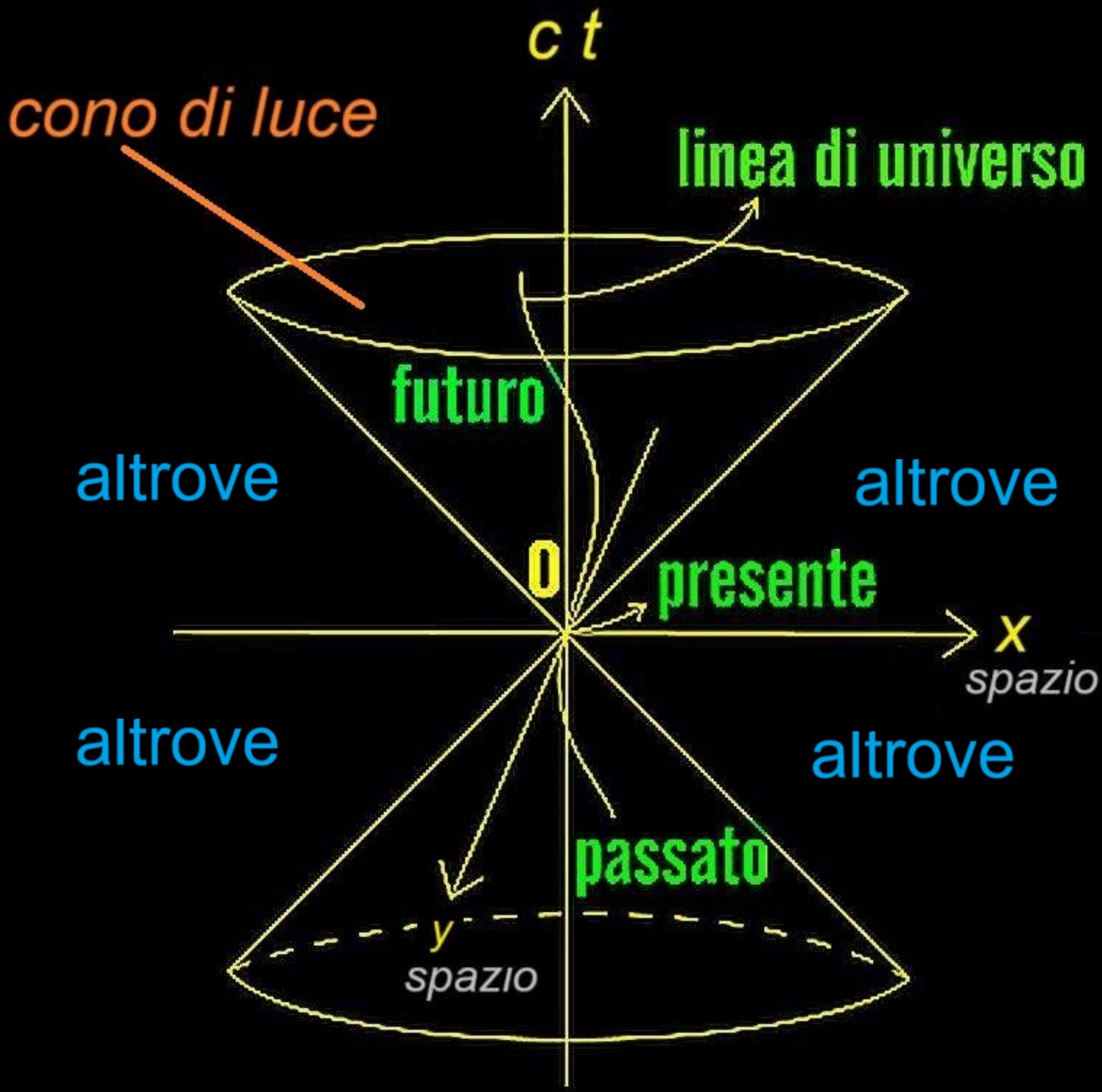
Spaziotempo di Minkowski – Intervallo

Sappiamo che i punti della geometria quadridimensionale di Minkowski si chiamano eventi. La distanza tra due eventi A e B si chiama **intervallo** e qui lo indichiamo con *d:*

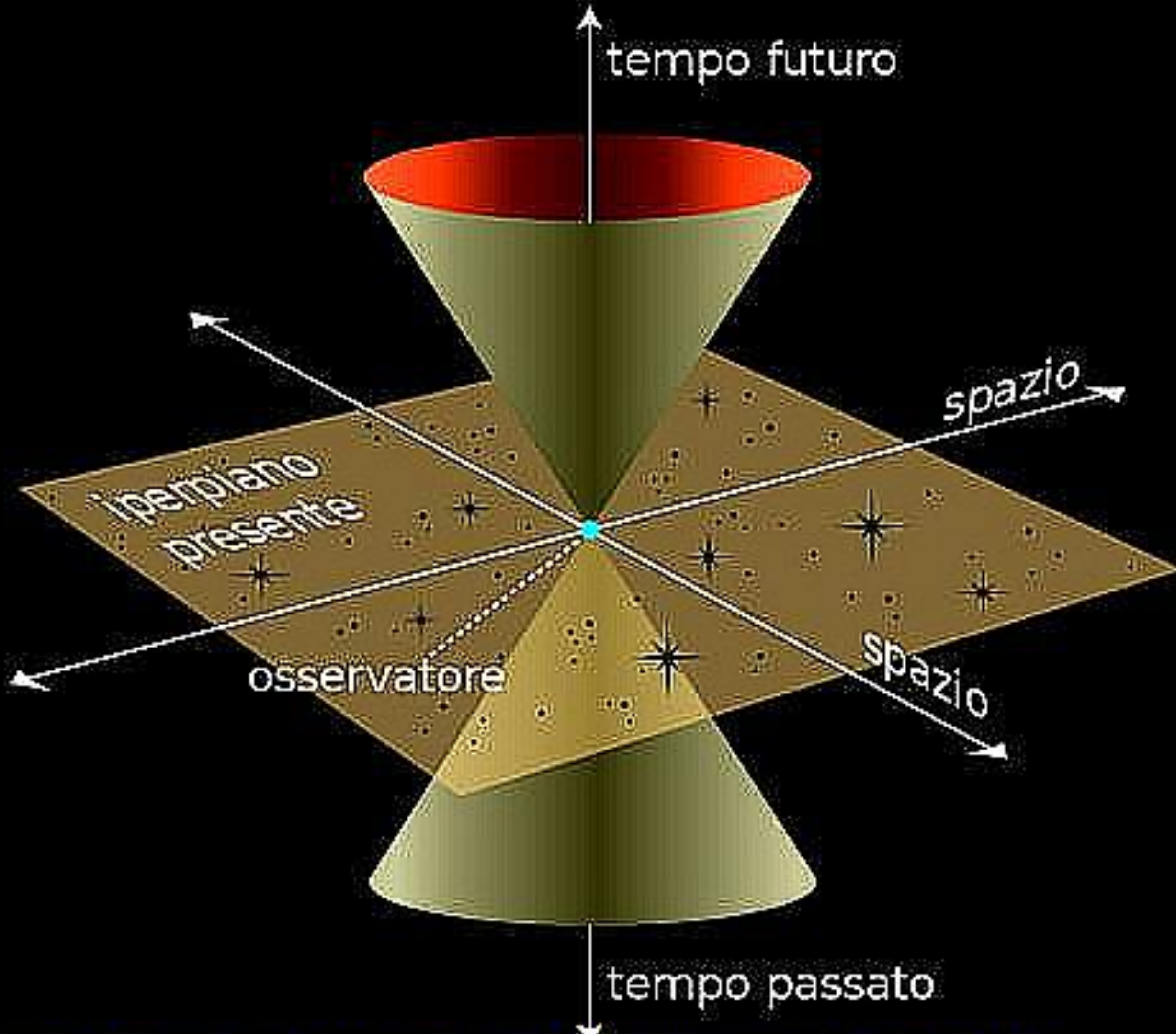
$$d^2 = c^2(t_B - t_A)^2 - (x_B - x_A)^2 - (y_B - y_A)^2 - (z_B - z_A)^2$$

Questo valore è una **invariante** per qualsiasi osservatore inerziale. E' l'analogo della distanza euclidea, ma confrontandolo con la diapositiva precedente, si vede che è diverso, a causa della comparsa del segno "-".
La geometria di Minkowski è *pseudo-euclidea*.
Non è uno spazio curvo

lo spaziotempo di Minkowski



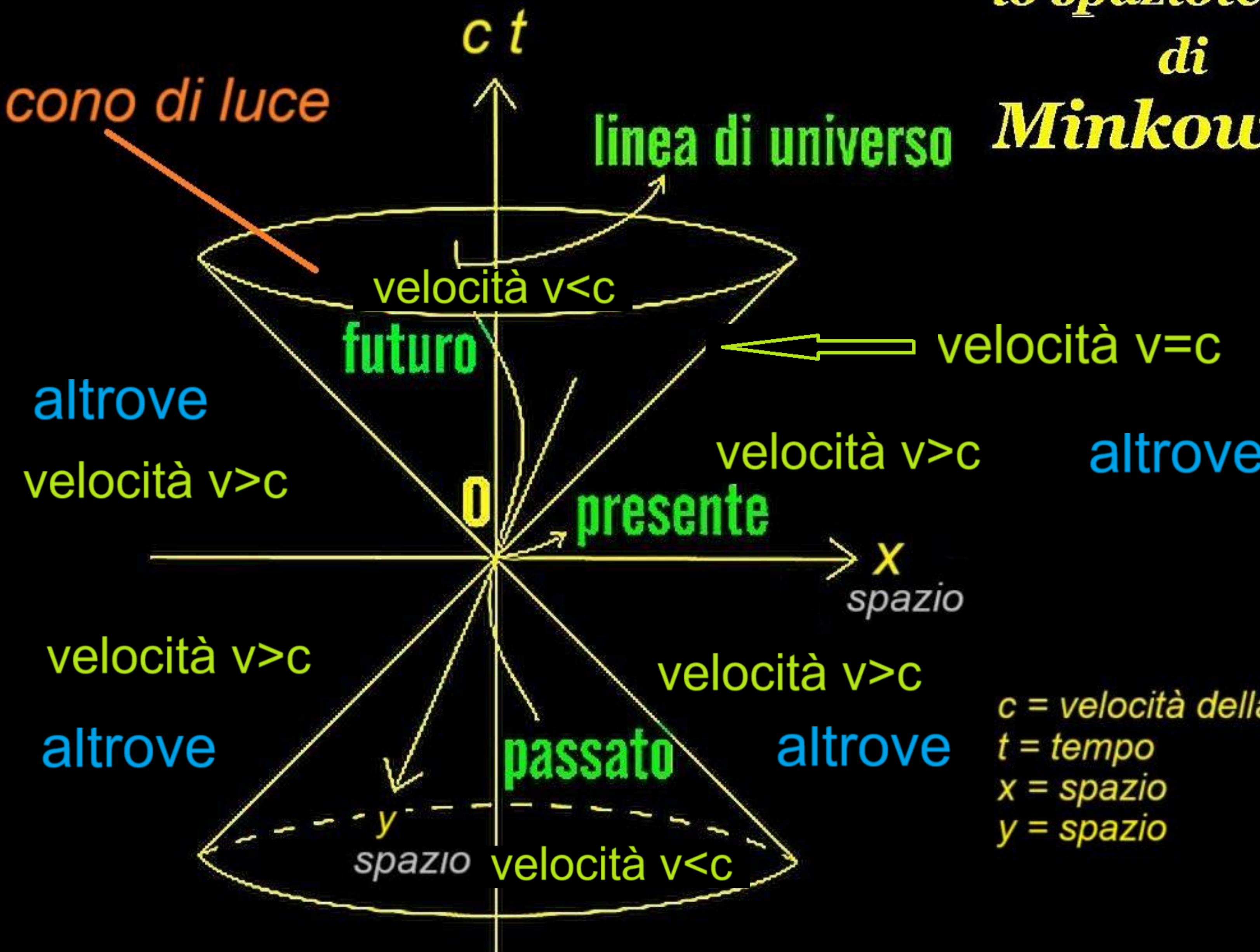
c = velocità della luce
t = tempo
x = spazio
y = spazio



I coni hanno un'inclinazione di 45° in quanto i fotoni, le particelle più veloci che si conoscano rappresentano il limite massimo entro il quale tutte le particelle possono muoversi. Preso un comodo sistema di riferimenti il moto dei fotoni viene rappresentato come una retta a 45°, quindi la gamma massima di possibili spostamenti deve risultare inferiore a tale angolazione.

Un cono di luce rappresenta la storia di un qualunque oggetto nel nostro universo: il punto di incontro dei due coni è la posizione spazio temporale dell'istante presente. Il cono superiore rappresenta la gamma di possibili storie che l'oggetto avrà. Il cono inferiore rappresenta la gamma delle storie che la particella ha avuto per giungere in tale istante a tale posizione.

lo spaziotempo di Minkowski



c = *velocità della luce*
t = *tempo*
x = *spazio*
y = *spazio*

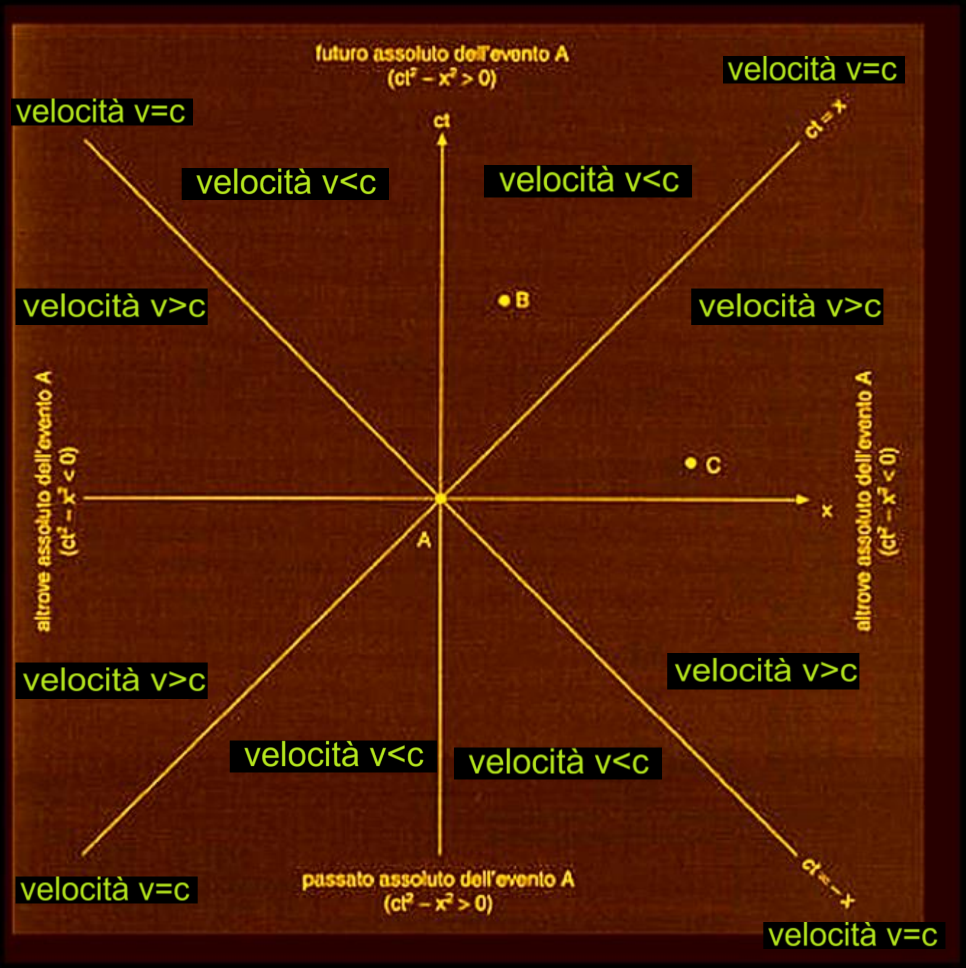
Intervalli tra eventi

Cono di Luce

Per comodità, è raffigurata una sola dimensione spaziale.

A e B sono eventi separati da un intervallo di genere tempo.

A e C sono eventi separati da un intervallo di genere spazio.



Classificazione degli intervalli

Il quadrato dell'intervallo (che è indipendente dal sistema di riferimento) può essere:

- **Nullo:** l'intervallo è detto di **tipo luce**
- **Positivo:** l'intervallo è detto di **tipo tempo**.

E' il caso di due eventi separati spazialmente nel sistema **S**; si trova che esiste un sistema **S'** in cui i due eventi occupano la stessa posizione nello spazio. Se i due eventi sono relativi alla stessa particella materiale, l'intervallo tra essi è sempre di tipo tempo.

- **Negativo:** l'intervallo è detto di **tipo spazio**.

E' il caso di due eventi che avvengono in istanti differenti nel sistema **S**; si trova che esiste un sistema **S'** in cui i due eventi avvengono simultaneamente.

Cono di Luce: commenti

•Tutti gli eventi *interni* al cono luce e corrispondenti a istanti successivi a quello di A costituiscono il **futuro assoluto** di A, qualsiasi sia il sistema di riferimento inerziale. Esiste però un sistema di riferimento in cui i due eventi occupano lo stesso punto dello *spazio*.

•Tutti gli eventi *esterni* al cono luce costituiscono l'a**ltrove assoluto** di A. Questi eventi rimangono, in qualsiasi sistema di riferimento, in punti dello spazio diversi da A. Non esiste alcun sistema nel quale uno di tali eventi coincida spazialmente con l'evento A. Però esistono dei sistemi nei quali esso è successivo ad A, oppure esso precede A, oppure esso accade simultaneamente ad A.

•Il confine del cono è costituito dai raggi di luce che partono da A o arrivano in A.

- Einstein sa che dalle equazioni di Maxwell si può ricavare la velocità della luce:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}}.$$

e che tale valore è una *costante*; μ_0 e ε_0 sono delle costanti che descrivono le proprietà elettromagnetiche del vuoto.

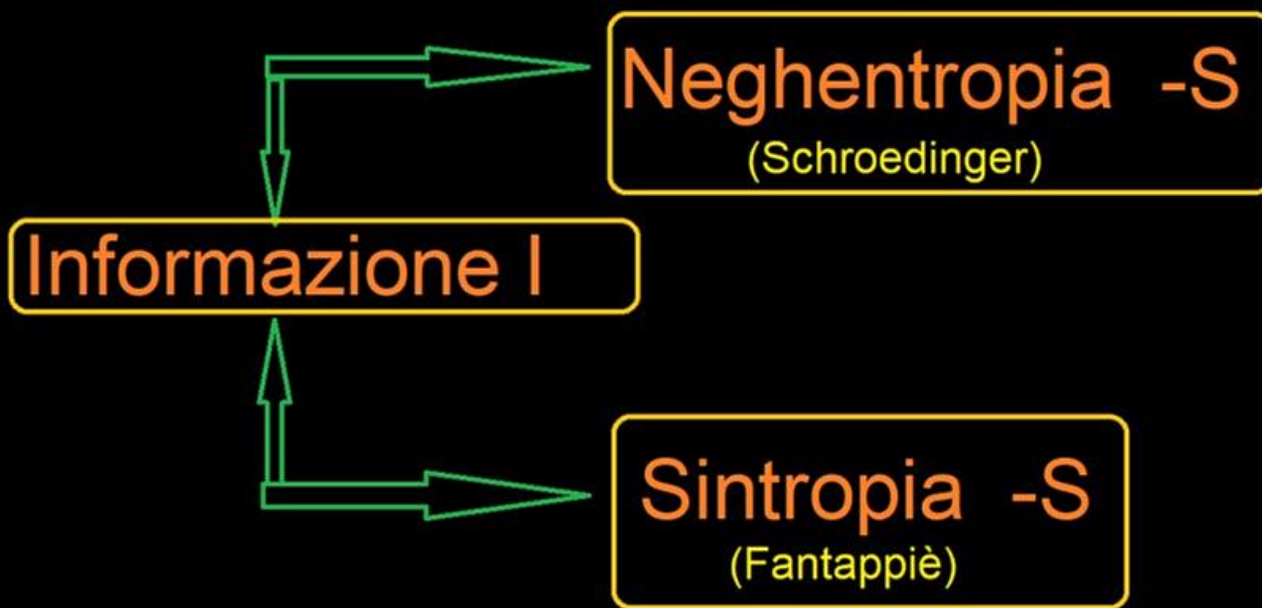
- Per il principio di relatività, tutti gli osservatori inerziali devono misurare questa stessa velocità per la luce, indipendentemente dalla loro velocità relativa.
- Pertanto le trasformazioni di Galileo, che consentono di sommare la velocità della luce a quella di un sistema di riferimento, sono *sbagliate*.

Viaggiare avanti e indietro nel tempo

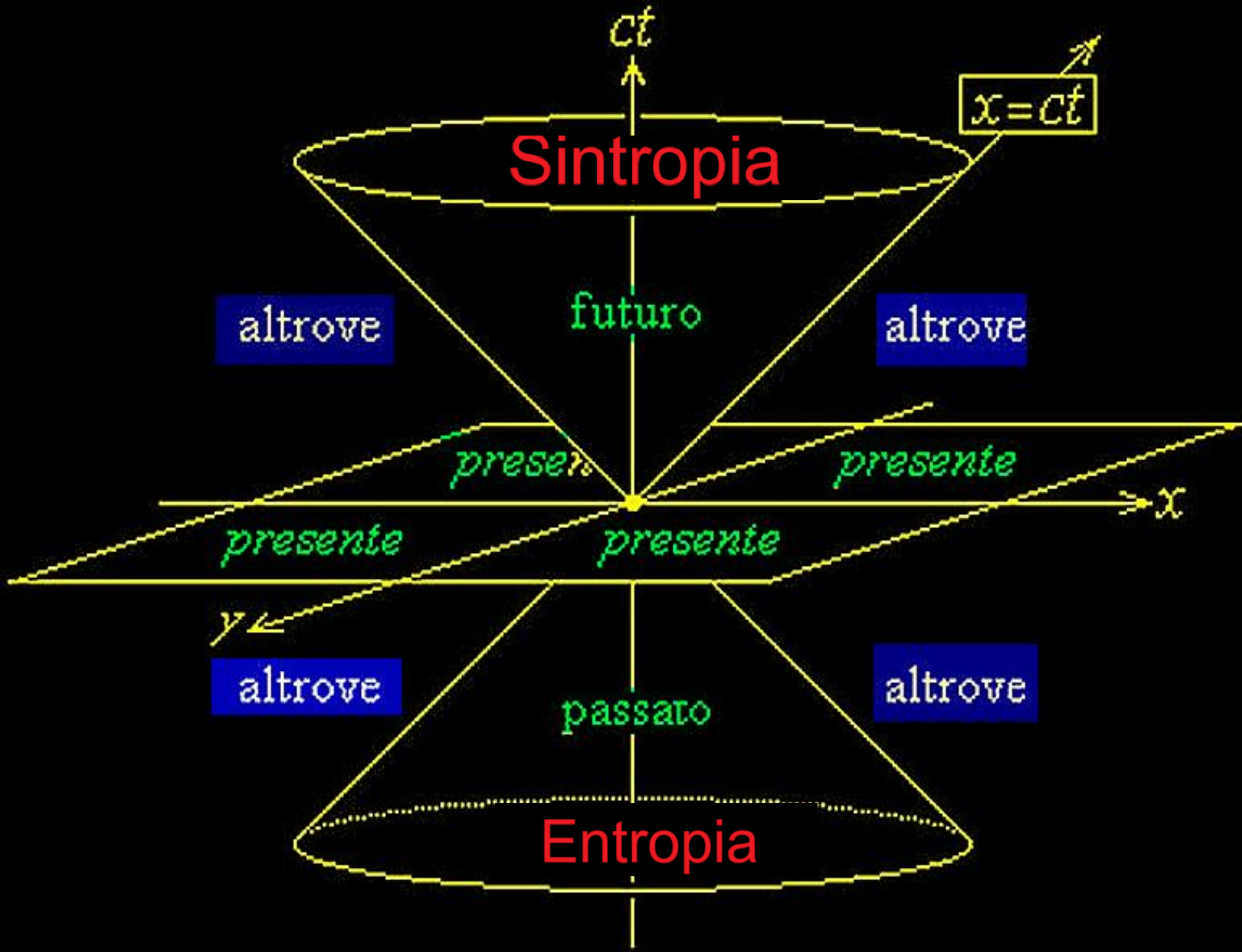
Introduciamo il concetto di cono di luce come premessa ad un'ultima teoria che renderebbe possibile il viaggio nel tempo. Tale teoria risulta la più realisticamente effettuabile e non presenta i problemi di velocità luminali o di attraversamento di buchi neri.

Tale teoria si conforma perfettamente alla relatività generale ed è rappresentata dal cilindro di Tipler. Un cilindro molto denso e di lunghezza infinita permetterebbe la formazione di cappi temporali in modo da poter collegare due eventi qualsiasi dello spazio tempo, a patto che la superficie del cilindro ruotasse a una velocità pari almeno a metà di quella della luce in modo che la velocità di rotazione fosse tale che le forze centrifughe bilanciassero l'attrazione gravitazionale.

E se facessimo viaggiare l'Informazione?
Noi siamo Informazione...



S = Entropia


ct
x=ct
Sintropia
futuro
altrove
altrove
presen
presente
x
presente
presente
y
altrove
altrove
passato
Entropia

L'Entropia agisce e condizione il presente attraverso l'informazione proveniente dal passato

La Sintropia agisce e condiziona il presente attraverso l'Informazione che proviene dal futuro

Se usassimo la Sintropia... (Neghentropia)

$$\Delta t = \frac{3.17 \times 10^{-8}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{h \cdot G}{2 \cdot k_B \cdot c^5}} \cdot \frac{1}{\sqrt{-S_u(t)}} \cdot \Delta N \quad \text{(anni)}$$

ma anche:

$$\Delta t = 3.17 \times 10^{-8} \cdot \Delta R \quad \text{(anni)}$$

$\Delta t < 0$ ⇨ Il tempo scorre all'indietro

Δt virtuale ⇩ fuori dal nostro universo...

dove:

$S_u(t)$ = Entropia dell'Universo al tempo t

$S_u(t_\circ)$ = Entropia dell'Universo al tempo $t_\circ$

$R(t)$ = Raggio dell'Universo visibile al tempo t (anni luce)

$R(t_\circ)$ = Raggio dell'Universo visibile al tempo $t_\circ$ (anni luce)

$\Delta R < 0$

Universo in contrazione

N = Sintropia = -S

$$\Delta N = -S_u(t) + S_u(t_\circ) = -\Delta S_u$$

h = costante di Plank $6.626\,070\,040(81) \times 10^{-34}$ J s

G = costante di gravitazione universale $6.674\,08(31) \times 10^{-11}$ $m^3\,kg^{-1}\,s^{-2}$

K_B = costante di Boltzmann $1.380\,648\,52(79) \times 10^{-23}$ $J\,K^{-1}$

c = velocità della luce nel vuoto 299 792 458 $m\,s^{-1}$

E' possibile andare nel futuro?

Si !!

basta andare veloci, molto veloci...

Il paradosso dei gemelli...

(Teoria della Relatività Ristretta)

$$\Delta t' = \gamma \Delta t$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Astronave a velocità v vicina a quella della luce

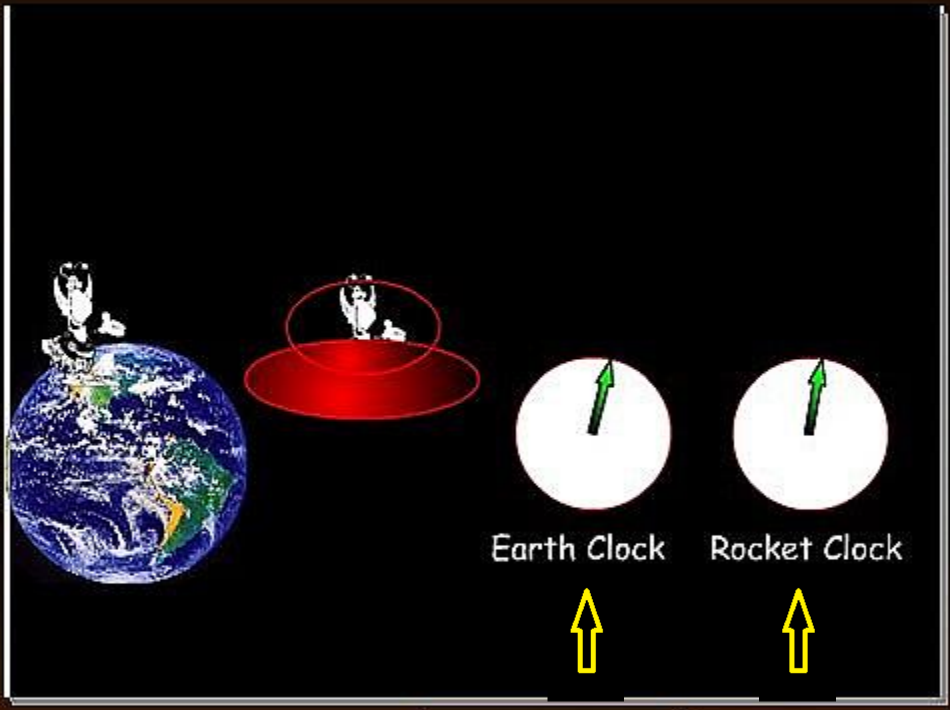
Esempio: $v = 0.8\,c \rightarrow 1/\gamma = 0.6$

Sul sistema in **movimento** il tempo scorre al 60% del tempo nel sistema in **quiete**

DILATAZIONE DEL TEMPO

Con $v \rightarrow 0$ abbiamo $t \rightarrow t'$

Con $v \rightarrow c$ abbiamo $t' \rightarrow 0$



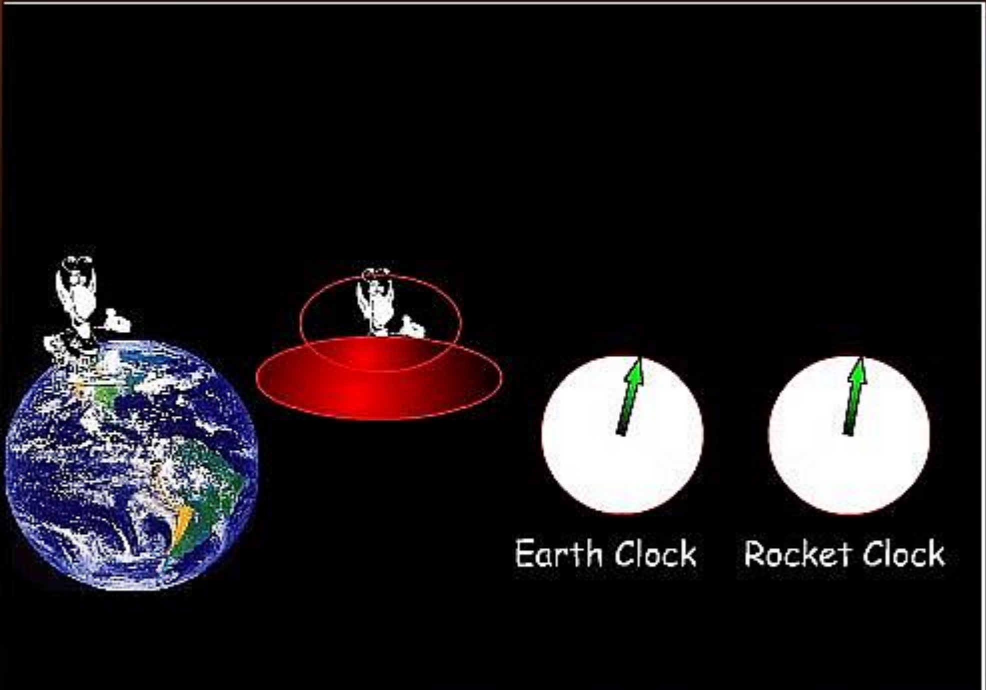
Orologio dell'osservatore a terra (t)

Orologio dell'osservatore sull'astronave (t')

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

Rapporto v/c	Velocita in (Km/s)	Orologio a terra (anni)	Orologio astronave (anni)
0	-	100,0	100,0
0,03448276	10.345	100,0	99,9
0,06896552	20.690	100,0	99,8
0,10344828	31.034	100,0	99,5
0,13793103	41.379	100,0	99,0
0,17241379	51.724	100,0	98,5
0,20689655	62.069	100,0	97,8
0,24137931	72.414	100,0	97,0
0,27586207	82.759	100,0	96,1
0,31034483	93.103	100,0	95,1
0,34482759	103.448	100,0	93,9
0,37931034	113.793	100,0	92,5
0,4137931	124.138	100,0	91,0
0,44827586	134.483	100,0	89,4
0,48275862	144.828	100,0	87,6
0,51724138	155.172	100,0	85,6
0,55172414	165.517	100,0	83,4
0,5862069	175.862	100,0	81,0
0,62068966	186.207	100,0	78,4
0,65517241	196.552	100,0	75,5
0,68965517	206.897	100,0	72,4
0,72413793	217.241	100,0	69,0
0,75862069	227.586	100,0	65,2
0,79310345	237.931	100,0	60,9
0,82758621	248.276	100,0	56,1
0,86206897	258.621	100,0	50,7
0,89655172	268.966	100,0	44,3
0,93103448	279.310	100,0	36,5
0,95103448	285.310	100,0	30,9
0,97103448	291.310	100,0	23,9
0,99103448	297.310	100,0	13,4

DILATAZIONE DEL TEMPO



Orologio dell'osservatore a terra

Orologio dell'osservatore sull'astronave

L'orologio della stazione Russa MIR, che viaggiava alla Velocità di 7,7 km/s , in un anno ha ritardato di 0,01sec ….. valore molto piccolo perché il rapporto v/c era piccolo. (V/c = 2,566 E-5)

Con v/c=0,991 avremmo avuto:

- Orologio a terra =365 di *(1di = 1 giorno)*
- Orologio nella MIR = 48 di (ritardo= 317 di)

Rapporto v/c	Velocita in (Km/s)	Orologio a terra (di)	Orologio astronave (di)
0	-	365,0	365,0
2,56667E-05	7.7	365.0	365.0
0,068965517	20.690	365,0	364,1
0,103448276	31.034	365,0	363,0
0,137931034	41.379	365,0	361,5
0,172413793	51.724	365,0	359,5
0,206896552	62.069	365,0	357,1
0,24137931	72.414	365,0	354,2
0,275862069	82.759	365,0	350,8
0,310344828	93.103	365,0	347,0
0,344827586	103.448	365,0	342,6
0,379310345	113.793	365,0	337,7
0,413793103	124.138	365,0	332,3
0,448275862	134.483	365,0	326,3
0,482758621	144.828	365,0	319,7
0,517241379	155.172	365,0	312,4
0,551724138	165.517	365,0	304,4
0,586206897	175.862	365,0	295,7
0,620689655	186.207	365,0	286,2
0,655172414	196.552	365,0	275,7
0,689655172	206.897	365,0	264,3
0,724137931	217.241	365,0	251,7
0,75862069	227.586	365,0	237,8
0,793103448	237.931	365,0	222,3
0,827586207	248.276	365,0	204,9
0,862068966	258.621	365,0	185,0
0,896551724	268.966	365,0	161,7
0,931034483	279.310	365,0	133,2
0,951034483	285.310	365,0	112,8
0,971034483	291.310	365,0	87,2
0,991034483	297.310	365,0	48,8
MIR-Russa	Diff.tempo=	-0,01 sec.	


DILATAZIONE DEL TEMPO t/t' IN FUNZIONE DEL RAPPORTO V/c
Dilatazione del tempo= t/t'
$$\frac{t}{t'} = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$
8,00
7,50
7,00
6,50
6,00
5,50
5,00
4,50
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,00
0,05
0,10
0,15
0,20
0,25
0,30
0,35
0,40
0,45
0,50
0,55
0,60
0,65
0,70
0,75
0,80
0,85
0,90
0,95
1,00
Rapporto velocità V/c

Il paradosso dei gemelli...

- Supponiamo che vi siano due gemelli, che chiameremo A e B, di cui uno, mettiamo B, un giorno, parte per un viaggio spaziale alla velocità V=9/10 *C;
- B, che viaggia a una velocità prossima a quella della luce, secondo i suoi orologi sull'astronave misura un tempo proprio, supponiamo, di **10 anni.**
- Per il fratello A, che è rimasto a terra, i suoi orologi misurano un tempo dilatato pari a DT' =DT/ √(1-v^2/C^2). A conti fatti gli orologi di A misurano un tempo pari **a 23 anni;**

Tutto questo farebbe presagire che in un eventuale ritorno del fratello astronauta (B) , troverebbe il fratello gemello (A) più vecchio di 13 anni.

B ha viaggiato nel futuro, tornando a casa e trovandosi 13 anni più avanti...

CONTRAZIONE DELLE LUNGHEZZE

Analogamente per il tempo, le trasformazioni di Lorentz possono essere usate per vedere come varia la misura della distanza nei due sistemi di riferimento.

Soltanto le distanze lungo il verso del moto sono influenzate.

Infatti troviamo:

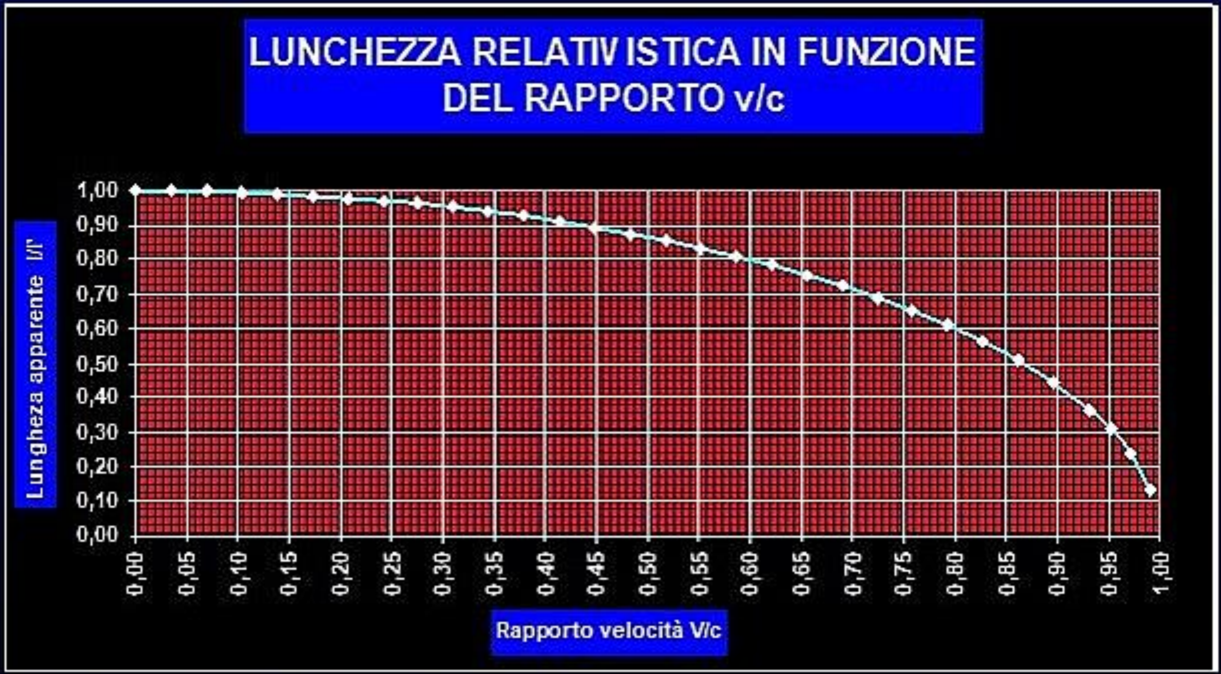
$$\boxed{l = l' \sqrt{1 - v^2 / c^2}}$$

Dove la l è una lunghezza di un oggetto nel senso del moto, misurata dall'osservatore fermo, ed l' è la lunghezza dello stesso oggetto misurata dall'osservatore che si muove alla velocità v.

L'osservatore fermo vede quindi una contrazione nella lunghezza di un oggetto misurata lungo il verso del moto.

CONTRAZIONE DELLE LUNGHEZZE

$$l = l'\sqrt{1 - v^2/c^2}$$



Velocità v/c	lunghezza apparente
0	1.000
0.2	0.980
0.4	0.917
0.6	0.800
0.8	0.600
0.9	0.436
0.95	0.312
0.99	0.141
0.995	0.100
0.999	0.045
0.9999	0.014

NB: Le trasformazioni di Lorentz sono simmetriche ….. l'astronauta in moto vede la terra contrarsi, l'osservatore a terra vede l'astronave in moto contrarsi.

LE TRASFORMAZIONI DI LORENTZ

Le equazioni di Lorentz che descrivono la dilatazione del tempo e la contrazione delle lunghezze, sono:

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

$$l = l' \sqrt{1 - v^2 / c^2}$$

Il peso delle equazioni di Lorentz si fa maggiormente sentire quando la velocità v si avvicina alla velocità c della luce.

Dove t ed l si riferiscono al sistema di riferimento fermo, mentre t' ed l' a quello in moto.

NB: - La lunghezza è influenzata solo nel verso del moto.
- Per la luce in se il tempo e la distanza non hanno significato. La luce esiste in un universo dove il tempo è istantaneo e tutte le distanze sono infinitamente piccole.

MASSA RELATIVISTICA

Possiamo viaggiare alla velocità della luce?
La teoria della Relatività dice no!.
Infatti la massa relativistica di un corpo in movimento è data dalla seguente relazione:

$$\boxed{m = \frac{m'}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}}$$

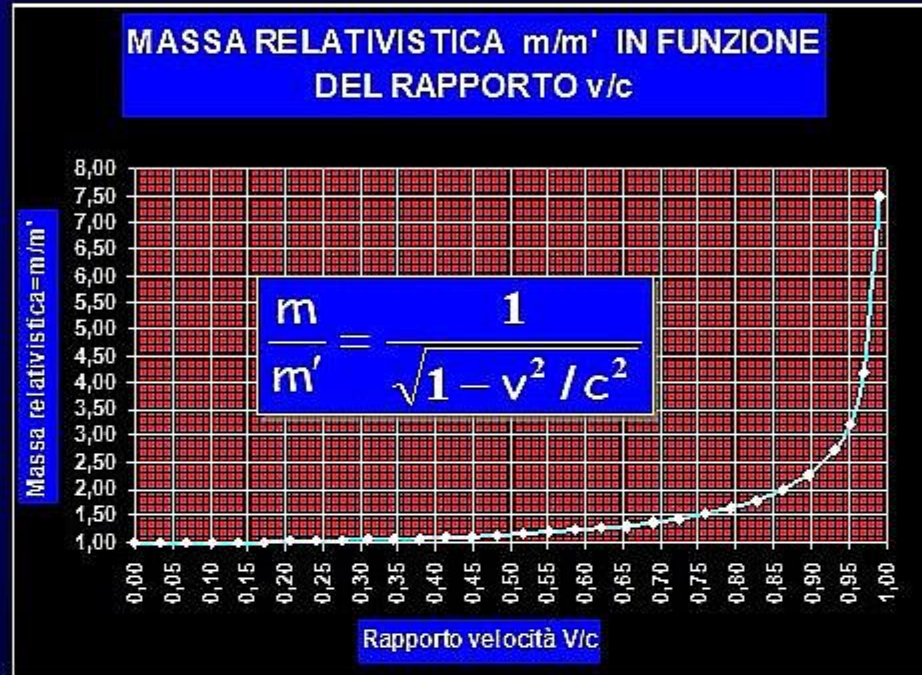
Dove: m' è la massa a riposo, ovvero la massa del corpo con $v = 0$.
m è la massa relativistica che varia con la velocità v.
ovvero la massa del corpo alla velocità v.

Quando la velocità v si avvicina a c la massa tende ad infinito.
E per questo motivo che non possiamo viaggiare alla velocità della luce e tanto meno oltre!!

RAPPORTO = m/m'

Il rapporto tra m/m' è dato dalla seguente relazione:

$$\frac{m}{m'} = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}$$



Dove: m' è la massa a riposo, ovvero la massa del corpo con v = 0.

m è la massa relativistica che varia con la velocità v.

ovvero la massa del corpo alla velocità v.

Quando la velocità v si avvicina a c il rapporto m/m' tende ad infinito. E per questo motivo che non possiamo viaggiare alla velocità della luce e tanto meno oltre!!

DINAMICA RELATIVISTICA

Anche se la Teoria della Relatività ristretta si interessa solo di oggetti che si muovono a velocità costante e utile conoscere come varia l'accelerazione al variare della forza.

Dalla fisica classica sappiamo che:

$$\underbrace{F}_{\text{Forza}} = \underbrace{m}_{\text{massa}} \times \underbrace{a}_{\text{accelerazione}}$$

Newton calcola a con la relazione:

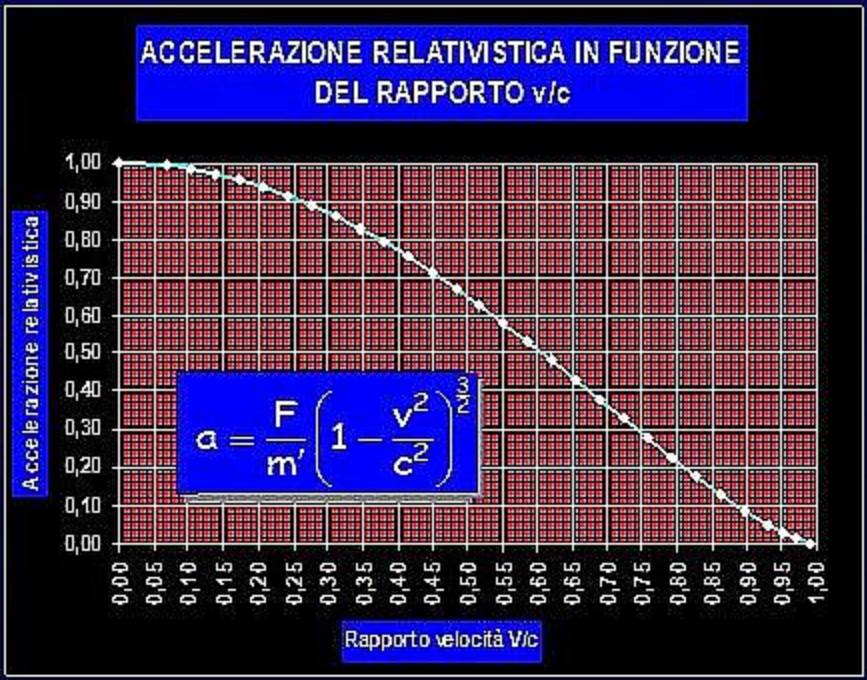
$$\boxed{a = \frac{F}{m}}$$

Einstein, calcola a con la seguente relazione:

$$\boxed{a = \frac{F}{m'}\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{3}{2}}}$$

DINAMICA RELATIVISTICA

$$a = \frac{F}{m'}\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{3}{2}}$$



L'equazione di Einstein ci dice che se applichiamo una forza costante su un oggetto esso inizia ad accelerare, nel campo delle basse velocità, seguendo la legge di Newton.

Con l'aumento della velocità l'accelerazione a diventa sempre più piccola.

Si osserva che quando la velocità tende a c la massa aumenta in modo che l'accelerazione tende a 0 .

La velocità della luce è irraggiungibile !!!!.... con m>0

ENERGIA RELATIVISTICA

Secondo Newton, l'energia cinetica E_k si calcola con la relazione:

$$\boxed{E_k = \frac{1}{2} m v^2}$$

Non è idonea per calcolo del moto ad alta velocità, con E_k tendente a ∞, V tende a ∞ !!!! Assurdo.

Secondo Einstein, l'energia cinetica relativistica si calcola con la relazione:

$$E_k = \frac{m' c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m' c^2$$

Energia a riposo

Energia cinetica relativistica

Energia totale relativistica

È idonea per il moto delle particelle ad alta velocità.
Infatti, con E_k tendente a ∞, V tende a c, come nella realtà.

I LIMITI DELLA FISICA CLASSICA

...moto alle alte velocità.

MECCANICA

Newton 1686

F = m a

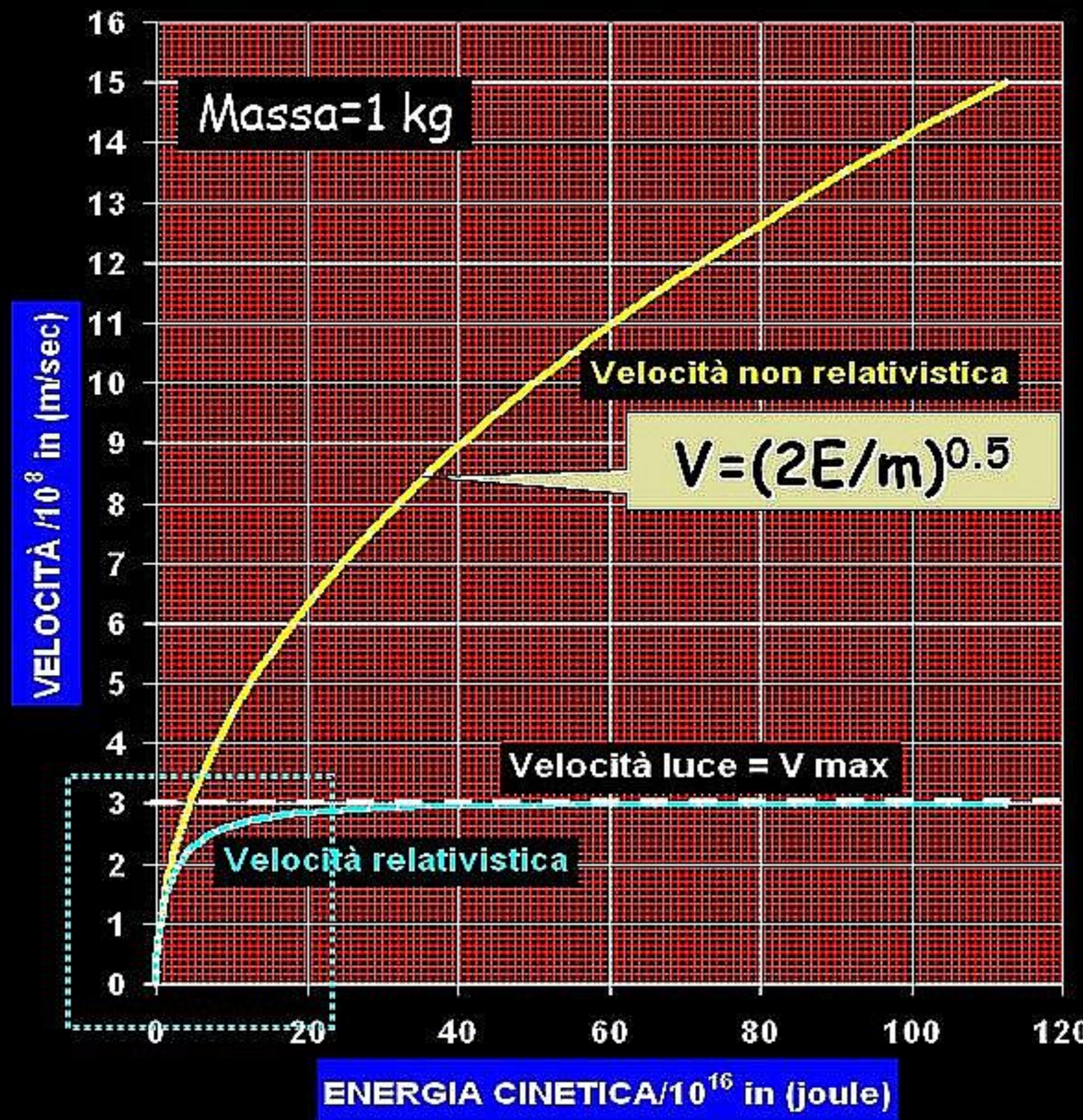
Equazione del moto

$$E = \frac{1}{2} * m * v^2$$

ovvero

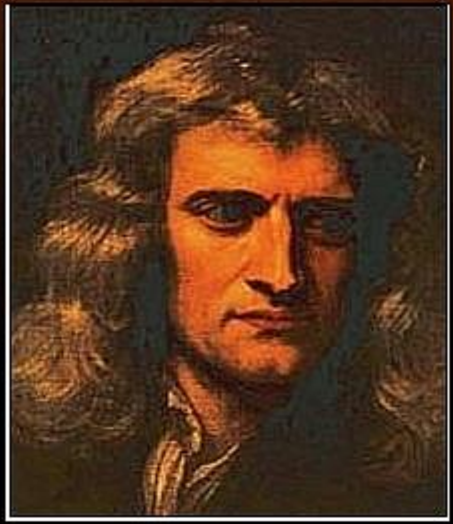
$$v = (2E/m)^{0,5}$$

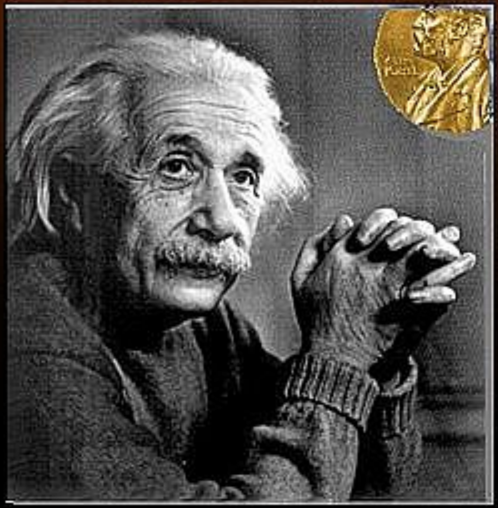
ANDAMENTO DELLA VELOCITÀ RELATIVISTICA IN FUNZIONE DELL'ENERGIA CINETICA



FISICA CLASSICA FISICA MODERNA

… cos'è in conflitto e che cosa cambia?





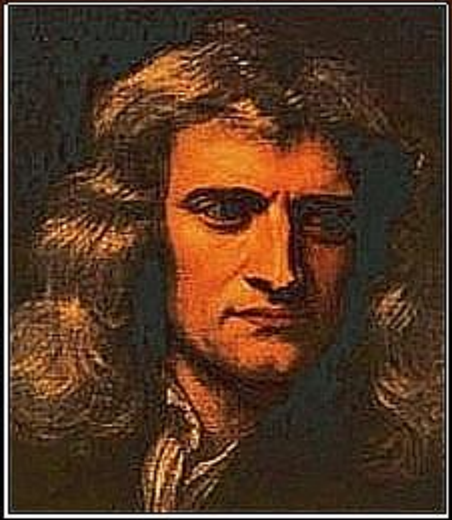
Newton dice:

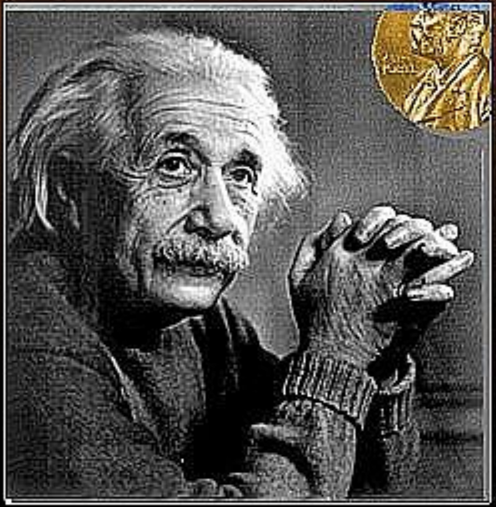
Gli intervalli di tempo e dello spazio sono assoluti ed indipendenti dal movimento dell'osservatore …..
La velocità della luce è relativa.

Einstein dice:

La velocità della luce è assoluta ed indipendente dal movimento dell'osservatore …..
Gli intervalli di tempo e dello spazio sono relativi.

Questa è la Teoria della relatività!





Newton dice: (1°teoria)

Gli intervalli di tempo e dello spazio sono assoluti ed indipendenti dal movimento dell'osservatore …..
La velocità della luce è relativa.

Einstein dice: (2°Teoria)

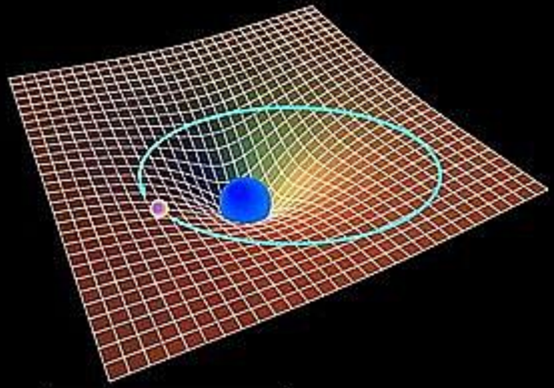
La velocità della luce è assoluta ed indipendente dal movimento dell'osservatore …..
Gli intervalli di tempo e dello spazio sono relativi.

Newton e Einstein

Newton: gravità è una forza

La Terra si muove su orbita curva intorno al Sole perché la gravità solare la costringe ad allontanarsi dal suo cammino rettilineo naturale

Einstein: gravità è curvatura



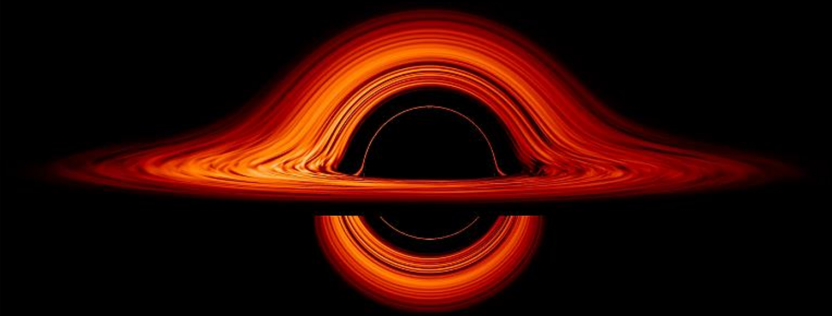
CONTRAZIONE DELLE LUNGHEZZE + DILATAZIONE DEI TEMPI = **SPAZIO-TEMPO SONO ELASTICI** = **TESSUTO IN GOMMA**

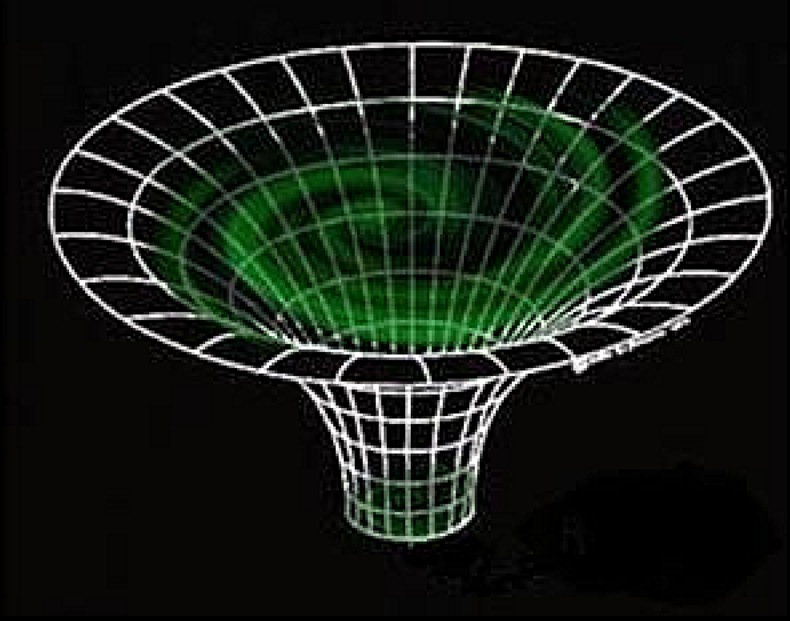
E' possibile andare nel futuro?

Si !!

basta andare a visitare un buco nero...

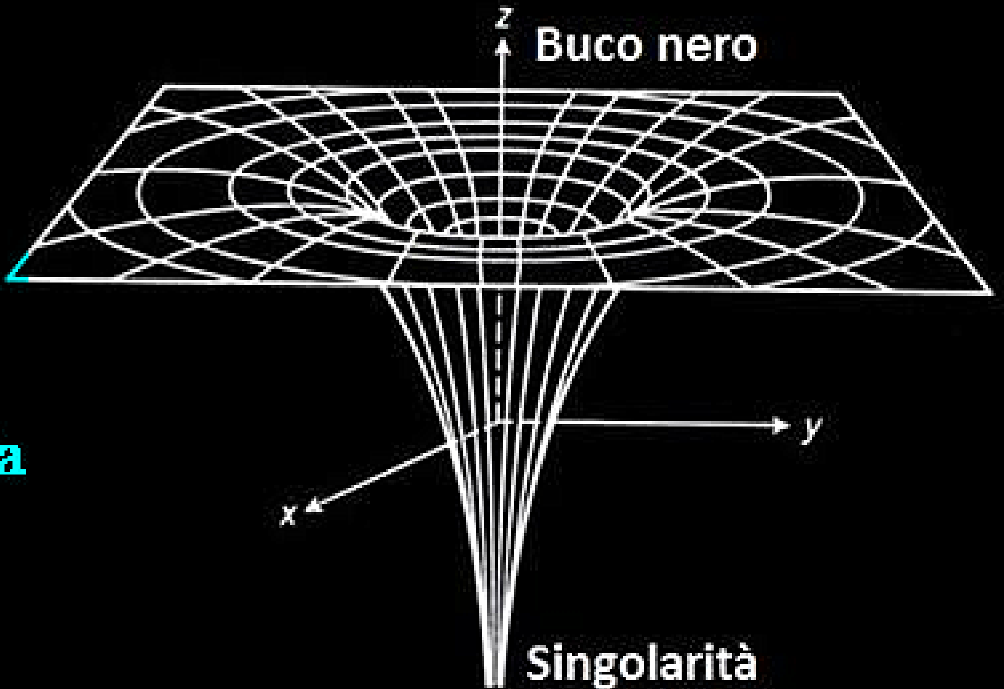
e poi tornare a casa...



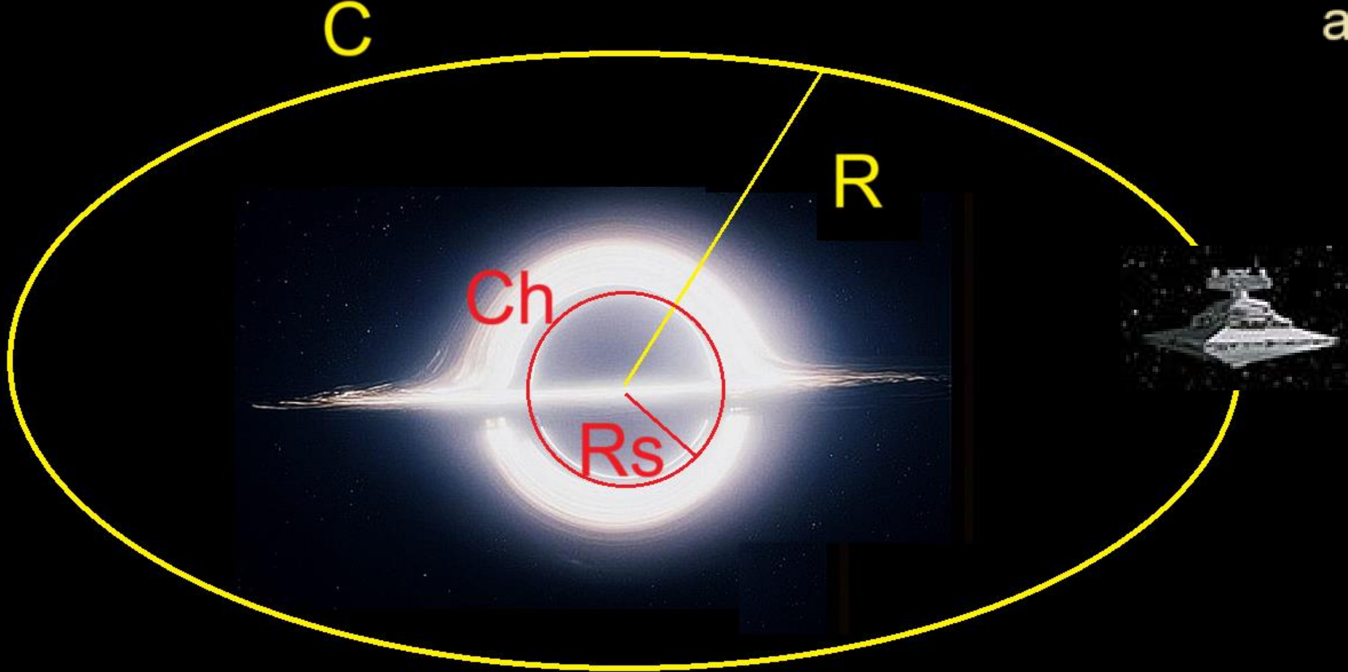


Particolarmente interessanti in chiave viaggio temporale sono dei corpi celesti chiamati buchi neri. Tali corpi sorgono dalla morte delle stelle più grandi in seguito al collasso delle stesse quando non hanno più idrogeno o elio da fondere per bilanciare la loro stessa forza gravitazionale.

I buchi neri sono interessanti in quanto generano la deformazione del tessuto spazio-temporale più accentuata mai vita, infatti essi al loro centro hanno un punto di massa pressochè infinita chiamato singolarità. Tale singolarità esercita un'attrazione gravitazionale tale che neanche la luce riesce a fuggire, da ciò il loro nome.



Viaggio intorno
ad un Buco Nero



$$\boxed{R_s = \frac{2GM}{c^2}}$$

$$C = 2\,\pi\,R$$

Lunghezza dell'orbita
dell'astronave

$$\boxed{R_s(km) \approx 3 \times \frac{M_{stella}}{M_{Sole}}}$$

$$Ch = 2\,\pi\,Rs$$

Lunghezza dell'Orizzonte
degli eventi del BH

Dilatazione temporale

$$To = \frac{2\,c}{g}\,\sinh\left(\frac{g}{2\,c}\,Ta\right)$$

To = Tempo trascorso sulla Terra

Ta = Tempo trascorso sull'astronave

c = velocità della luce

g = 9.81 m/sec ^{2} (accelerazione di gravità sull'astronave)

sinh(x) = funzione seno iperbolico di x

Dove Ch è la circonferenza dell'orizzonte degli eventi e C è l'orbita che stiamo percorrendo (leggermente più grande dell'orizzonte)

C/Ch	T1 (giorni) vicino al buco nero	T2 (giorni) lontano dal buco nero
2	1	1,414214
1,5	1	1,732051
1,25	1	2,236068
1,125	1	3
1,0625	1	4,123106
1,03125	1	5,744563
1,015625	1	8,062258
1,007813	1	11,357456
1,003907	1	16,029687
1,001954	1	22,644441
1,000977	1	32,008459
1,000489	1	45,232618
1,000245	1	63,895482
1,000123	1	90,172509
1,000062	1	127,004064
1,000031	1	179,608086
1,000016	1	250,002
1,000008	1	353,554805
1,000004	1	500,001
1,000002	1	707,107488
1,000001	1	1000,0005

Ta = 1 giorno

Grazie alla deformazione che i campi gravitazionali imprimono al continuum, il viaggio nel tempo risulta sempre più realistico e non necessiterebbe più di viaggi a velocità pressoché luminali; basterebbe viaggiare per un po' intorno a un buco nero per veder scorrere il tempo molto più lentamente che sulla Terra.

Cosa succederebbe se attraversassimo l'orizzonte degli eventi? Oltre tale orbita niente può più tornare indietro, ma è proprio tale estrema regione che potrebbe nascondere una nuova possibilità per il viaggio nel tempo. Infatti secondo alcune teorie sarebbe possibile evitare di cadere necessariamente sulla singolarità o di venire stirati dalla grande differenza di forze tra il capo e i piedi.

Se decidete di cadere in un Buco Nero,
sceglietelo mooolto grande.

Più il Buco Nero è grande e massivo
e meno è pericoloso...

Il bello deve ancora venire…

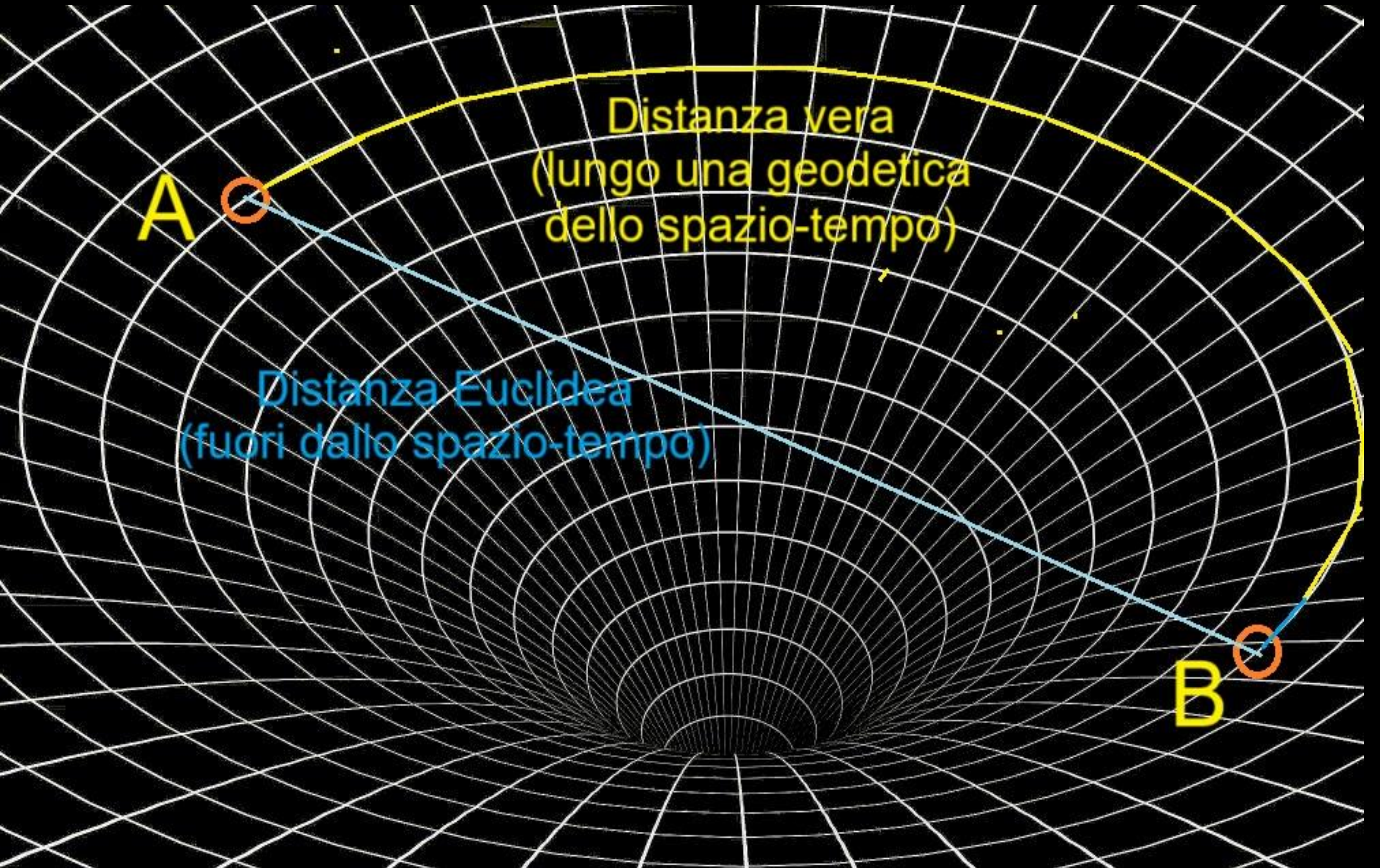

Viaggiare nello
Spazio
come?

La Metrica dell'Universo

Stabilire la Metrica dell'Universo equivale a formulare una regola per calcolare le distanze in quell'Universo

Distanza euclidea: fissata e costante per ogni coppia di punti nello spazio...

E' la distanza minima...



Lo spazio-tempo non è euclideo

Massima velocità raggiungibile:

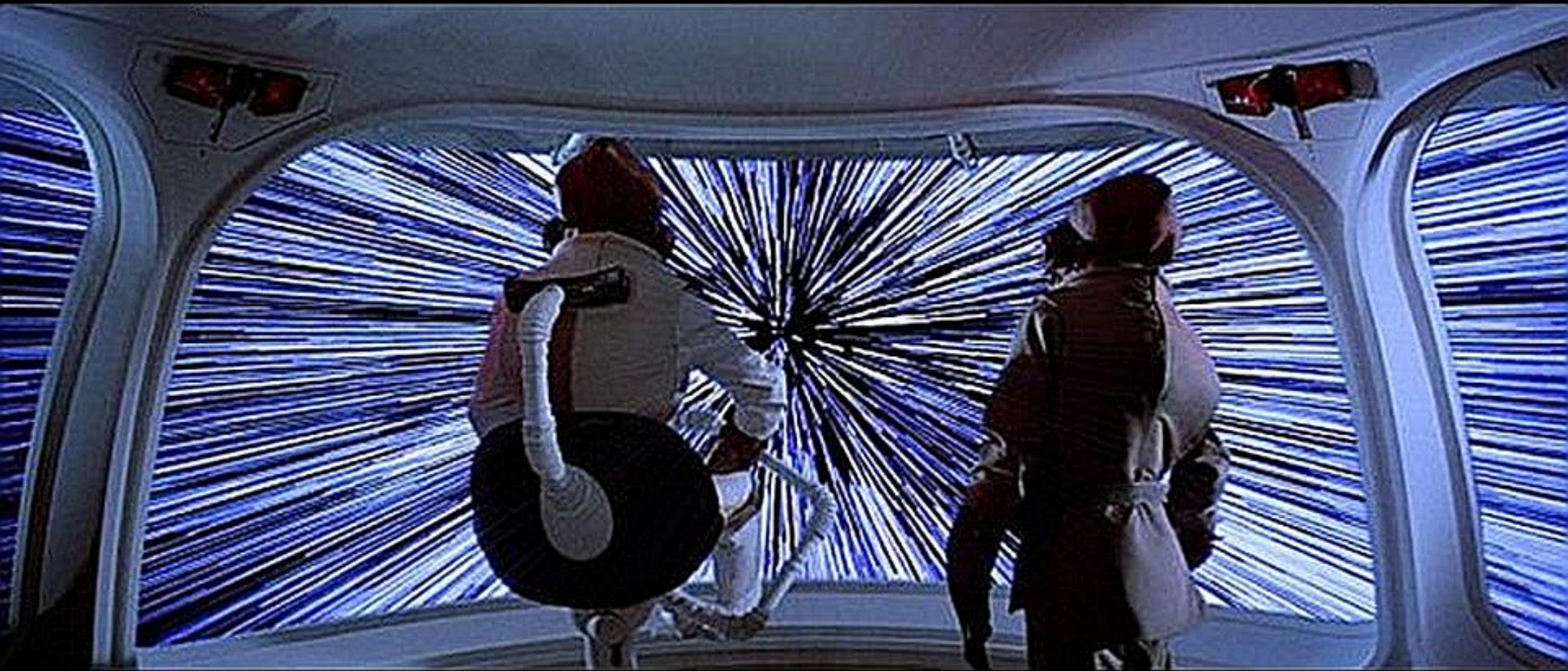
la velocità della luce

c = 300.000 Km/sec

tempo di viaggio: massimo...

T(anni) = distanza (AL) / c

Viaggi superluminali



$V > c$

VIAGGI SUPERLUMINALI

INDIRETTAMENTE POSSIBILI

...SFRUTTARE LA GEOMETRIA DELLO SPAZIO-TEMPO...

Possibili....

Ecco il trucco....

Equazione di Campo di Einstein

Curvatura Spazio-Tempo

Massa
densità di Energia, pressione, tensione

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} = -\frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

Tensore di curvatura di Ricci
descrive la curvatura dello spazio-tempo

Tensore metrico
descrive la metrica dello spazio-tempo

Tensore stress-energia

Tensore di Stress-Energia

simmetria sferica

$$T_{ik} = \begin{pmatrix} \rho c^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \tau & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p \end{pmatrix}$$

ρ = densità di massa (massa/volume)

ρc^2 = densità di energia (Energia/volume)

τ = tensione radiale

p = pressione laterale

Tensore Metrico

simmetria sferica

Maggiore è il campo gravitazionale e maggiore è la curvatura.

Si, ma c'è un limite...

$$g_{ik} = \begin{pmatrix} \left(1-\frac{2GM}{c^2r}\right) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{\left(1-\frac{2GM}{c^2r}\right)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -r^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -r^2\mathrm{sen}^2\theta \end{pmatrix}$$

$$\text{Curvatura} = \frac{G\,\rho}{c^2}$$

$$\frac{G}{c^2} = 7.4 \times 10^{-30} \quad \text{m/Kg}$$

Raggio di Schwartzschild

$$\boxed{r_s = \frac{2GM}{c^2}}$$

r_s = raggio

G = costante di gravitazione universale

M = massa

c = velocità della luce

La soluzione di Schwarzschild

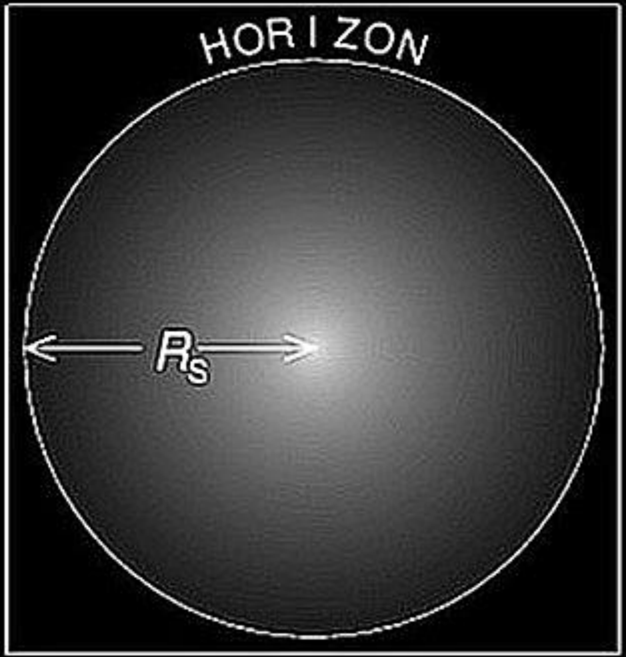
Nel 1916 l'astrofisico Karl Schwarzschild trova per primo una soluzione alle equazioni della relatività di Einstein per un oggetto sferico, statico e immerso in uno spazio vuoto. Se l'oggetto è concentrato entro un raggio critico, allora nulla, neanche la luce, può più uscirne.

Karl Schwarzschild (1873-1916)

Raggio di Schwarzschild

$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

$$R_s\,(km) \approx 3 \times \frac{M_{stella}}{M_{Sole}}$$



Nel 1967, Wheeler li battezza buchi neri

Che succede a casa nostra? cioè vicino al Sole…

Prendiamo il primo termine del tensore metrico g_{00}

$$g_{00} = 1 - \frac{2\,G\,M}{r\,c^2}$$

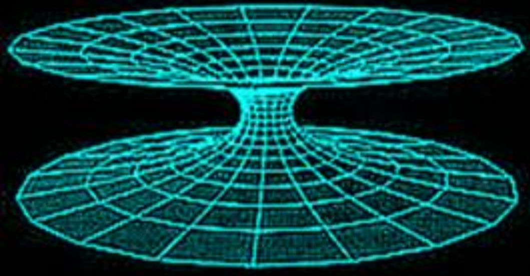
$\dfrac{2\,G\,M_{sole}}{c^2\,R_{sole}}$ è dell'ordine di 10^{-6}

$M_{sole} = 2 \times 10^{30}$ Kg

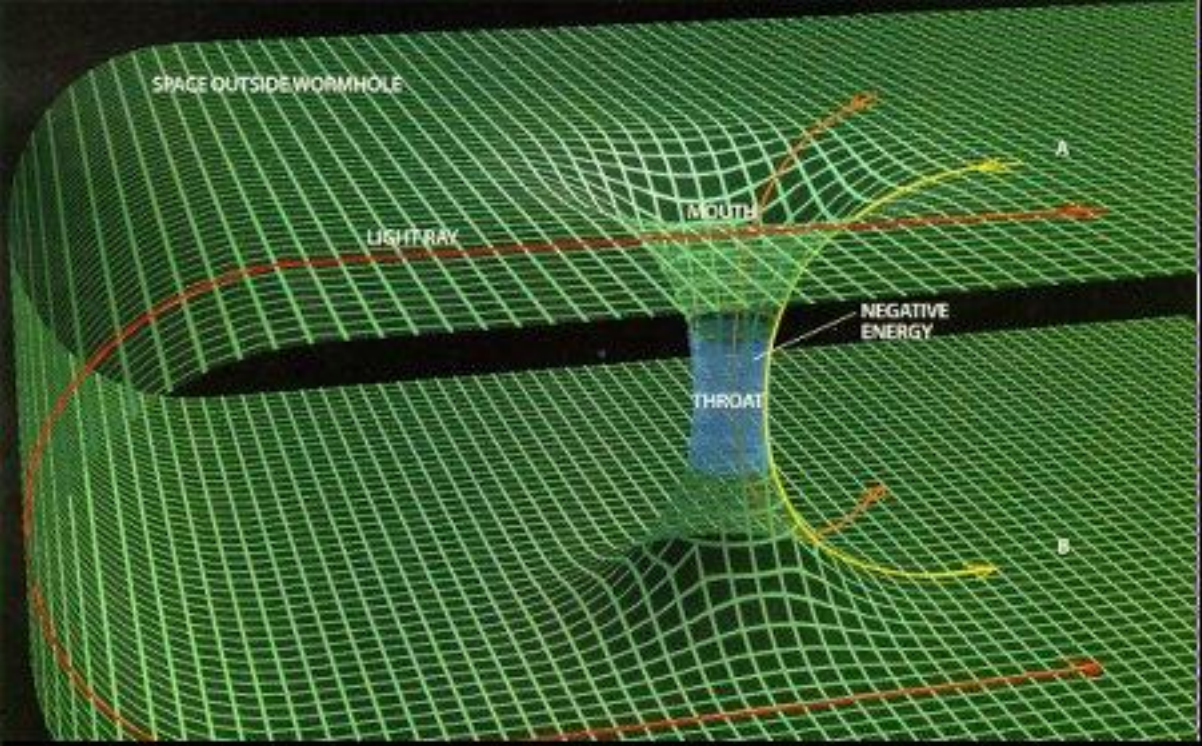
$R_{sole} = 7 \times 10^{8}$ m

...che rappresenta una correzione molto piccola alla metrica piatta (euclidea)...

Wormholes



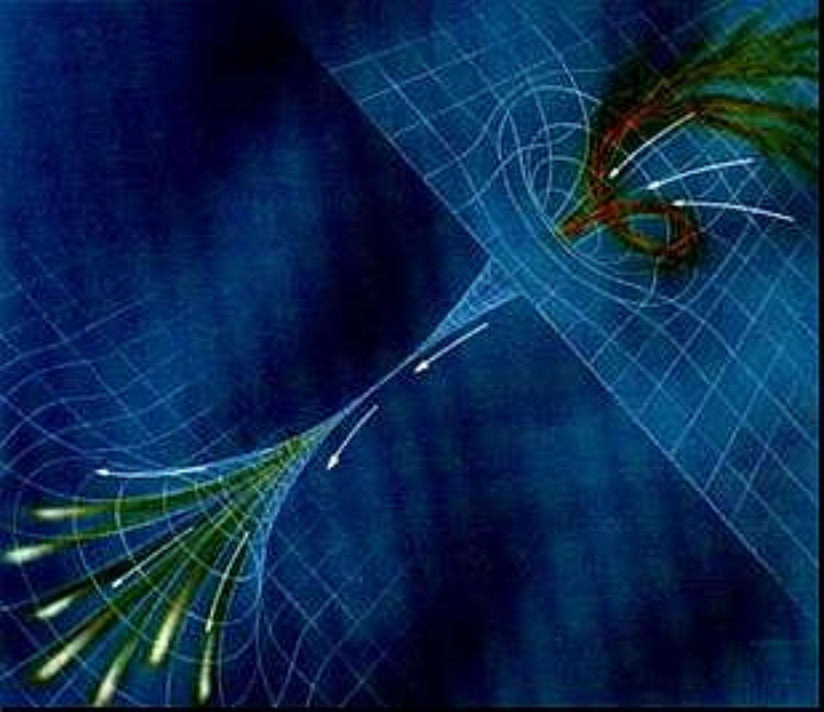
Una scorciatoia attraverso lo spazio-tempo



Tale possibilità è rappresentata dai Wormhole, o pointi di Einstein-Rosen. Questi buchi neri hanno caratteristiche speciali:

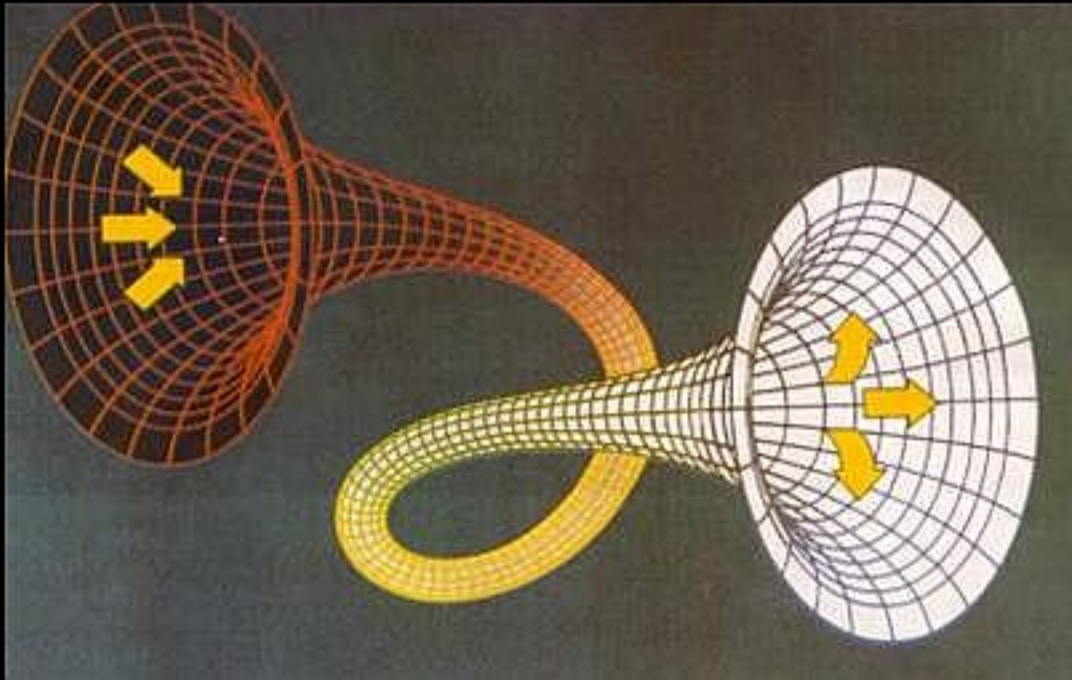
- Devono essere rotanti
- Devono avere una massa molto grande, almeno 1000 masse solari

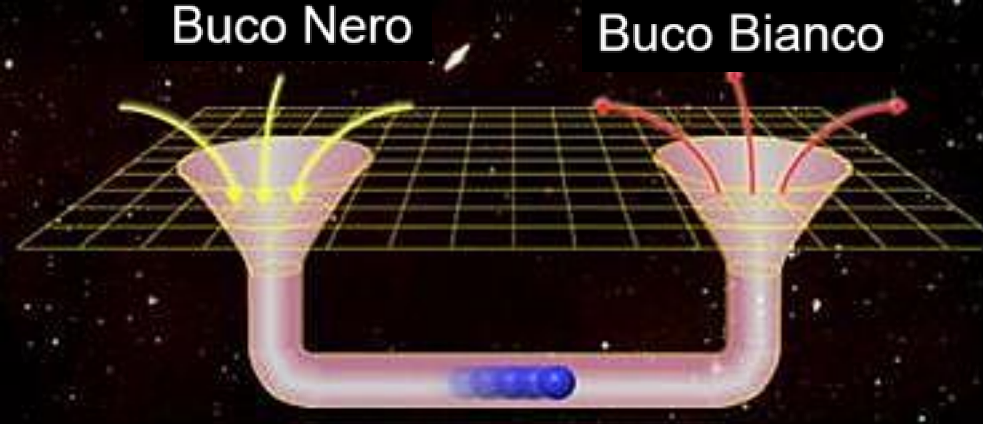
Il primo requisito risulta necessario per l'attraversamento del wormhole: un buco nero rotante potrebbe non avere una singolarità nel suo centro, bensì una specie di anello. In questa maniera sarebbe possibile attraversarlo senza necessariamente finirvi addosso. Il secondo requisito è necessario per la sopravvivenza di qualsiasi oggetto dopo aver attraversato l'orizzonte, infatti avendo una grande massa, e quindi un grande raggio, le forze che vengono esercitate su un oggetto che attraversasse l'orizzonte potrebbero essere sopportabili.



Oppure potrebbero collegare due universi paralleli e risultare quindi essere, oltre che dei passaggi tra due tempi e spazi differenti, anche tra due universi. Quest'ultima possibilità semplificherebbe la diatriba intorno ai problemi che il viaggio nel tempo crea, in quanto modificando il passato dell'universo di arrivo non modificheremmo il nostro.

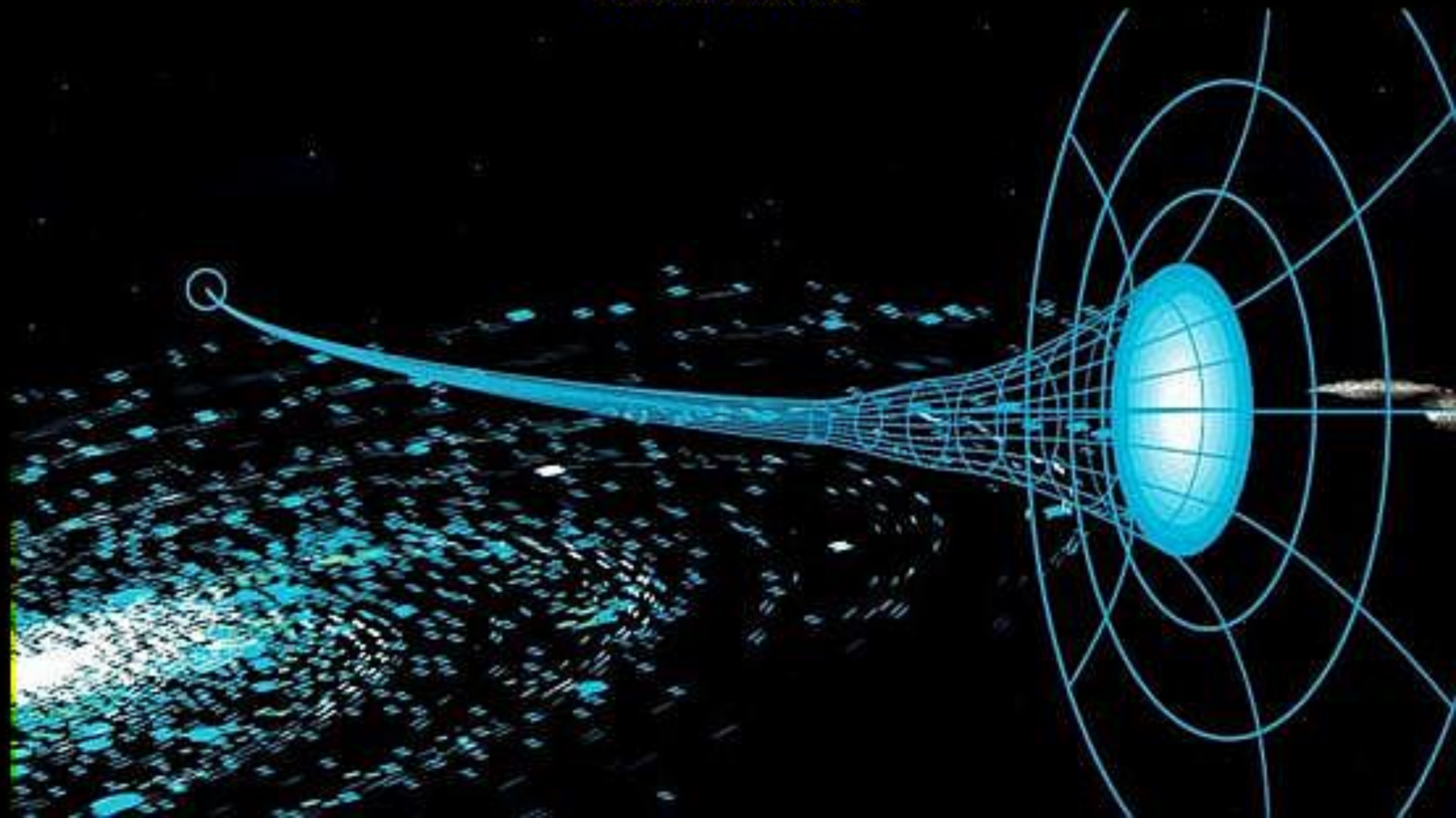
Anche queste "macchine del tempo" risultano avere delle problematiche: prima di tutto non si sa con precisione quali siano le leggi fisiche dopo aver attraversato l'orizzonte, inoltre non sarebbe possibile un viaggio di ritorno e saremmo costretti dall'altra parte.



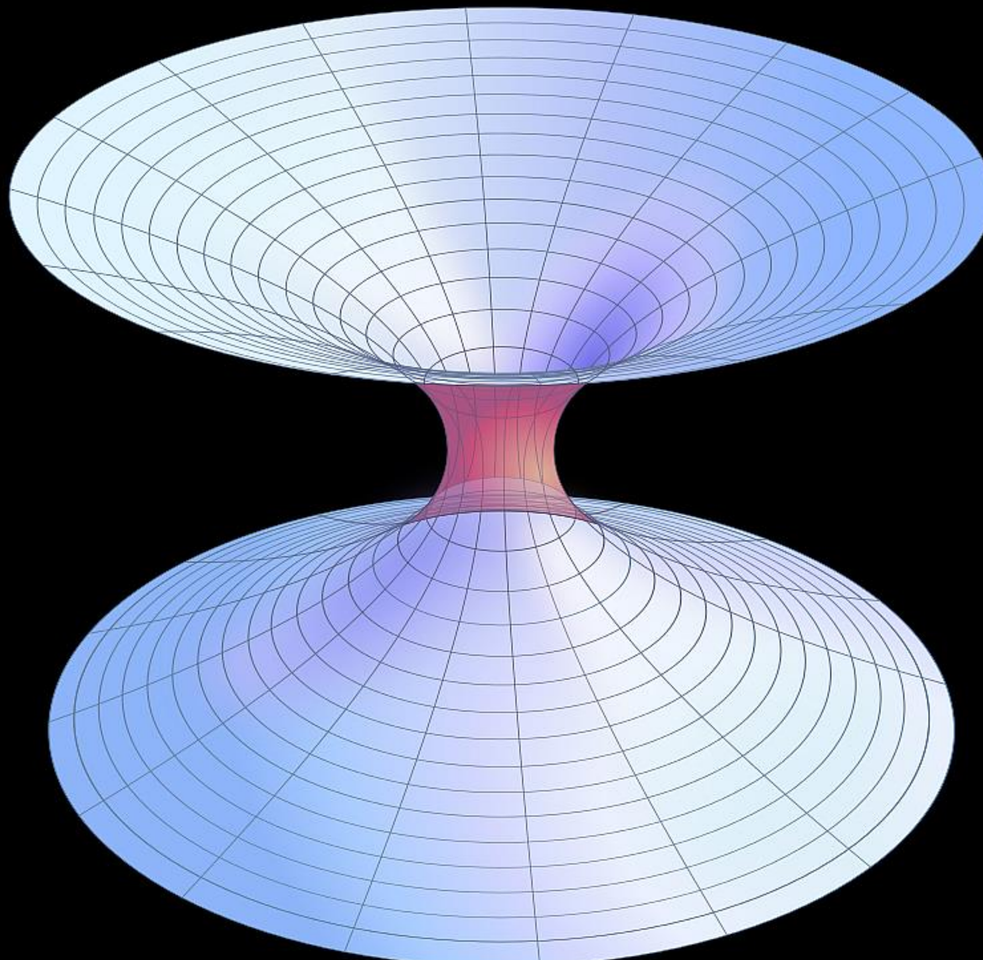


Anche in un caso di pieno rispetto dei due requisiti fondamentali, niente però ci assicura un viaggio proficuo. Infatti per un viaggio di tale genere sono necessari altri corpi detti “buchi bianchi” che espellono la materia catturata dal buco nero.

Questi cunicoli potrebbero collegare zone diverse dello stesso universo, quindi rappresentare scorciatoie che ci farebbero viaggiare nel tempo e nello spazio.




Con gli Wormhole Lorentziani è più semplice…
Gli Wormholes Lorenziani non hanno singolarità e nemmeno un orizzonte degli eventi quindi sono attraversabili.
Basta progettarli bene…



Un wormhole lorenziano bidimensionale che può collegare due punti distanti dello stesso universo oppure due differenti universi.

Senza singolarità e
senza orizzonte degli eventi alla
strozzatura

Ecco come funziona...

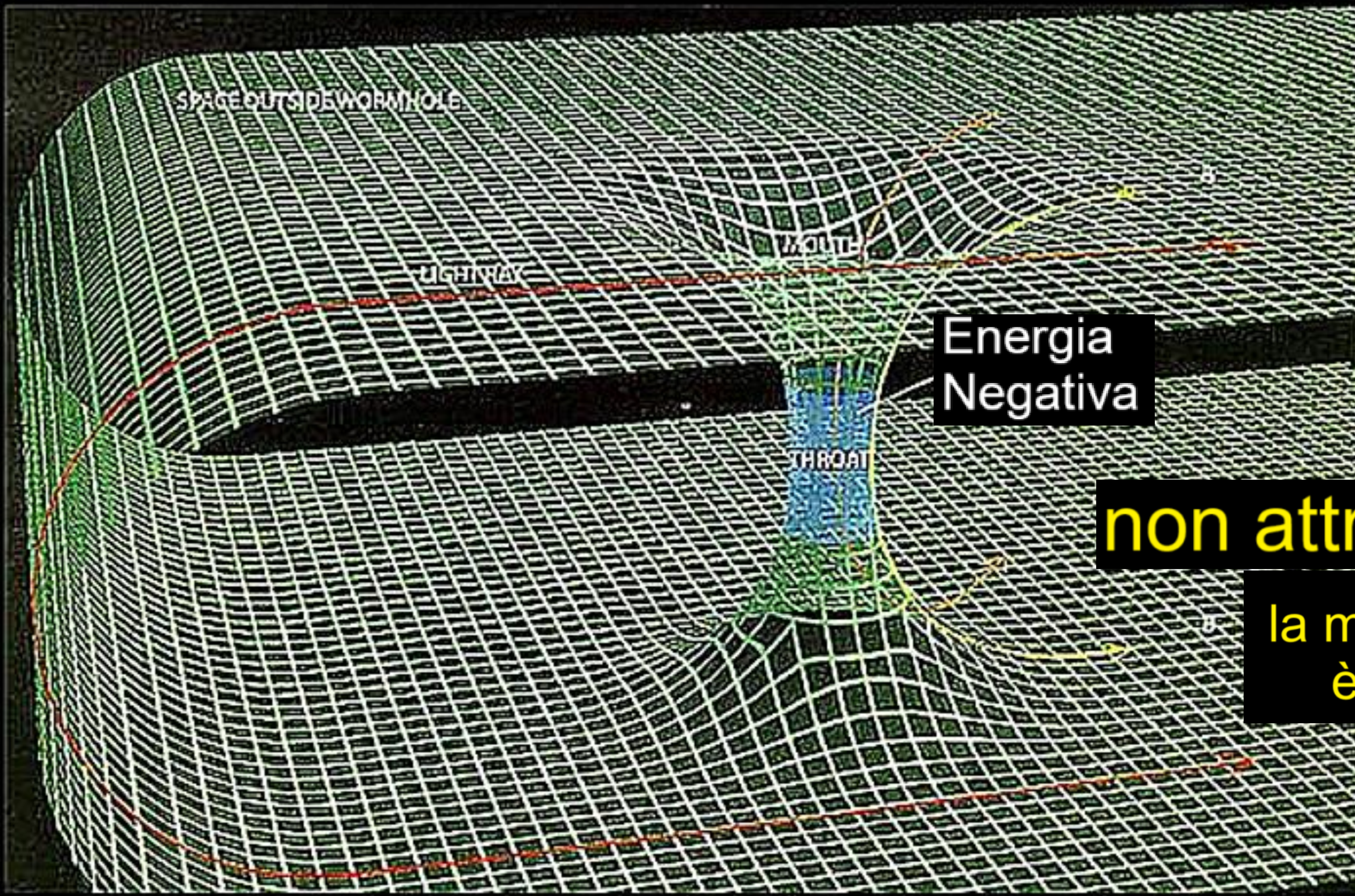
Se temete di non sopravvivere saltate pure questa slide...

L'equazione del campo gravitazionale di Einstein è la seguente:

$$G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - \tfrac{1}{2}\, g_{\mu\nu} R = -[8\,\pi\, G/c^4]\, T_{\mu\nu}$$

Dove $G_{\mu\nu}$ è il tensore di curvatura di Einstein, $R_{\mu\nu}$ è il tensore di curvatura di Ricci, R è lo scalare di Ricci che corrisponde alla traccia (la diagonale principale) del tensore $R_{\mu\nu}$ e $T_{\mu\nu}$ è il tensore sforzo-energia cioè una quantità matriciale che codifica la densità e il flusso dell'energia e della quantità di moto di una sorgente di materia, di fatto quella che genera il campo gravitazionale, G è la costante di gravitazione universale di Newton ($6{,}673 \times 10^{-11}$ Nm^2/kg^2) e c è la velocità della luce nel vuoto (3×10^8 m/sec). In termini molto semplificati, questa relazione afferma che la gravità, non è una forza, bensì è una manifestazione della curvatura locale dello spazio-tempo la cui geometria è definita dagli elementi del tensore $G_{\mu\nu}$ che nel caso generale sono 16, ma che in realtà, salvo casi particolari, sono solo 4 diversi da zero. Gli indici greci $\mu = 0, \dots, 3$ e $\nu = 0, \dots, 3$ indicano le coordinate spazio-temporali $X_0, \dots, X_3$, tali che $X_1, \dots, X_3$ sono le coordinate spaziali e X_0 è la coordinata temporale.

Ponte di Einstein-Rosen (Wormhole)



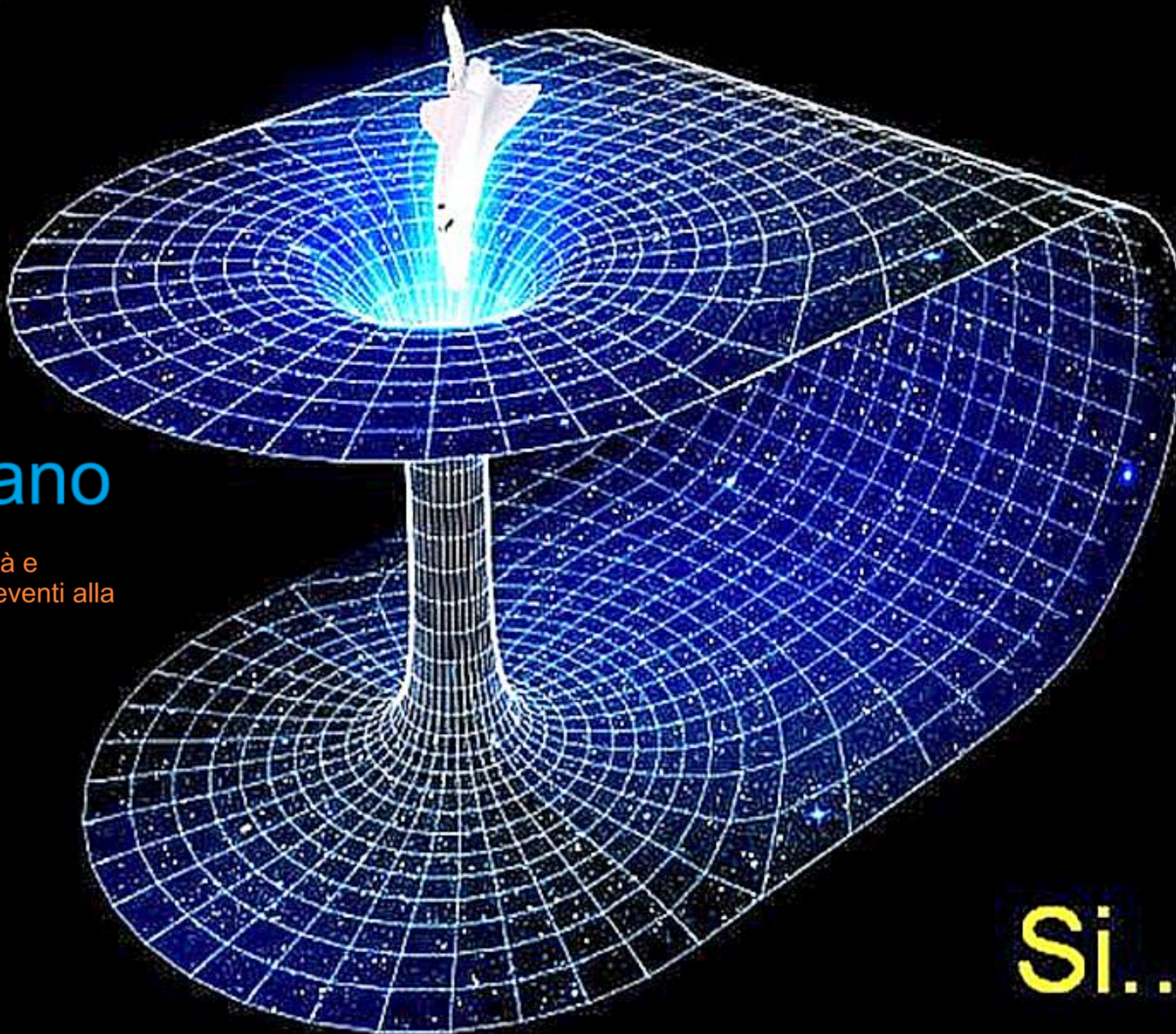
$E=M \cdot c^2$

non attraversabile!

la massa negativa
è all'interno!!

Nell'Universo la distanza non è costante, ma dipende dalla curvatura dello Spazio-Tempo

Si può passare attraverso?



Lorentziano

Senza singolarità e
senza orizzonte degli eventi alla
strozzatura

Si....

Requisiti per un wormhole attraversabile

1) Il tempo di viaggio attraverso il tunnel o la gola del wormhole dovrebbe essere di circa 1 anno, come visto sia dagli astronauti in viaggio che dagli osservatori statici esterni.

2) Il tempo proprio misurato dagli astronauti non deve essere dilatato da effetti relativistici.

3) Quando si attraversa il wormhole, l'accelerazione gravitazionale e l'accelerazione mareale-gravitazionale tra le diverse parti del corpo dei viaggiatori devono essere dell'ordine di 1g o in altre parole, circa pari all'accelerazione di gravità vicino alla superficie terrestre: ***1g = 9,81 m/s²***. (viaggio confortevole)

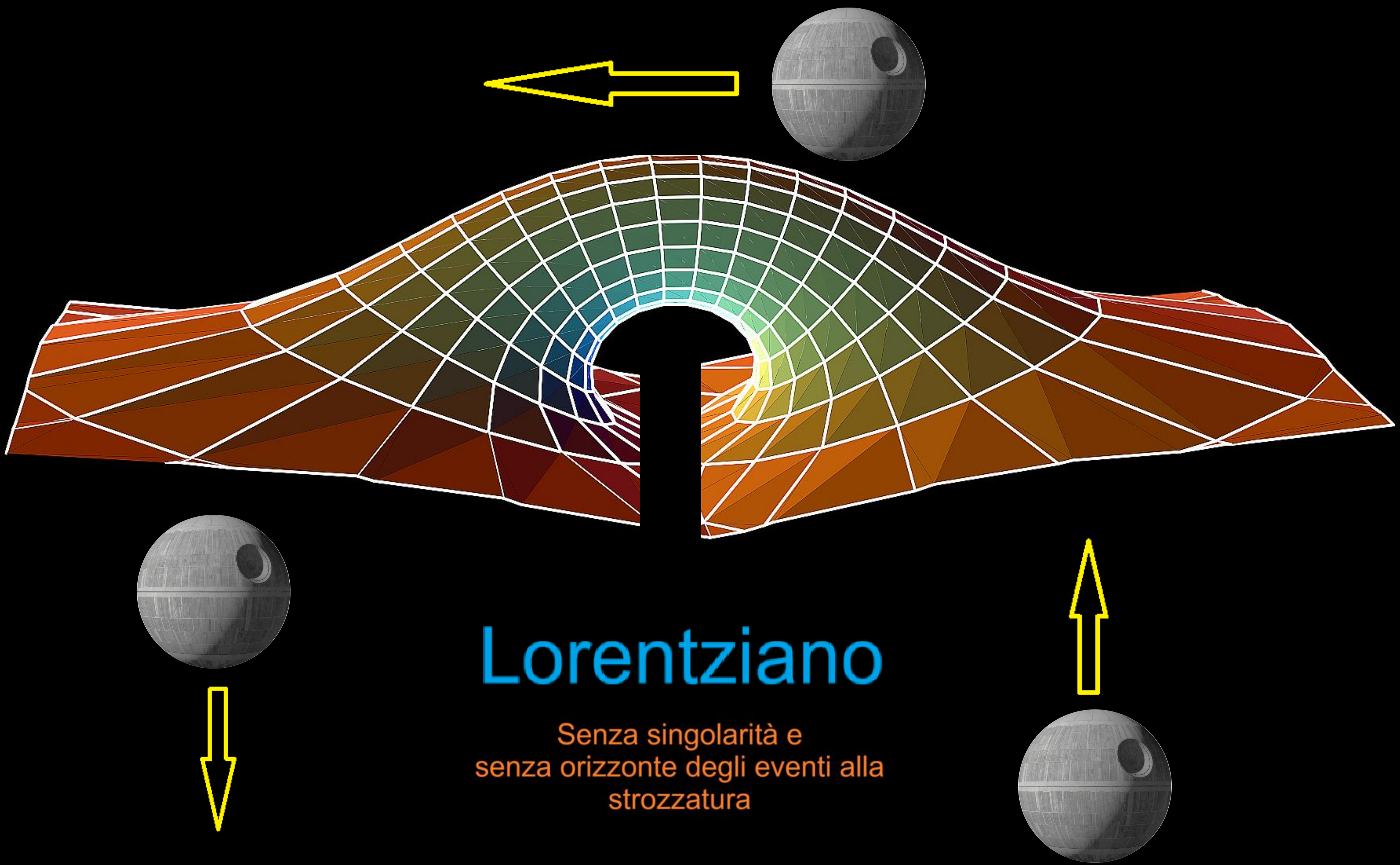
4) La velocità reale di viaggio attraverso il tunnel spazio temporale dovrebbe essere: $v \ll c$.

5) Gli astronauti umani e quindi composti da materia ordinaria non devono fondersi con il materiale che genera la curvatura del wormhole. Il wormhole deve essere attraversato da una sorta di tubo vuoto attraverso il quale i viaggiatori possano muoversi.

6) Non deve esistere un orizzonte degli eventi nella gola del wormhole, altrimenti si potrebbe verificare un'inversione temporale.

7) Non deve esistere una singolarità nella gola del wormhole, oppure della materia infinitamente collassata. Questo ucciderebbe immediatamente gli astronauti.

Wormhole attraversabile che connette due regioni distanti dello stesso universo



Lorentziano

Senza singolarità e
senza orizzonte degli eventi alla
strozzatura

Questi requisiti ci portano quindi a definire la seguente metrica sfericamente simmetrica in uno spazio-tempo lorentziano a simmetria sferica, ds^2 la quale descrive la geometria del wormhole attraversabile.

$$ds^2 = - e^{2\Phi(r)} c^2 dt^2 + [1-b(r)/r]^{-1} dr^2 + r^2 d\Theta^2$$

dove:

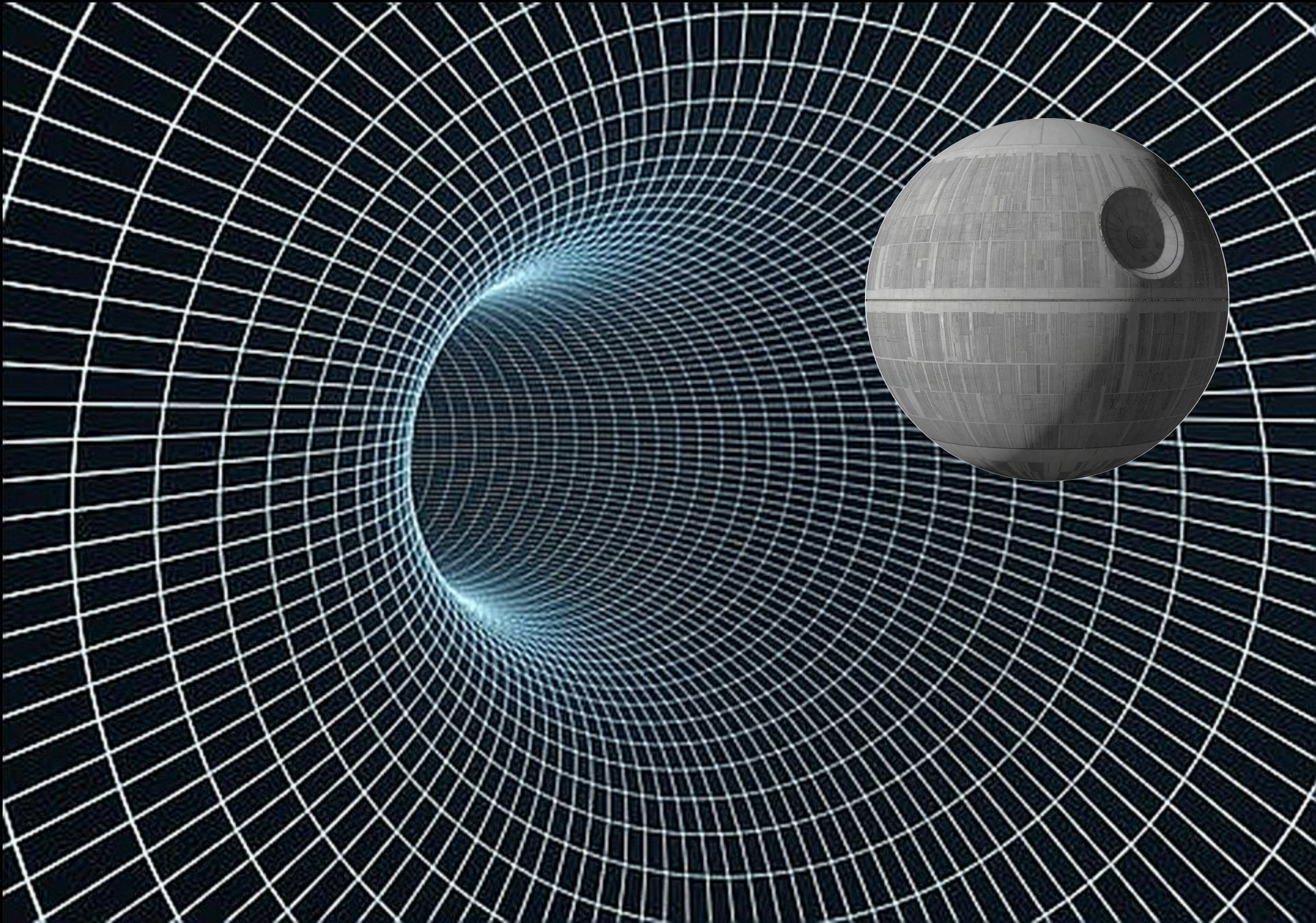
$$d\Theta^2 = d\theta^2 + \sin^2\theta \, d\varphi^2$$

in coordinate polari standard (r,θ,φ). Ricordiamo che una metrica spaziale, ds è una funzione di distanza Lorentz-invariante tra due punti qualsiasi dello spazio-tempo, definita da:

$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu$$

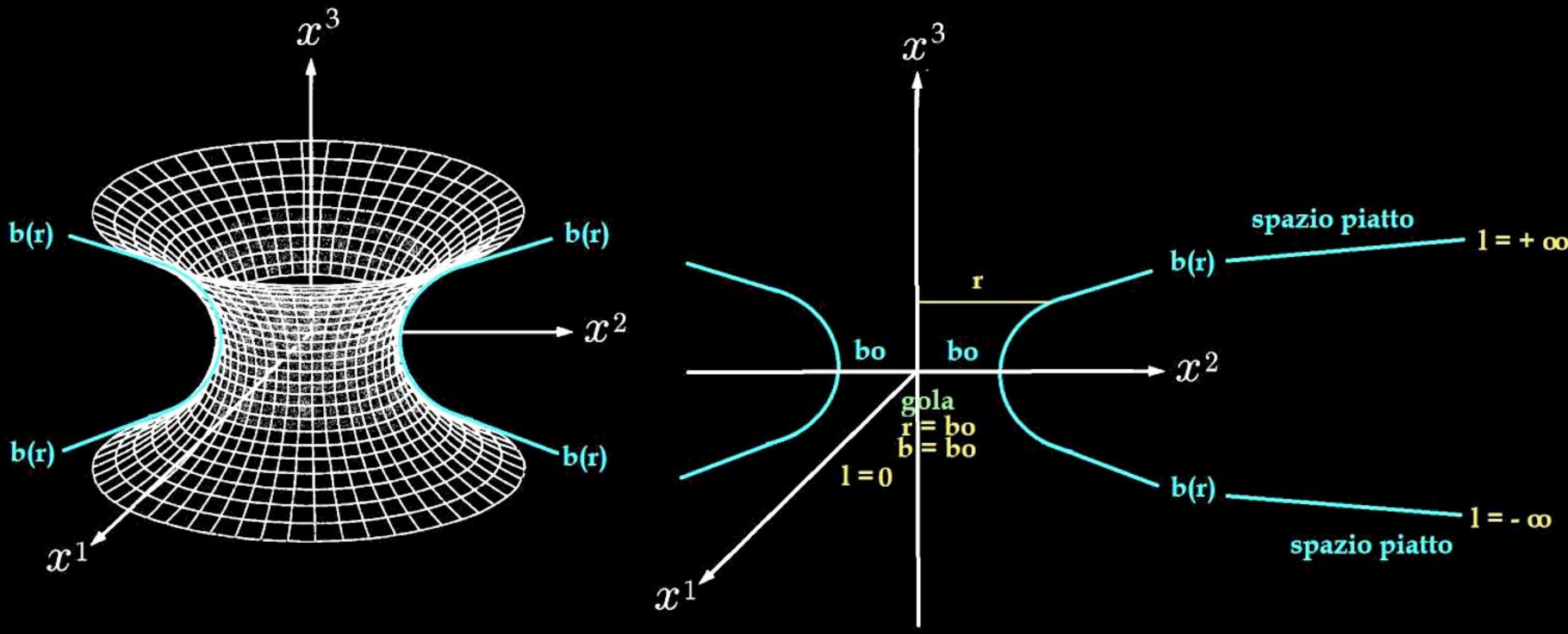
dove $g_{\mu\nu}$ è il tensore metrico che è una matrice di 4x4 =16 elementi che codifica la geometria dello spazio-tempo e dx^μ è la separazione infinitesima tra due punti di coordinate x^μ e x^ν. La funzione $\Phi(r)$ è una funzione di *redshift* liberamente specificabile che definisce il tempo proprio di attraversamento della gola del wormhole e $b(r)$ è una funzione di forma liberamente specificabile che definisce la geometria spaziale (ipersuperficie) della gola del wormhole.

Cunicolo spazio- temporale



Progettiamo un wormhole attraversabile

Lorentziano



schema esplicativo

Soluzione

Sia ***b(r)*** una funzione arbitraria che definisce il profilo del wormhole, (vedere lo schema precedente) dove ***r*** è la distanza di ogni punto dall'asse di simmetria $\mathbf{X^3}$ e sia $\Phi(r) = 0$ una funzione che descrive gli effetti della forza mareale esercitata dalla materia che compone il wormhole, allora per generare e tenere aperto quel particolare wormhole con un'ampiezza della gola pari a ***bo*** sono necessarie una densità di materia/energia $\rho(r)$ pari a:

$$\rho(r) = (db(r)/dr) \cdot c^2 / (8 \cdot \pi \cdot G \cdot r^2)$$

Energia Negativa

una tensione $\tau(r)$ pari a:

$$\tau(r) = b(r) \cdot c^4 / (8 \cdot \pi \cdot G \cdot r^3)$$

e una pressione laterale $p(r)$ pari a:

$$p(r) = [b(r) - (db(r)/dr)] \cdot c^4 / (16 \cdot \pi \cdot G \cdot r^3)$$

dove $(db(r)/dr)$ è la derivata prima della funzione arbitraria ***b(r)***.

Questa soluzione è una delle tante possibili che possono essere ottenute manipolando opportunamente l'equazione del campo gravitazionale di Einstein.

Elementi del tensore $T_{\mu\nu}$

$T_{tt} = \rho \cdot c^2$ è la densità di massa-energia.

$T_{rr} = -\tau$ è la tensione radiale

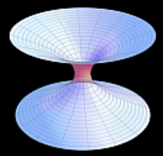
$T_{\theta\theta} = p$ è la pressione laterale

$T_{\varphi\varphi} = p$ è di nuovo la pressione laterale

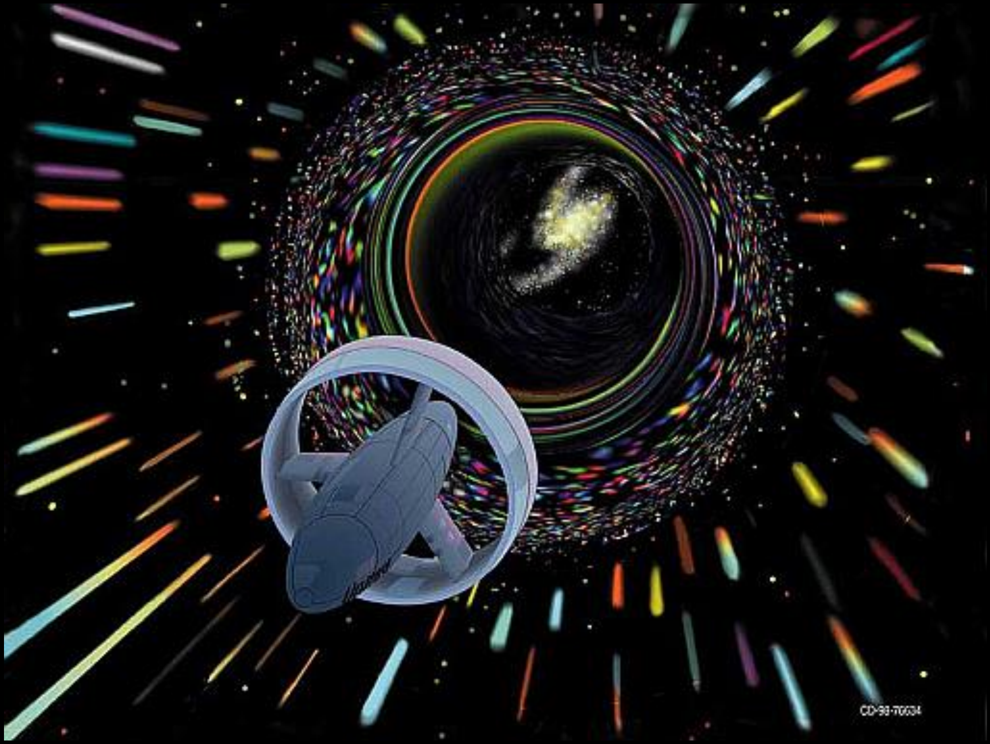
Energia Negativa

dell'equazione di Einstein:

$$G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - ½\, g_{\mu\nu} R = -[8\,\pi\, G/c^4\,]\, T_{\mu\nu}$$



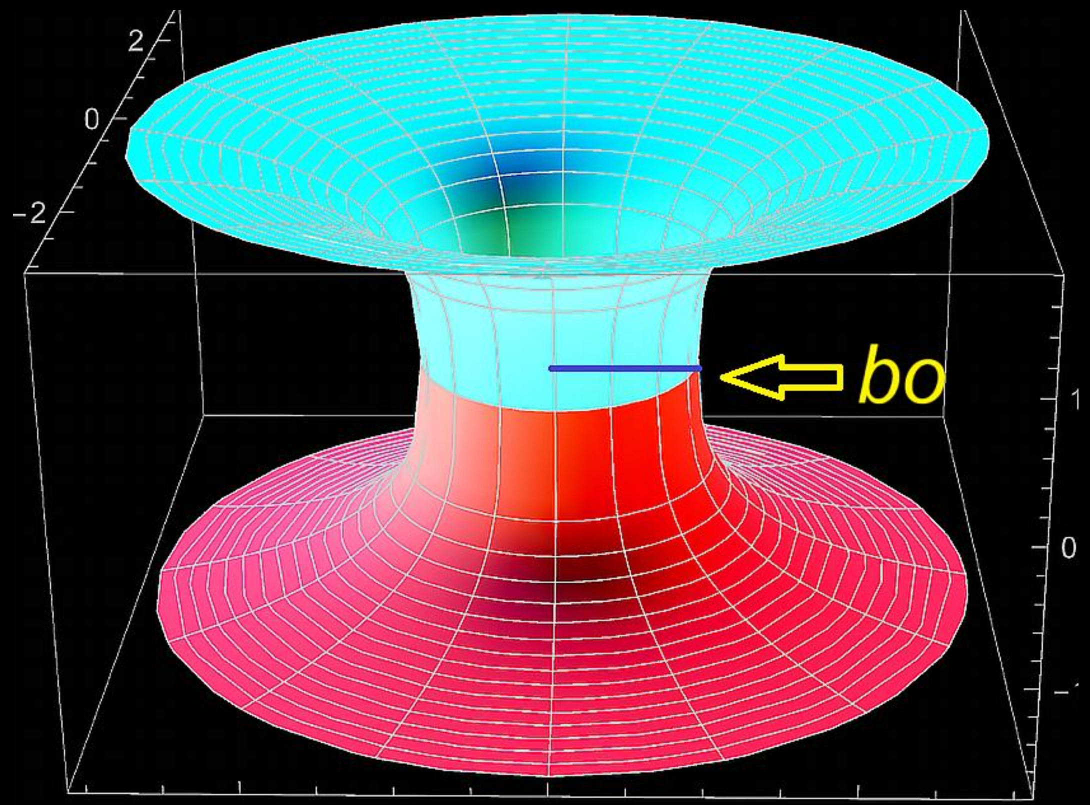
Riassumendo abbiamo che (equazione di campo) + (assenza di orizzonte degli eventi nella gola del wormhole) implicano che $\tau>\rho\cdot c^2$ nella gola che a sua volta implica che gli astronauti che si muovono ad alta velocità entro la gola del wormhole vedono la presenza di una massa-energia negativa e questo viola le tre fondamentali condizioni energetiche: a) la condizione di energia debole (WEC), b) la condizione di energia forte (SEC) e c) la condizione di energia dominante (DEC) , in parole povere vedranno la presenza di materia esotica che potrebbe (ma non lo sappiamo per certo) essere proibita dalle leggi della Fisica.



Un esempio semplicissimo potrebbe essere ***b(r) = bo + √(r)*** con ad esempio ***bo = 1000 metri***. Ricordiamo che le unità di misura sono quelle tipiche del sistema MKS quindi metri, kilogrammi, secondi, etc. Ricordatevi che un wormhole attraversabile è costoso, vi servirà una massa negativa (esotica) pari a:

$$M_{wh} = -(2.7 \times 10^{27} \cdot bo)\ kg$$

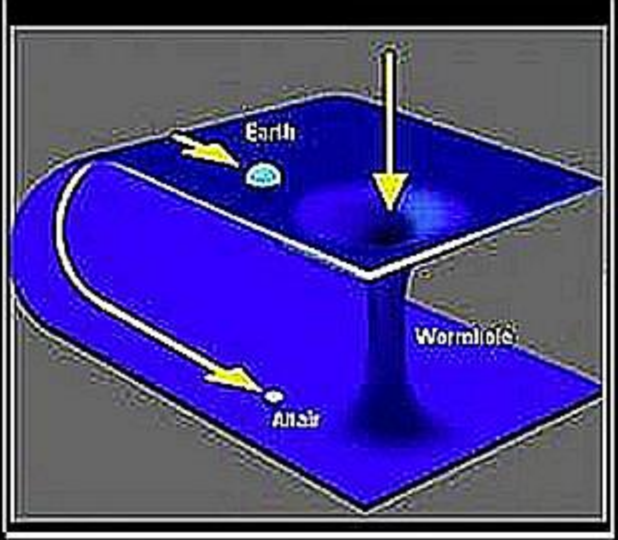
Per generare l'energia oscura (negativa) per poterci passare dentro e per tenerlo aperto per poter tornare a casa…



aspetto di un Wormhole

Esempio

Distanza Terra - Altair: 16,73 Anni Luce



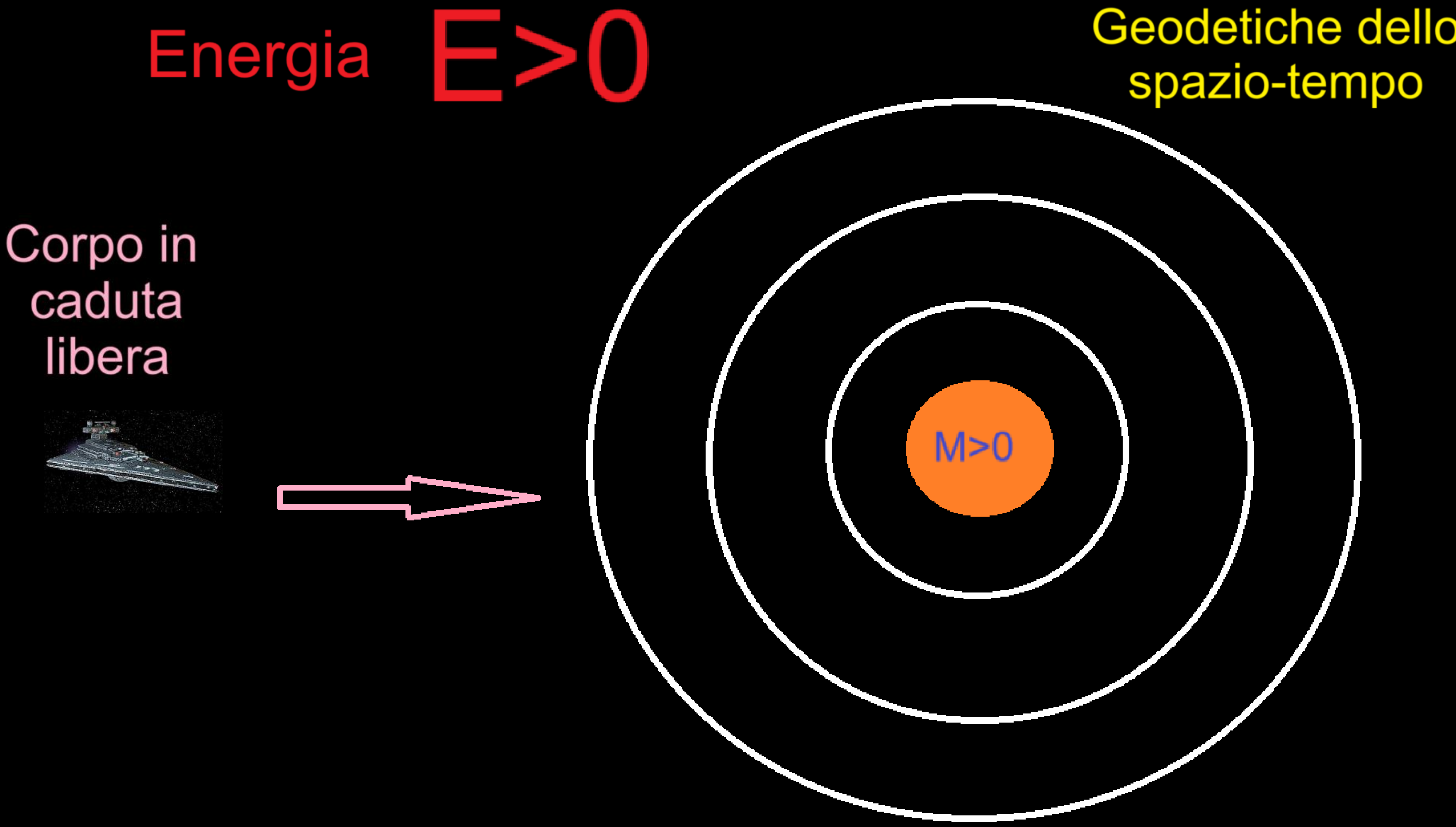
Distanza: 16,73 AL x 365 g x 86400 s x 300000 Km/s

$= 1{,}6 \times 10^{14}$ Km

viaggiando a 25000 Km/h si impiegherebbero:
722736 anni

Passando per il wormhole: 50000 Km
... fattibile in 2 ore di viaggio

Velocità equivalente: 41,7 c



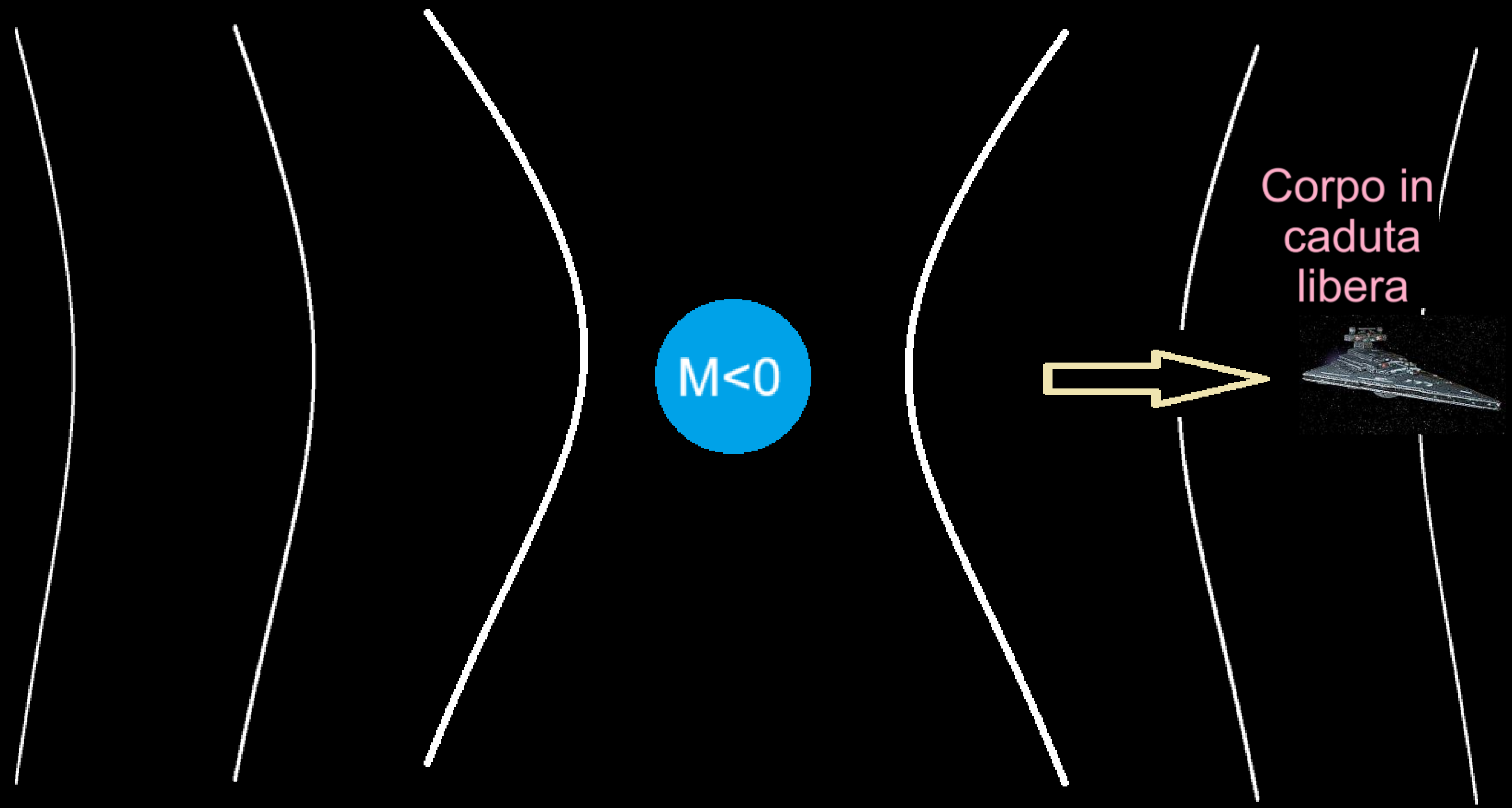
Massa positiva ⇨ Curvatura positiva

Gravità attrattiva

Geodetiche dello spazio-tempo

Energia E<0

Geodetiche dello spazio-tempo



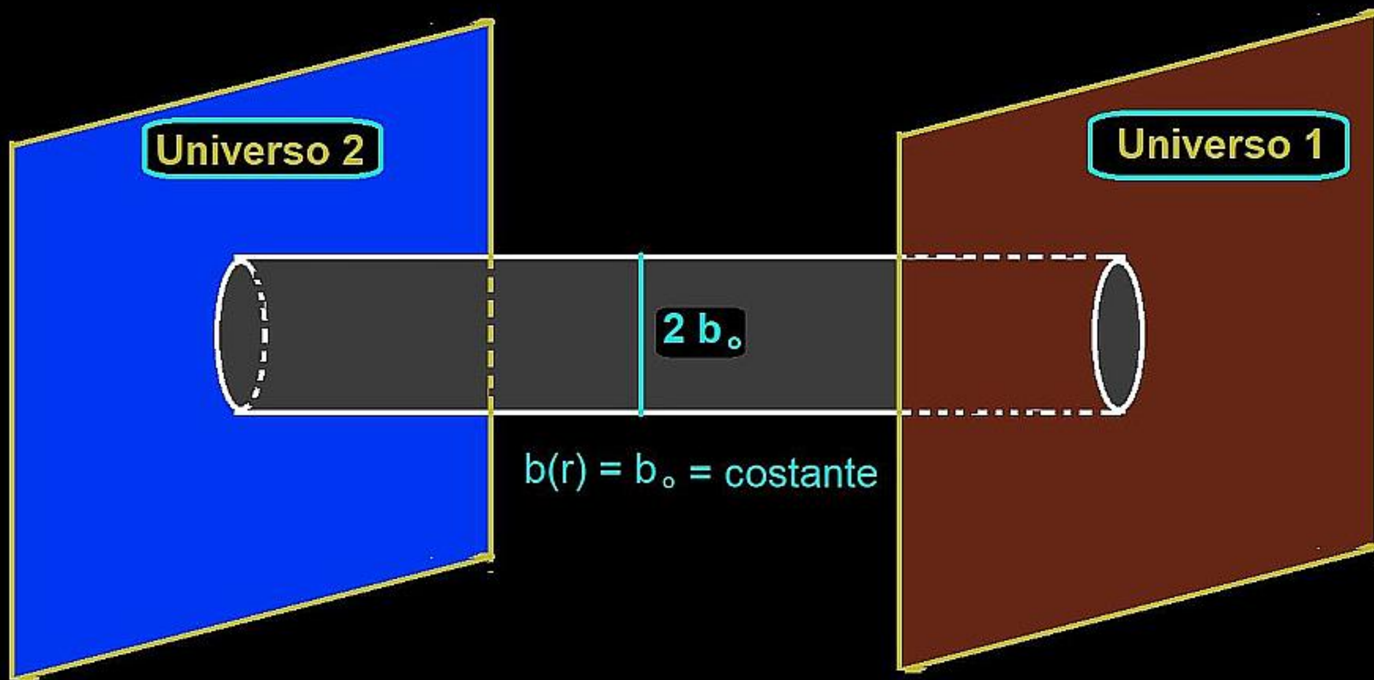
Massa negativa → curvatura negativa

Gravità repulsiva

Viaggi interstellari e intergalattici possibili

Un trucco…

più o meno infame, giudicate voi...



Un wormhole che minimizza la richiesta di materia esotica per essere aperto e mantenuto, si ottiene imponendo la funzione arbitraria di forma *b(r)* = *costante* = b_o lungo tutto il cunicolo il cui diametro è pari a $2{\cdot}b_o$. Il cunicolo cilindrico è a curvatura nulla quindi la densità di massa-energia richiesta per generarlo è pari a zero.

A questo punto è facile mostrare che la densità di massa $\rho(r) = \rho(b_o) = 0$ lungo tutto il cunicolo spazio-temporale e quindi anche la densità di energia $\rho(r) \cdot c^2 = \rho(b_o) \cdot c^2 = 0$.

Calcoliamo ora la tensione radiale τ e avremo:

$$\tau(r) = \tau(b_o) = c^4 /(8 \cdot \pi \cdot G \cdot b_o^2)$$

e ora la pressione laterale p e risulterà:

$$p(r) = p(b_o) = c^4 /(16 \cdot \pi \cdot G \cdot b_o^2)$$

La richiesta di massa esotica sarà quindi:

$$M_{wh} = - 2 \cdot b_o \cdot c^2 / G$$

anche la lunghezza del cilindro può essere ridotta a zero….

Soluzione STARGATE

STARGATE

permette l'attraversamento istantaneo del cunicolo spazio-temporale emergendo istantaneamente in un altro universo oppure da qualche parte nello stesso universo.

La richiesta di massa esotica sarà

$$M_{wh} = -\,2 \cdot b_o \cdot c^2 \,/\, G$$

$$M_{wh} = -(2.7 \times 10^{27} \cdot bo)\ kg$$

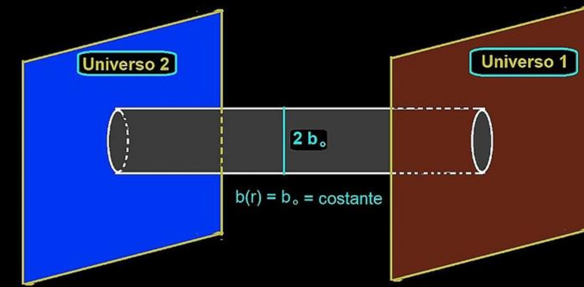
Massa negativa

La massa negativa è fuori dal corridoio quindi è attraversabile

Densità di energia minore di zero

Occhio agli spigoli...

Gli spigoli netti
sono fratture nello
spazio-tempo!!!



$$M_{wh} = -(2.7 \times 10^{27} \cdot bo)\ kg$$

Un trucco infame non basta…
eccone uno doppiamente infame:

gli Wormholes Poliedrici

Un wormhole a sezione poligonale minimizza la quantità di Energia Esotica richiesta per tenerlo aperto.

Densità di massa negativa richiesta:

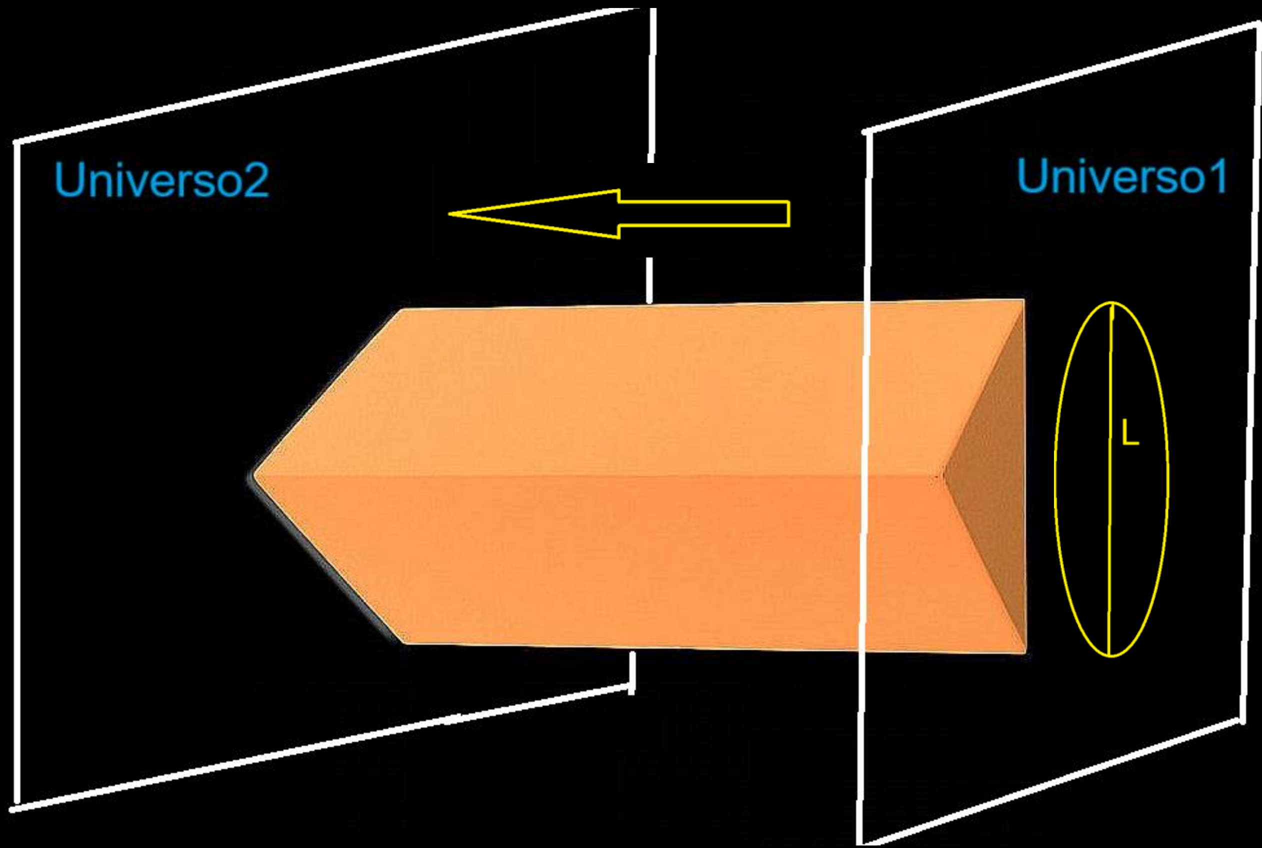
$$\rho = - \frac{(n-2)}{n} \cdot \frac{mp}{lp} \quad Kg/m$$

mp = massa di Plank

lp = lunghezza di Plank

n = numero degli spigoli

Wormhole di minima energia negativa



spigoli arrotondati!!

Gli spigoli netti
sono fratture nello
spazio-tempo!!!

$$\rho = -\frac{1}{3} \cdot \frac{mp}{lp} \quad Kg/m$$

ma:

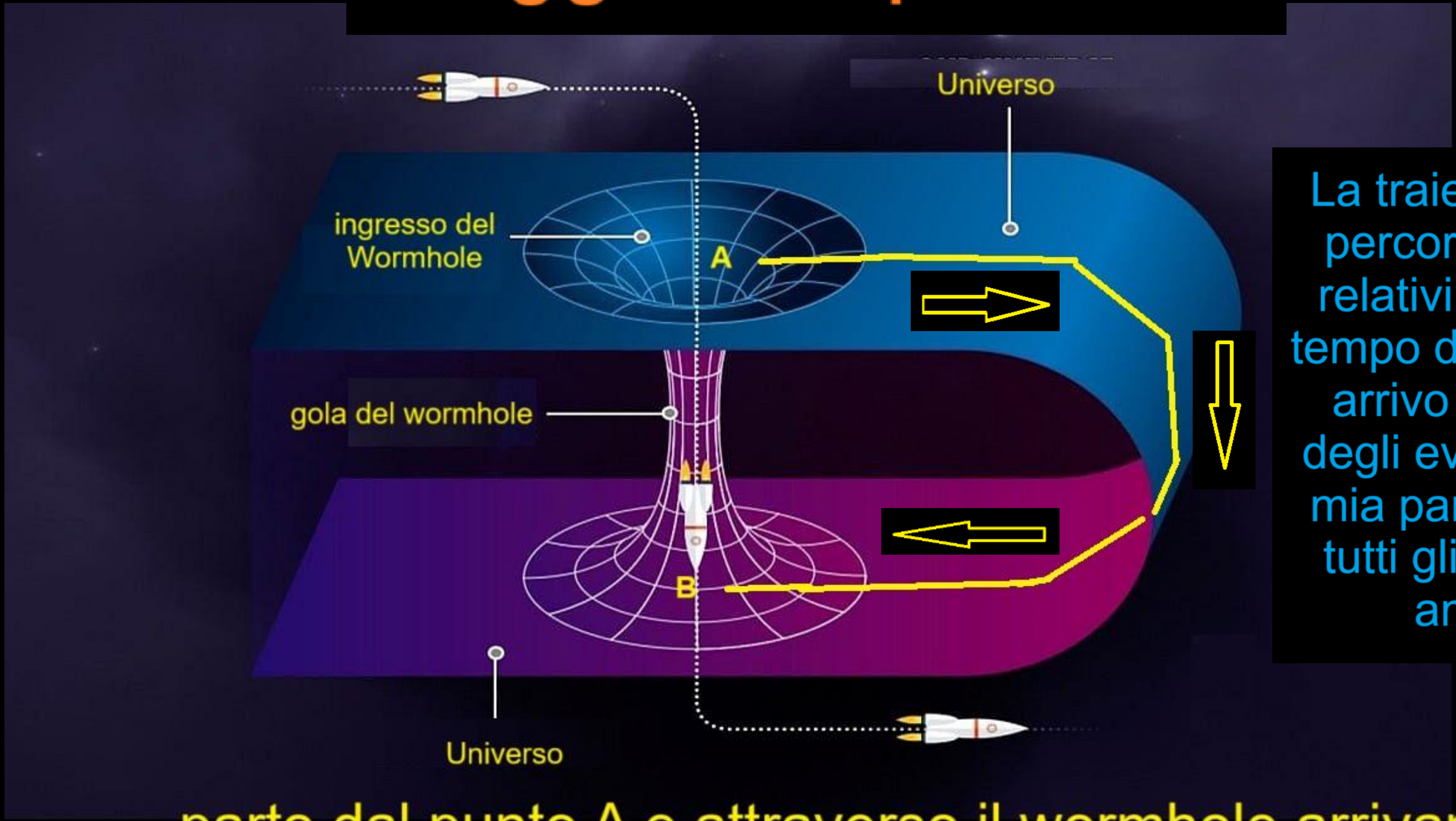
$$\frac{mp}{lp} = 1.35 \times 10^{27} \quad Kg/m$$

allora:

$$M_{wh} = 1.35 \times 10^{27} \cdot \frac{(n-2)}{n} \cdot L \quad Kg$$

L = Diametro del cerchio circoscritto alla sezione poligonale (metri)

Viaggio nel passato



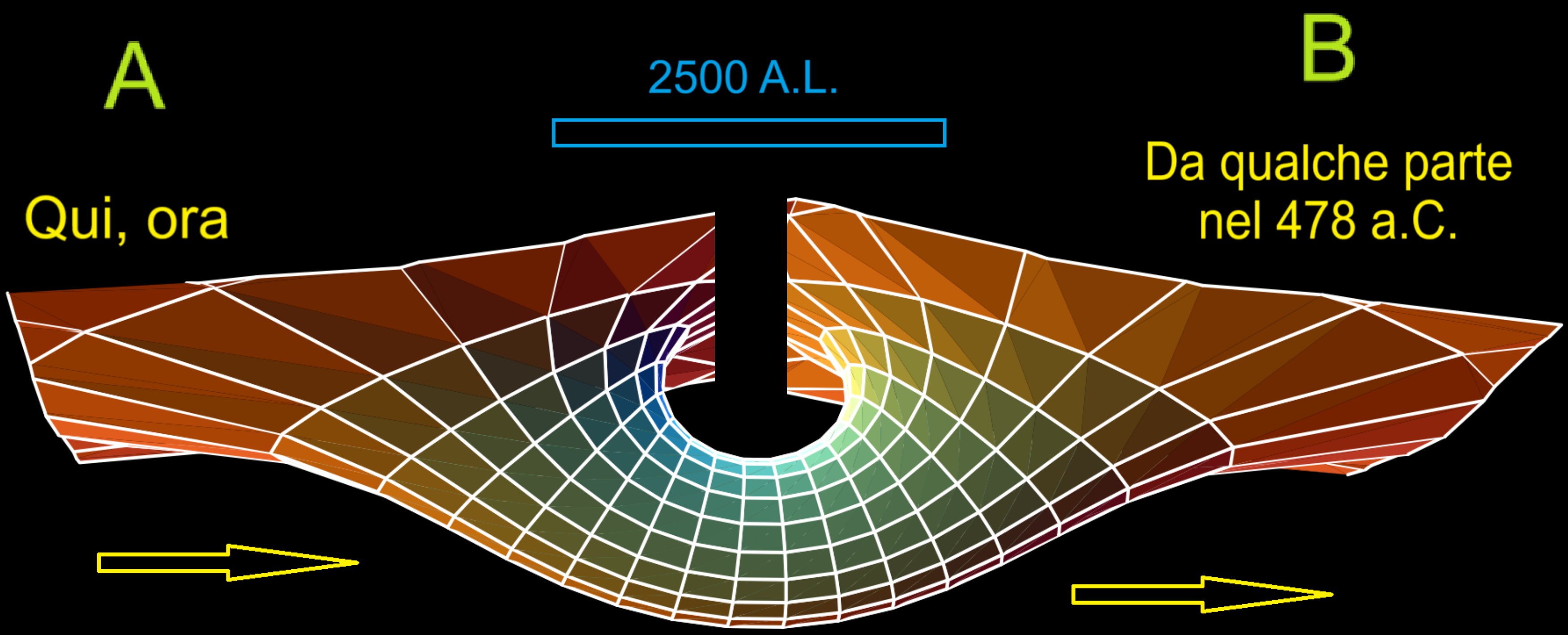
La traiettorie in giallo verrà percorsa dai raggi di luce relativi a tutti gli eventi del tempo della mia partenza. Io arrivo in B 10 anni prima degli eventi del tempo della mia partenza, quindi vedrò tutti gli eventi accaduti 10 anni prima in poi

parto dal punto A e attraverso il wormhole arrivando in B istantaneamente. Il raggio di luce che porta l'informazione del mio viaggio percorre la traiettoria in giallo da A a B impiegando 10 anni, quindi io arrivo in B 10 anni prima della notizia della mia partenza. Siccome il cunicolo può essere arbitrariamente corto, A e B coincidono e quindi io arrivo di nuovo in A in tempo per vedere la mia partenza...

Un interessante problema archeologico

Progetto un wormhole lorentziano che collega i due punti A e B distanti 2500 anni luce. Parto da A oggi e raggiungo B in un'ora. Arrivato in B assisto agli eventi avvenuti 2500 anni fa con lo sfasamento temporale di 1 ora perché quando arrivo io stanno arrivando i segnali (immagini) degli eventi accaduti 2500 anni fa, meno 1 ora. Mi trovo quindi nel 478 a.C.

Assisto agli eventi storici, ma non posso modificarli, perché al massimo modifico un segnale luminoso, non l'evento che è accaduto a 2500 A.L. di distanza. Questo è la Congettura della Censura Cronologica (Hawking e Penrose, Thorne e Politzer 2004)



Gli Wormholes Lorentziani esistono in natura?
Si!!

Sono creati e istantaneamente distrutti dalle fluttuazioni quantistiche (*Quantistic Foam*)

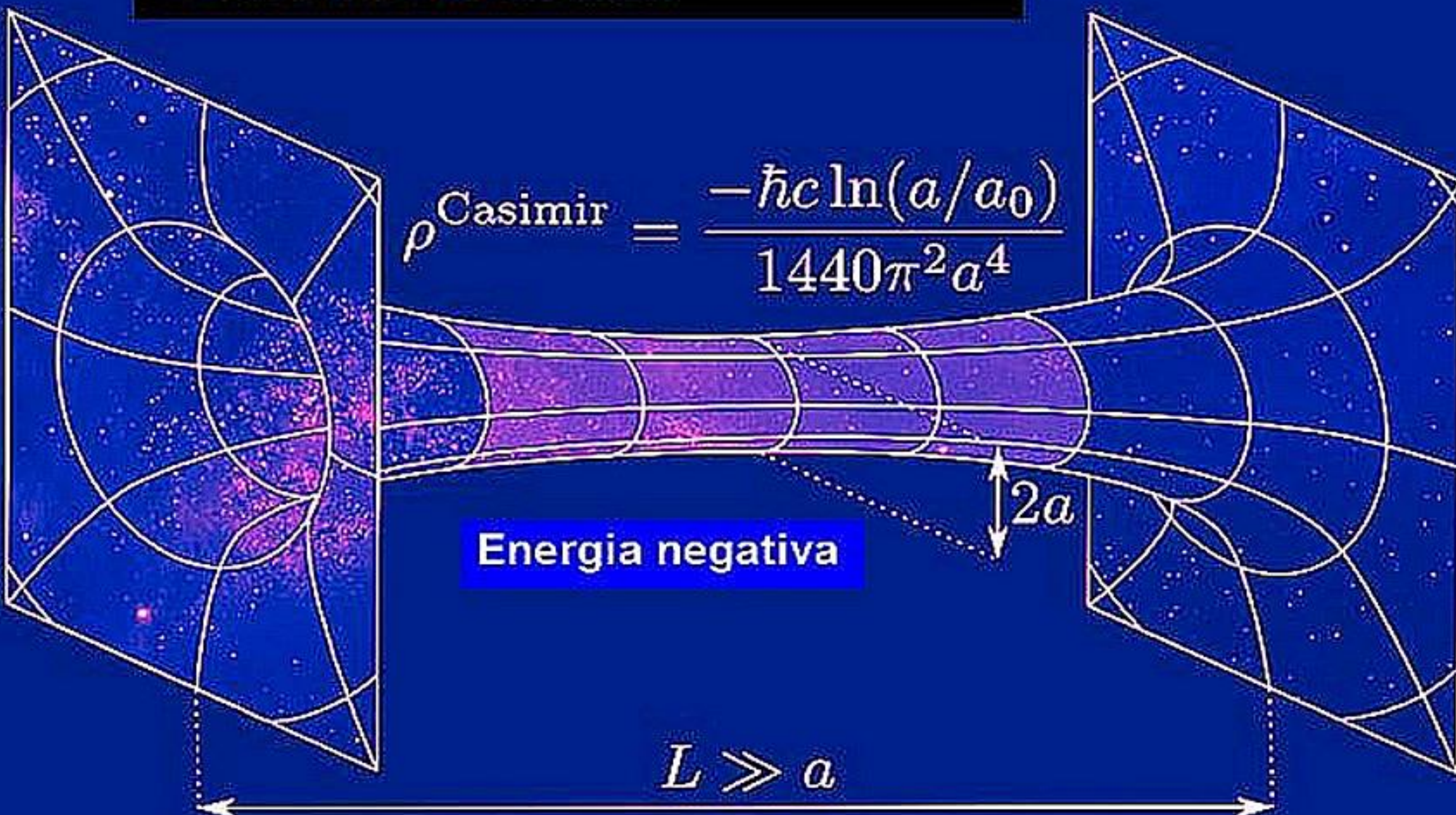
Possono generarsi attraverso il Principio di Indeterminazione di Heisemberg:

$$\Delta E \cdot \Delta t \simeq h$$

Werner Karl Heisenberg nel 1927, anno in cui pubblicò il suo articolo sul principio di indeterminazione.

Lo spazio vuoto fluttua quantisticamente...

Effetto Casimir

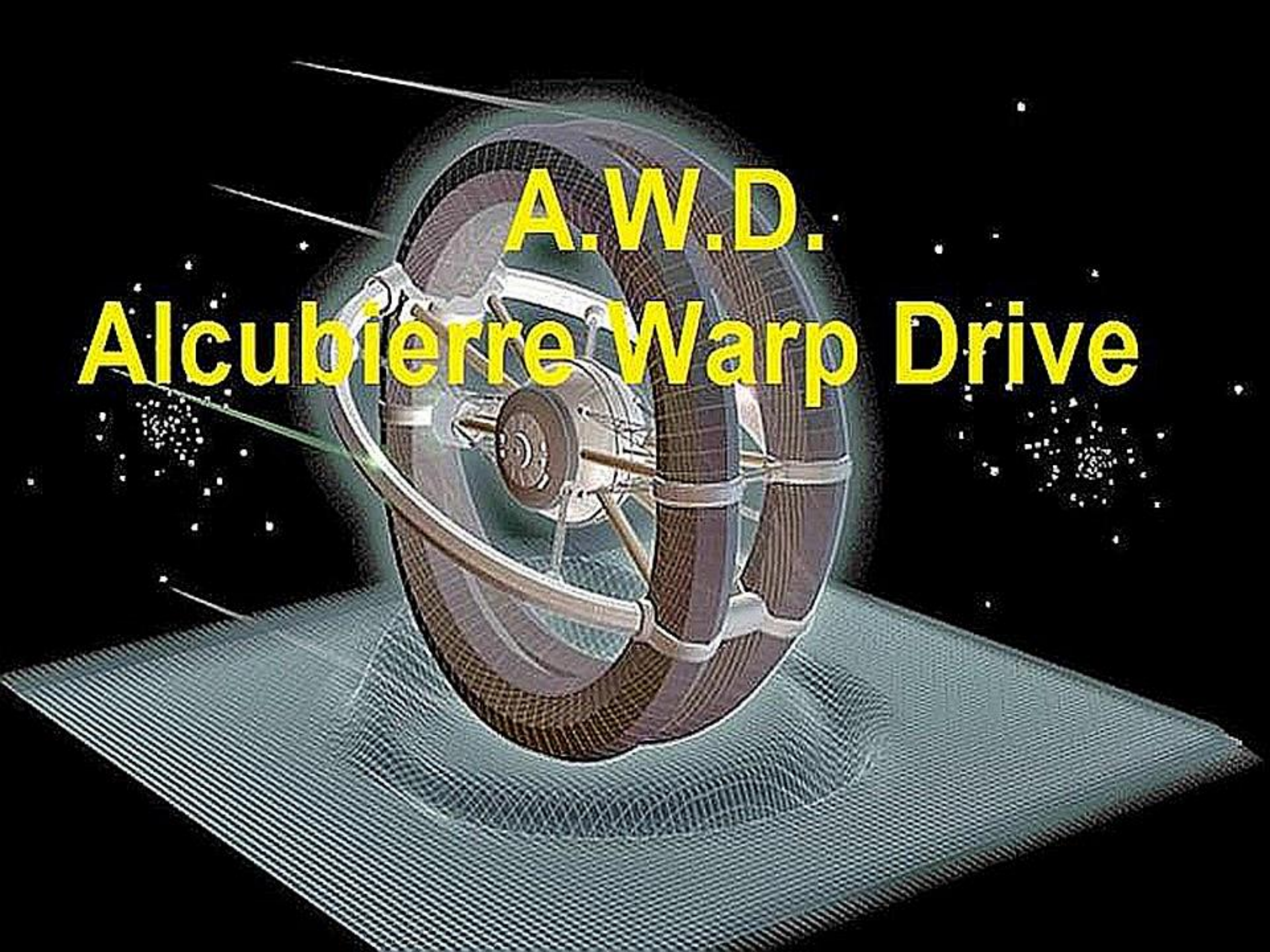


Viaggi Superluminali

- Per tenere aperto un wormhole, o per "stirare" lo spazio nella propulsione di Alcubierre, occorrerebbe usare materia con massa negativa!
- Ordinariamente, tale materia non esiste. Nel mondo della Meccanica Quantistica, per fluttuazioni casuali, è però possibile che tale materia sia prodotta.

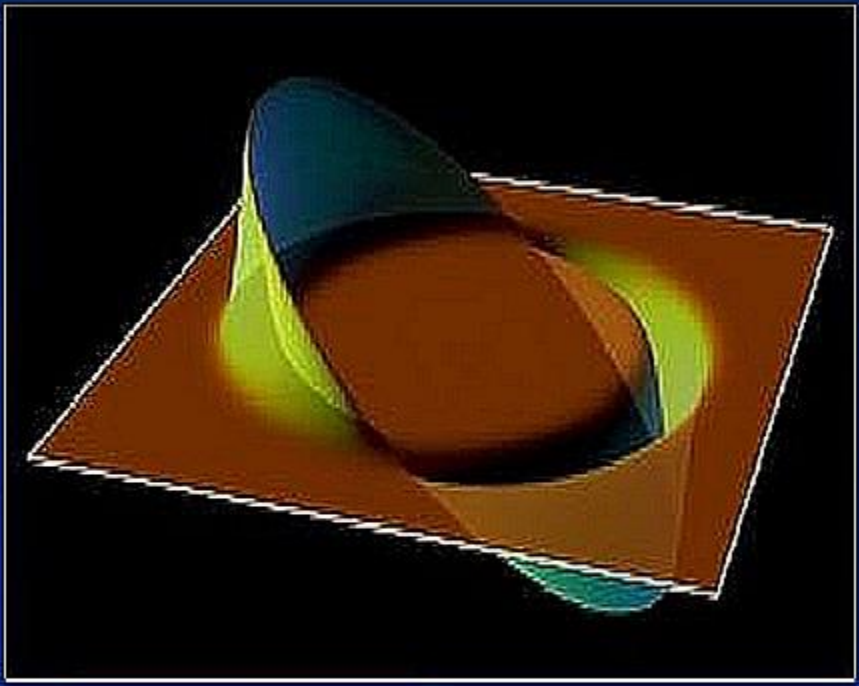
BISOGNA IMPARARE

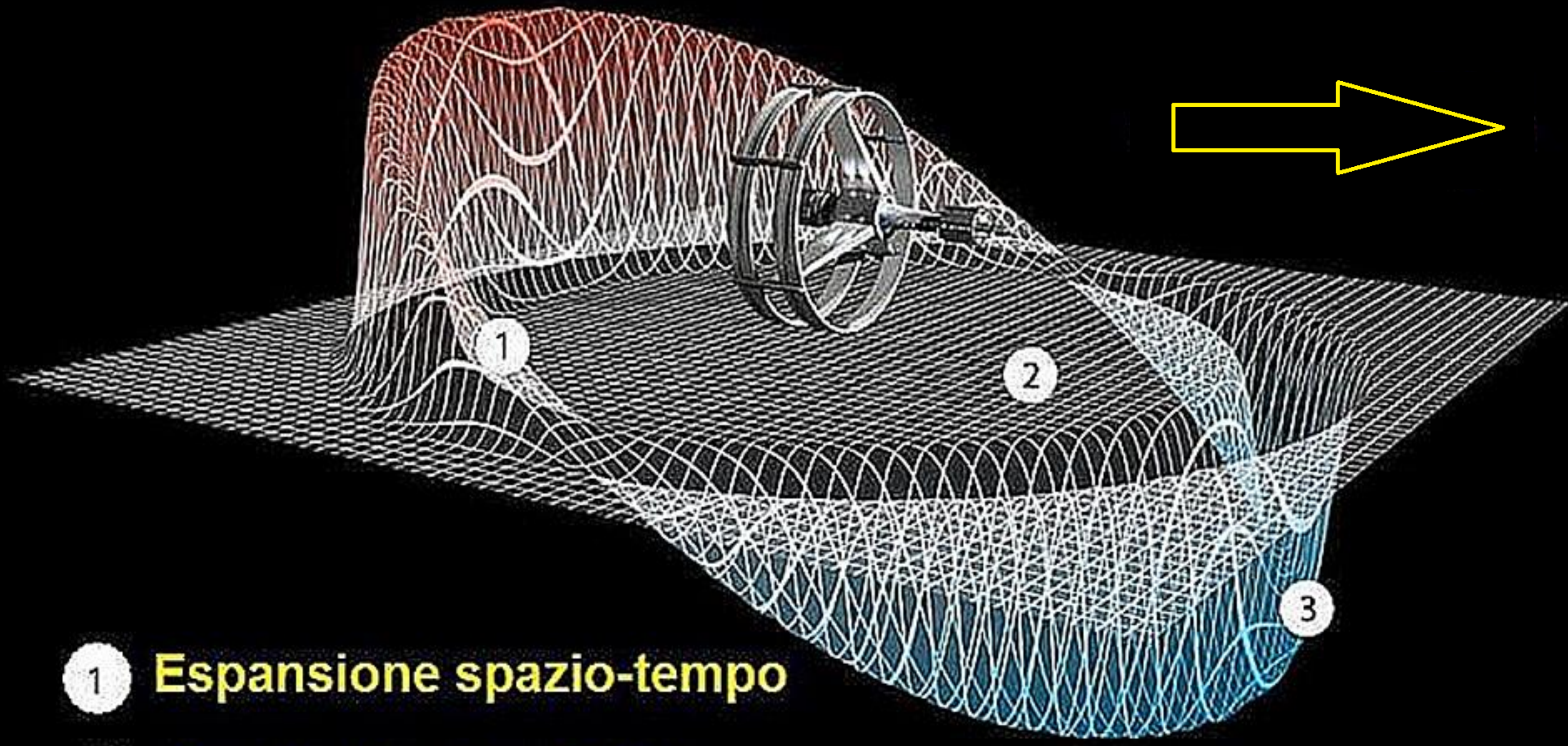
A PRODURLA...


A.W.D.
Alcubierre Warp Drive

Propulsione di Alcubierre

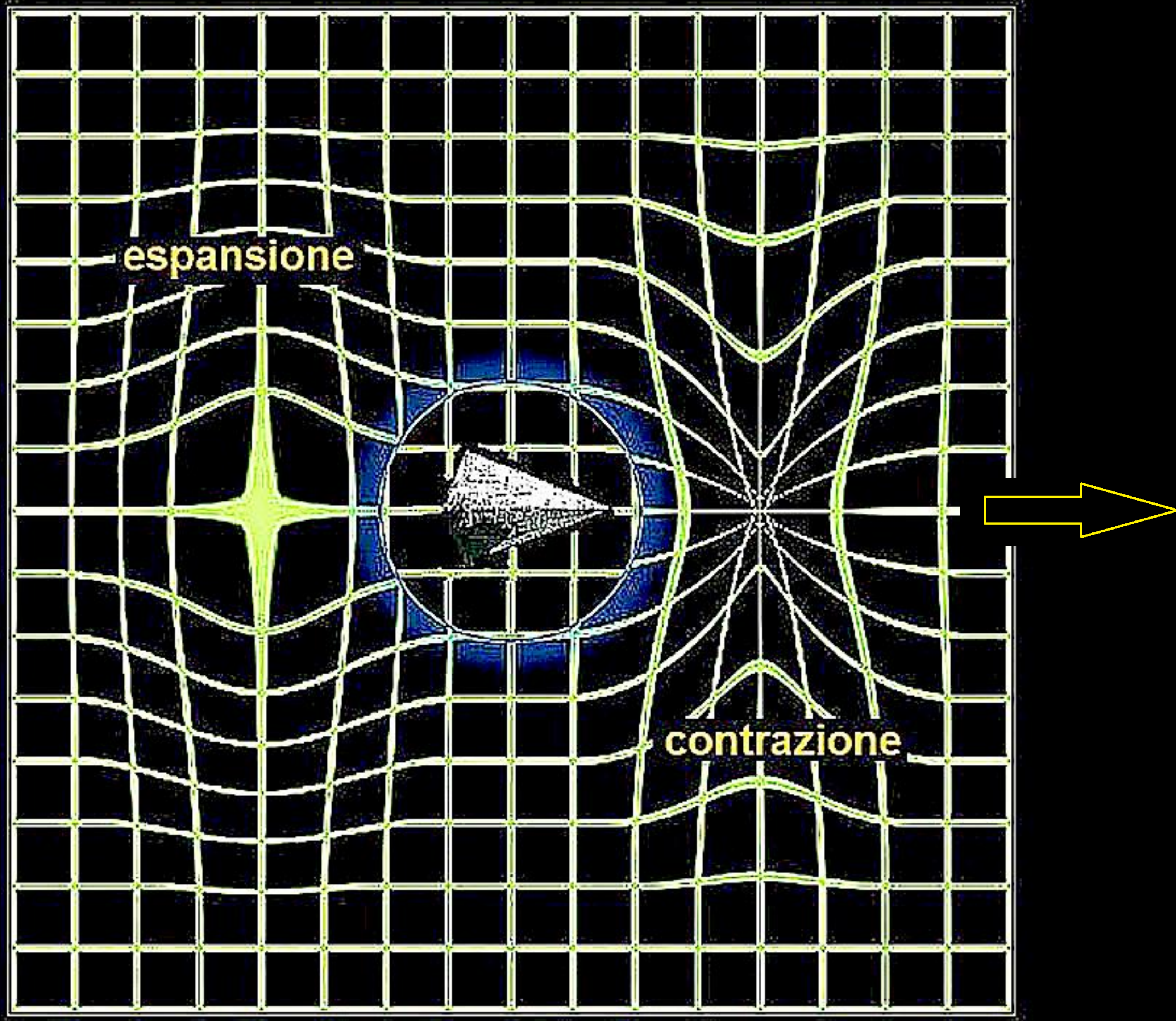
- L'astronave è ferma rispetto al "foglio" spazio-temporale. Tuttavia, il "foglio" può essere "stirato", in modo da portare l'astronave a velocità anche molto superiori a quelle della luce. L'astronave è ferma rispetto al "foglio": è il "foglio" che si "stira" velocemente.





1. Espansione spazio-tempo
2. Spazio-Tempo stabile
3. Contrazione spazio-tempo

Propulsione di Alcubierre


espansione
contrazione

Deformare lo Spazio-Tempo costa molta energia.

Per attuare la propulsione AWP occorre deformare opportunamente il tessuto spazio-temporale utilizzando una massa corrispondente a quella di un buco nero grande circa come l'astronave che deve viaggiare utilizzando l'AWP

Quanto grande?

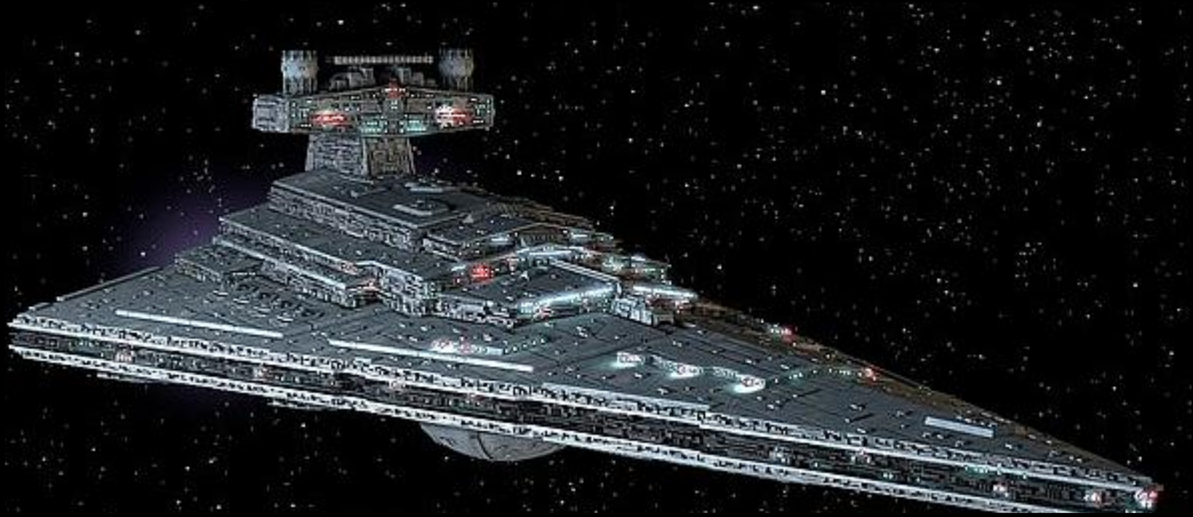
$$Rbh = \frac{2 \cdot G}{c^2} \cdot Ma \quad \text{(metri)}$$

dove:

Ma = massa dell'astronave

Rbh = raggio del buco nero necessario a farla viaggiare (metri)

Facciamo qualche calcolo:

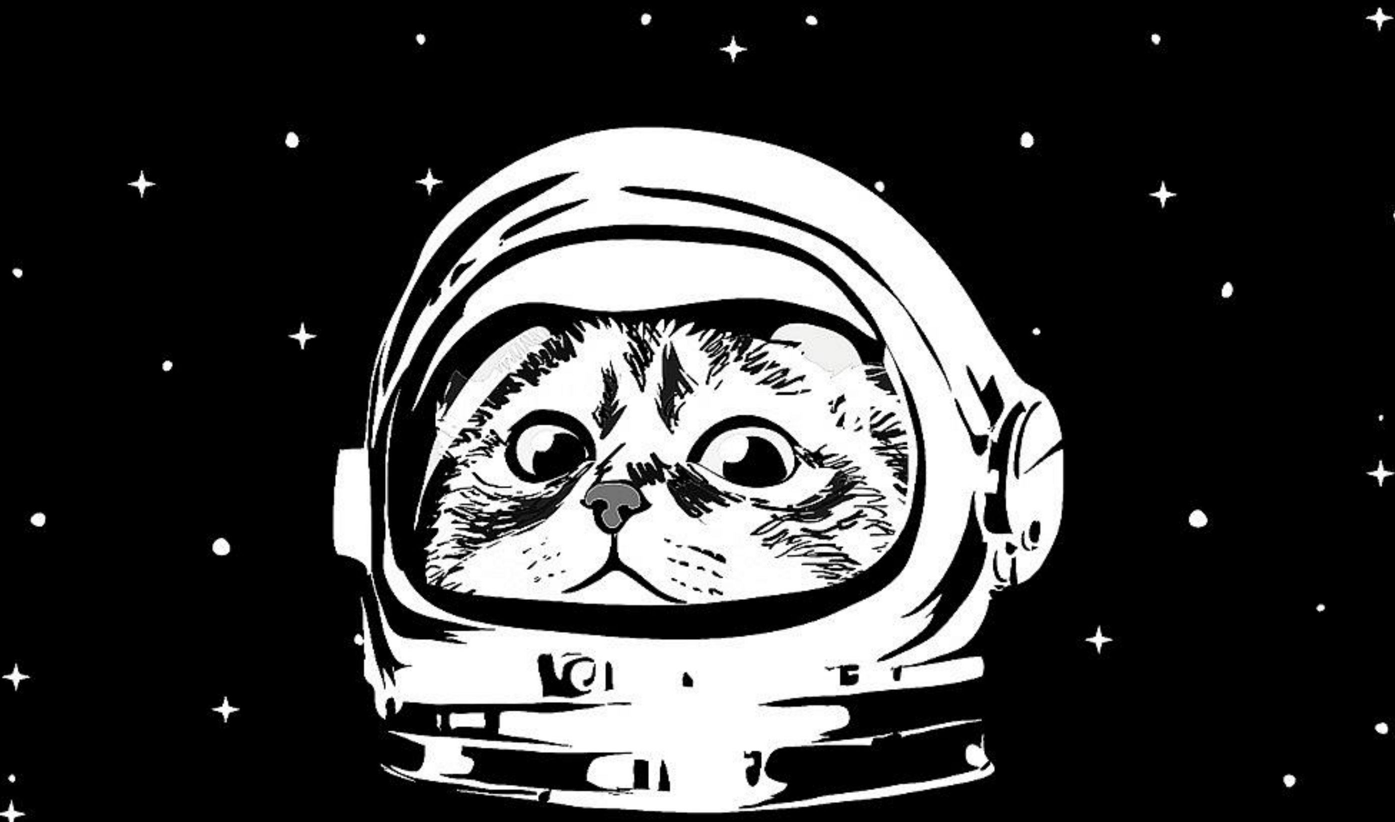


massa dell'astronave: 1 miliardo di Kg

(1 milione di tonnellate)

raggio del buco nero necessario a muoverla: 1.5×10^{-18} metri

è piccolo ⇨ evapora?



Grazie per l'attenzione!!