

El enfoque global-geométrico de la flecha del tiempo: revisando sus requisitos

Olimpia Lombardi y Cecilia Bejarano

CONICET – Universidad de Buenos Aires

Monthly seminar

16 de Junio de 2021



CONTENIDO

➤ Requisitos para la flecha global-geométrica

- (a) Orientabilidad temporal**
- (b) Existencia de tiempo global**
- (c) Asimetría temporal**
- (d) Condición de energía dominante**

➤ Revisando los requisitos

- (a) No-orientabilidad temporal**
- (b) Inexistencia de tiempo global**
- (c) Simetría temporal**
- (d) Violación de la condición de energía dominante**

➤ Conclusiones

CONTENIDO

➤ Requisitos para la flecha global-geométrica

- (a) Orientabilidad temporal**
- (b) Existencia de tiempo global**
- (c) Asimetría temporal**
- (d) Condición de energía dominante**

➤ Revisando los requisitos

- (a) No-orientabilidad temporal**
- (b) Inexistencia de tiempo global**
- (c) Simetría temporal**
- (d) Violación de la condición de energía dominante**

➤ Conclusiones

Requisitos para la flecha global geométrica

Tradicionalmente: flecha del tiempo \leftrightarrow entropía

Requisitos para la flecha global geométrica

Tradicionalmente: flecha del tiempo \leftrightarrow entropía

Aquí seguiremos a Earman en su “**Time direction heresy**”

Requisitos para la flecha global geométrica

Tradicionalmente: flecha del tiempo \leftrightarrow entropía

Aquí seguiremos a Earman en su “**Time direction heresy**”

La flecha del tiempo es una propiedad intrínseca del espacio-tiempo que no puede ni debe reducirse a propiedades no-temporales (como la entropía)

Requisitos para la flecha global geométrica

Aquí entenderemos el problema de la flecha del tiempo por analogía con una flecha:



Requisitos para la flecha global geométrica

Aquí entenderemos el problema de la flecha del tiempo por analogía con una flecha:



Problema general: cómo distinguir entre las dos direcciones del tiempo sobre la base de las propiedades del espacio-tiempo y en términos exclusivamente físicos.

Requisitos para la flecha global geométrica

Aquí entenderemos el problema de la flecha del tiempo por analogía con una flecha:



Problema general: cómo distinguir entre las dos direcciones del tiempo sobre la base de las propiedades del espacio-tiempo y en términos exclusivamente físicos.

La flecha global surge a partir de un modelo de *universo asimétrico* a lo largo de la dimensión temporal, de modo tal que su asimetría permita distinguir entre las dos direcciones temporales.

Requisitos para la flecha global geométrica

Requisitos para la existencia de una flecha del tiempo global:

- (a) Orientabilidad temporal**
- (b) Existencia de tiempo global**
- (c) Asimetría temporal**

Requisitos para la flecha global geométrica

Requisitos para la existencia de una flecha del tiempo global:

- (a) Orientabilidad temporal**
- (b) Existencia de tiempo global**
- (c) Asimetría temporal**

Requisito para que la flecha del tiempo global pueda transferirse a nivel local:

- (d) Condición de energía dominante**

CONTENIDO

➤ Requisitos para la flecha global-geométrica

- (a) Orientabilidad temporal**
- (b) Existencia de tiempo global**
- (c) Asimetría temporal**
- (d) Condición de energía dominante**

➤ Revisando los requisitos

- (a) No-orientabilidad temporal**
- (b) Inexistencia de tiempo global**
- (c) Simetría temporal**
- (d) Violación de la condición de energía dominante**

➤ Conclusiones

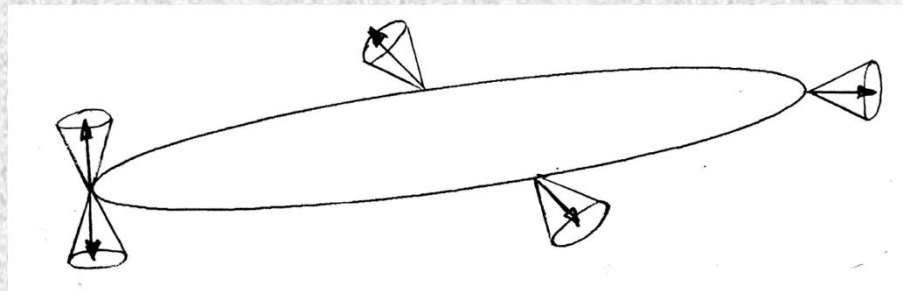
Requisitos para la flecha global geométrica: orientabilidad temporal

Espacio-tiempo temporalmente orientable: puede definirse sobre él un campo vectorial continuo cuyos vectores son todos tipo-tiempo.

Requisitos para la flecha global geométrica: orientabilidad temporal

Espacio-tiempo temporalmente orientable: puede definirse sobre él un campo vectorial continuo cuyos vectores son todos tipo-tiempo.

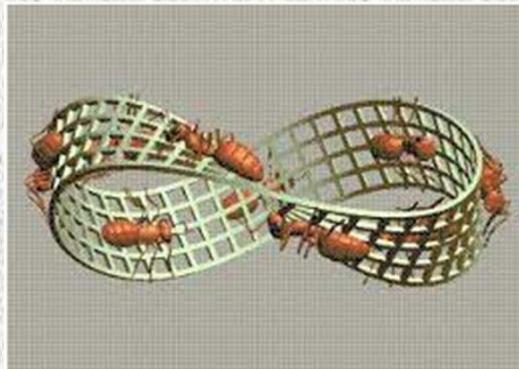
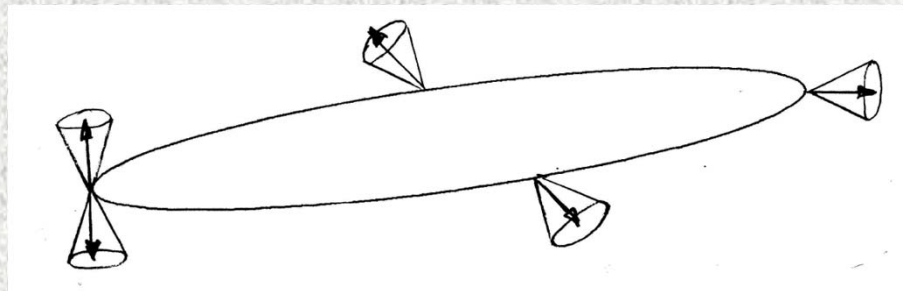
Si el espacio-tiempo no es temporalmente orientable, un vector tipo-tiempo que apunta en una dirección puede convertirse en un vector tipo-tiempo que apunta en la dirección contraria a través de una transformación continua:



Requisitos para la flecha global geométrica: orientabilidad temporal

Espacio-tiempo temporalmente orientable: puede definirse sobre él un campo vectorial continuo cuyos vectores son todos tipo-tiempo.

Si el espacio-tiempo no es temporalmente orientable, un vector tipo-tiempo que apunta en una dirección puede convertirse en un vector tipo-tiempo que apunta en la dirección contraria a través de una transformación continua:

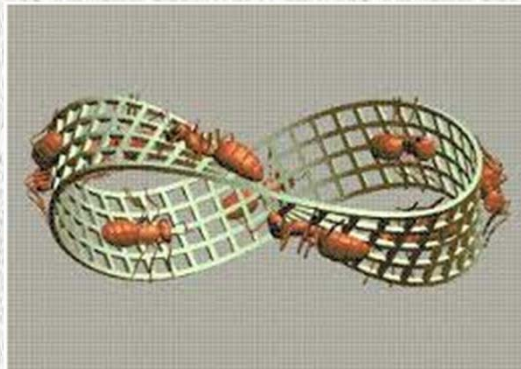


Cinta de Moebius

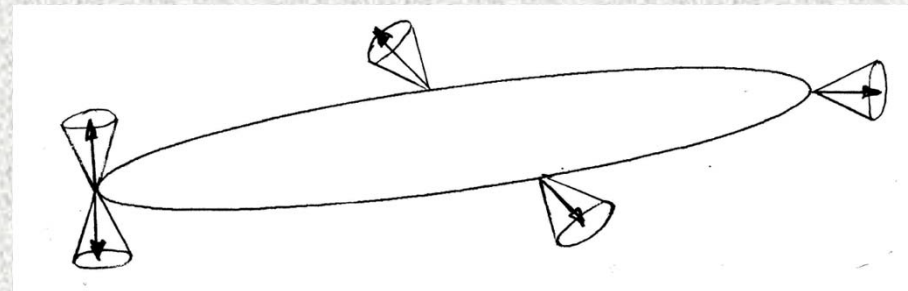
Requisitos para la flecha global geométrica: orientabilidad temporal

Espacio-tiempo temporalmente orientable: puede definirse sobre él un campo vectorial continuo cuyos vectores son todos tipo-tiempo.

Si el espacio-tiempo no es temporalmente orientable, un vector tipo-tiempo que apunta en una dirección puede convertirse en un vector tipo-tiempo que apunta en la dirección contraria a través de una transformación continua:



Cinta de Moebius



La distinción entre las dos direcciones temporales no puede establecerse a nivel global

CONTENIDO

➤ Requisitos para la flecha global-geométrica

- (a) Orientabilidad temporal**
- (b) Existencia de tiempo global**
- (c) Asimetría temporal**
- (d) Condición de energía dominante**

➤ Revisando los requisitos

- (a) No-orientabilidad temporal**
- (b) Inexistencia de tiempo global**
- (c) Simetría temporal**
- (d) Violación de la condición de energía dominante**

➤ Conclusiones

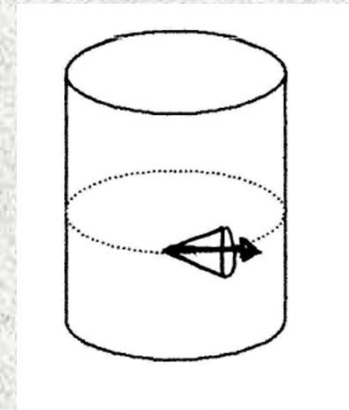
Requisitos para la flecha global geométrica: tiempo global

Espacio-tiempo que posee un tiempo global cuando es foliable en hipersuperficies tipo-espacio que pueden ordenarse según una función monótona creciente (el tiempo global).

Requisitos para la flecha global geométrica: tiempo global

Espacio-tiempo que posee un tiempo global cuando es foliable en hipersuperficies tipo-espacio que pueden ordenarse según una función monótona creciente (el tiempo global).

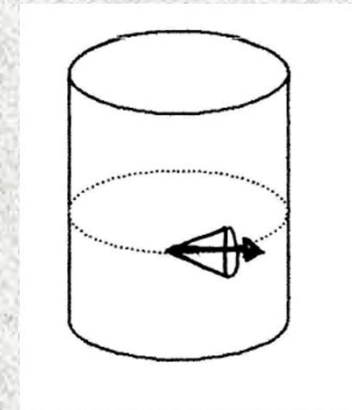
Un espacio-tiempo sin tiempo global puede poseer curvas temporales cerradas



Requisitos para la flecha global geométrica: tiempo global

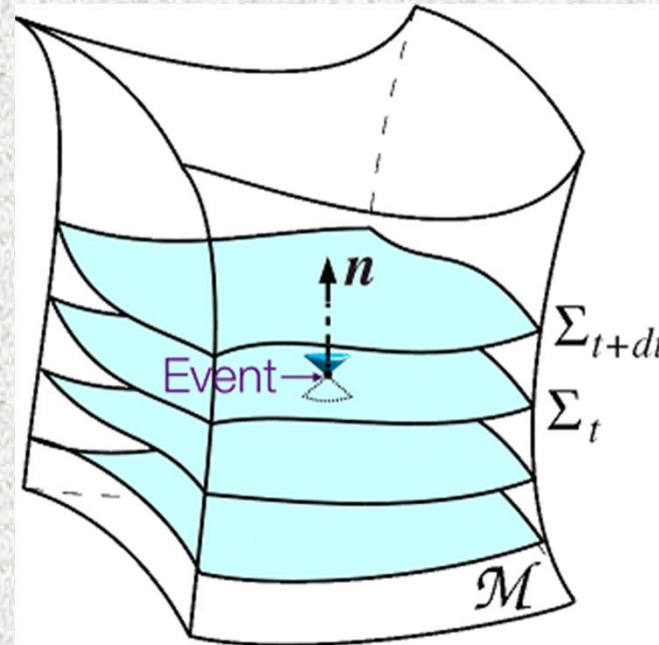
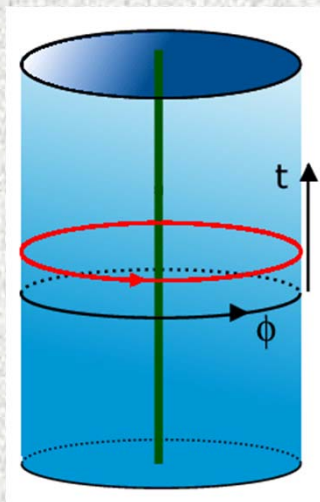
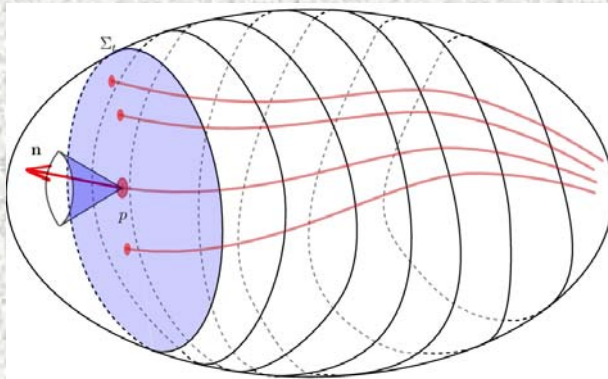
Espacio-tiempo que posee un tiempo global cuando es foliable en hipersuperficies tipo-espacio que pueden ordenarse según una función monótona creciente (el tiempo global).

Un espacio-tiempo sin tiempo global puede poseer curvas temporales cerradas



Requisitos para la flecha global geométrica: tiempo global

Espacio-tiempo que posee un tiempo global: cuando es foliable en hipersuperficies tipo-espacio que pueden ordenarse según una función monótona creciente (el tiempo global).



CONTENIDO

➤ Requisitos para la flecha global-geométrica

- (a) Orientabilidad temporal**
- (b) Existencia de tiempo global**
- (c) Asimetría temporal**
- (d) Condición de energía dominante**

➤ Revisando los requisitos

- (a) No-orientabilidad temporal**
- (b) Inexistencia de tiempo global**
- (c) Simetría temporal**
- (d) Violación de la condición de energía dominante**

➤ Conclusiones

Requisitos para la flecha global geométrica: asimetría temporal

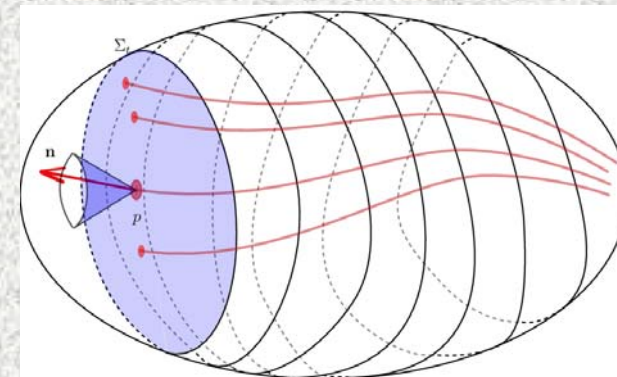
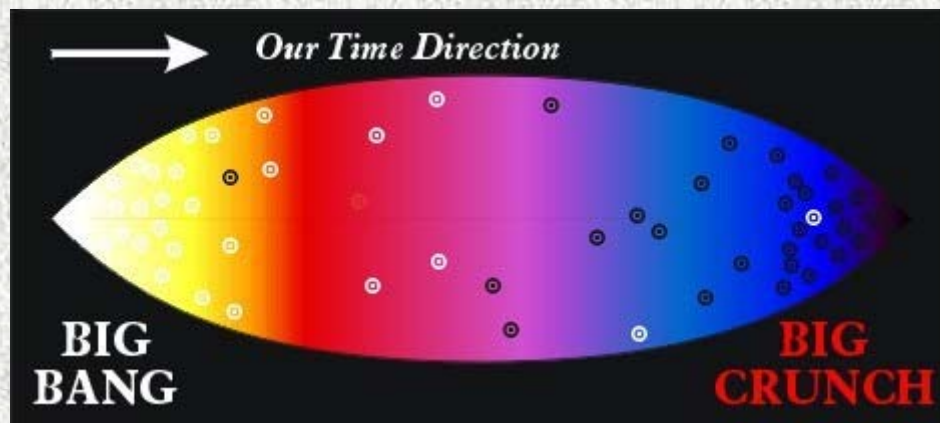
Espacio-tiempo temporalmente simétrico: cuando posee un tiempo global t , y existe una hipersuperficie $t=\alpha$ tal que existe un difeomorfismo del espacio-tiempo sobre sí mismo que invierte las orientaciones temporales pero preserva la métrica, y deja fija la hipersuperficie $t=\alpha$.

Intuitivamente: desde $t=\alpha$ el espacio-tiempo se “ve igual” en las dos direcciones temporales.

Requisitos para la flecha global geométrica: asimetría temporal

Espacio-tiempo temporalmente simétrico: cuando posee un tiempo global t , y existe una hipersuperficie $t=\alpha$ tal que existe un difeomorfismo del espacio-tiempo sobre sí mismo que invierte las orientaciones temporales pero preserva la métrica, y deja fija la hipersuperficie $t=\alpha$.

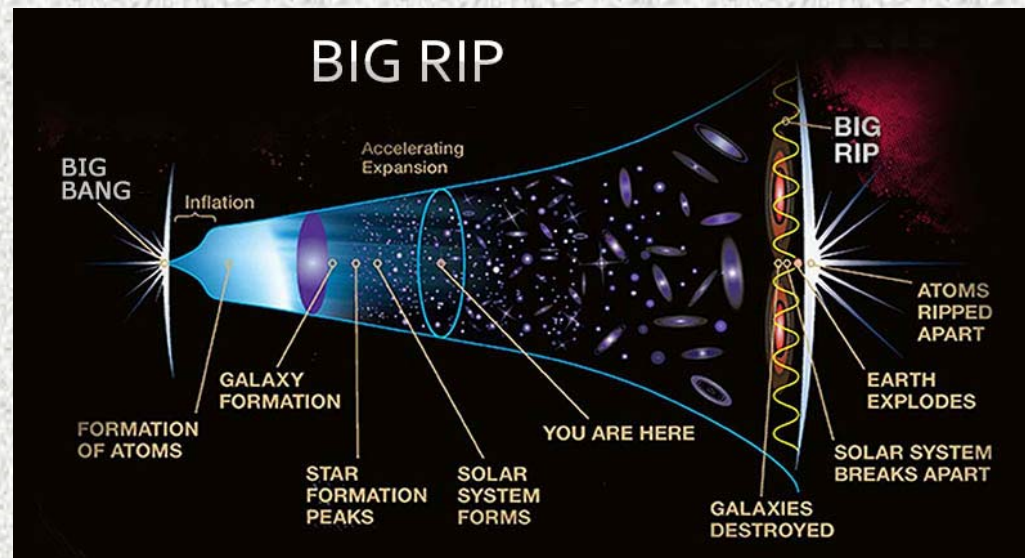
Intuitivamente: desde $t=\alpha$ el espacio-tiempo se “ve igual” en las dos direcciones temporales.



Requisitos para la flecha global geométrica: asimetría temporal

Espacio-tiempo temporalmente simétrico: cuando posee un tiempo global t , y existe una hipersuperficie $t=\alpha$ tal que existe un difeomorfismo del espacio-tiempo sobre sí mismo que invierte las orientaciones temporales pero preserva la métrica, y deja fija la hipersuperficie $t=\alpha$.

Espacio-tiempo temporalmente ***asimétrico***



CONTENIDO

➤ Requisitos para la flecha global-geométrica

- (a) Orientabilidad temporal**
- (b) Existencia de tiempo global**
- (c) Asimetría temporal**
- (d) Condición de energía dominante**

➤ Revisando los requisitos

- (a) No-orientabilidad temporal**
- (b) Inexistencia de tiempo global**
- (c) Simetría temporal**
- (d) Violación de la condición de energía dominante**

➤ Conclusiones

Requisitos para la flecha global geométrica: cond. energía dominante

Condición de energía dominante (CED): la componente de energía del tensor de energía-momento domina las otras componentes:

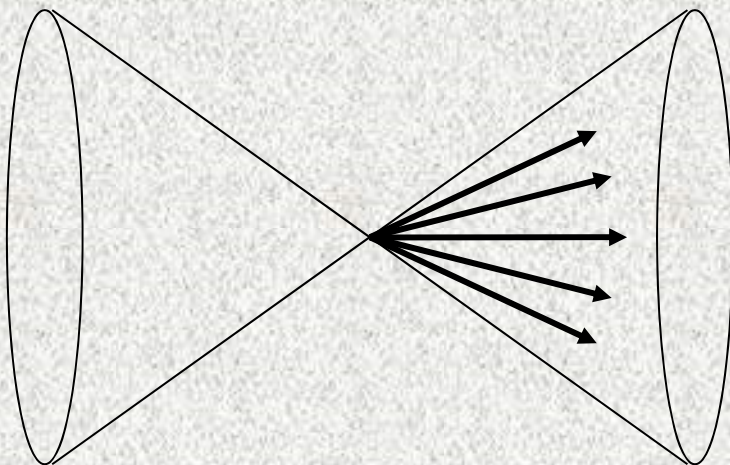
$$T^{00} \geq |T^{\alpha\beta}|, \text{ para todo } \alpha, \beta$$

Requisitos para la flecha global geométrica: cond. energía dominante

Condición de energía dominante (CED): la componente de energía del tensor de energía-momento domina las otras componentes:

$$T^{00} \geq |T^{\alpha\beta}|, \text{ para todo } \alpha, \beta$$

Intuitivamente: en todos los puntos del espacio-tiempo, el flujo (tetradimensional) de energía es no tipo-espacio

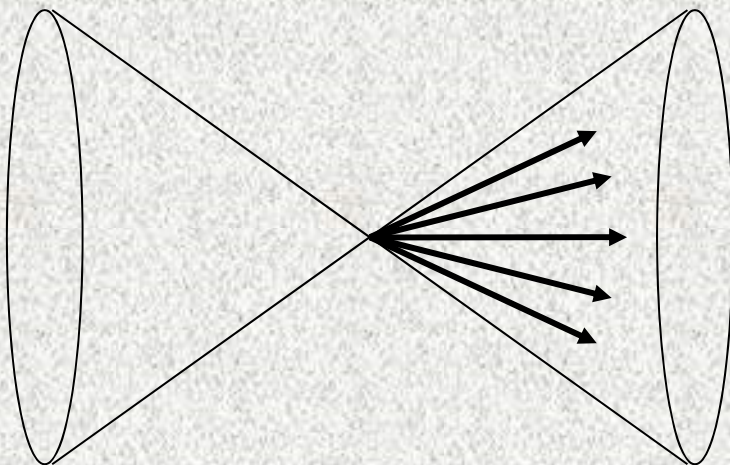


Requisitos para la flecha global geométrica: cond. energía dominante

Condición de energía dominante (CED): la componente de energía del tensor de energía-momento domina las otras componentes:

$$T^{00} \geq |T^{\alpha\beta}|, \text{ para todo } \alpha, \beta$$

Intuitivamente: en todos los puntos del espacio-tiempo, el flujo (tetradimensional) de energía es no tipo-espacio



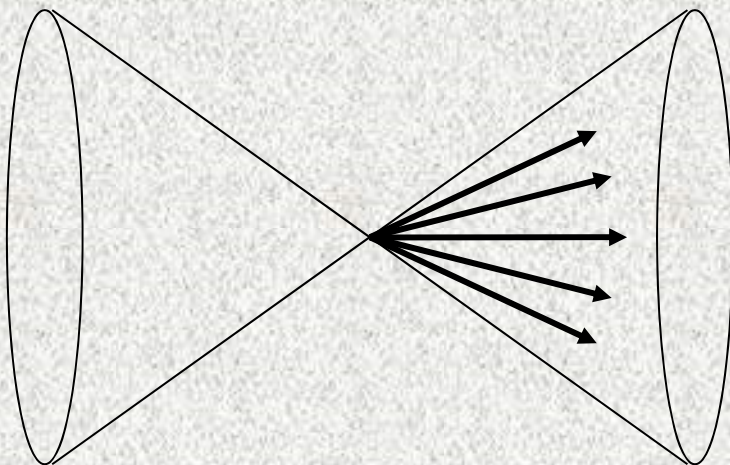
La energía “viaja” hacia la misma dirección temporal en todo el espacio-tiempo

Requisitos para la flecha global geométrica: cond. energía dominante

Condición de energía dominante (CED): la componente de energía del tensor de energía-momento domina las otras componentes:

$$T^{00} \geq |T^{\alpha\beta}|, \text{ para todo } \alpha, \beta$$

Intuitivamente: en todos los puntos del espacio-tiempo, el flujo (tetradimensional) de energía es no tipo-espacio



La energía “viaja” hacia la misma dirección temporal en todo el espacio-tiempo



Queda identificada la misma dirección temporal en todos los puntos del espacio-tiempo (localmente)

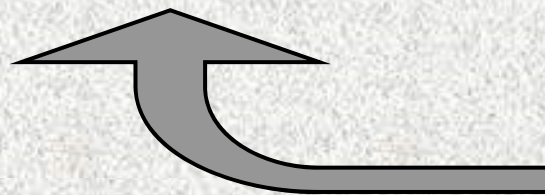
Requisitos para la flecha global geométrica: cond. energía dominante

Condición de energía dominante (CED): la componente de energía del tensor de energía-momento domina las otras componentes:

$$T^{00} \geq |T^{\alpha\beta}|, \text{ para todo } \alpha, \beta$$

Intuitivamente: en todos los puntos del espacio-tiempo, el flujo (tetradimensional) de energía es no tipo-espacio

La CED permite trasladar la flecha global geométrica a los contextos locales, como un flujo de energía que apunta en la misma dirección en todos los puntos del espacio-tiempo



La energía “viaja” hacia la misma dirección temporal en todo el espacio-tiempo



Queda identificada la misma dirección temporal en todos los puntos del espacio-tiempo (localmente)

CONTENIDO

➤ Requisitos para la flecha global-geométrica

- (a) Orientabilidad temporal**
- (b) Existencia de tiempo global**
- (c) Asimetría temporal**
- (d) Condición de energía dominante**

➤ Revisando los requisitos

- (a) No-orientabilidad temporal**
- (b) Inexistencia de tiempo global**
- (c) Simetría temporal**
- (d) Violación de la condición de energía dominante**

➤ Conclusiones

CONTENIDO

➤ Requisitos para la flecha global-geométrica

- (a) Orientabilidad temporal**
- (b) Existencia de tiempo global**
- (c) Asimetría temporal**
- (d) Condición de energía dominante**

➤ Revisando los requisitos

- (a) No-orientabilidad temporal**
- (b) Inexistencia de tiempo global**
- (c) Simetría temporal**
- (d) Violación de la condición de energía dominante**

➤ Conclusiones

Revisando los requisitos: No-orientabilidad temporal

Espacio-tiempo no temporalmente orientable ↩

La distinción entre las dos direcciones temporales no puede establecerse a nivel global

Revisando los requisitos: No-orientabilidad temporal

Espacio-tiempo no temporalmente orientable

La distinción entre las dos direcciones temporales no puede establecerse a nivel global

Recordemos a Boltzmann:

- *“En el Universo en su conjunto, no se pueden distinguir las dos direcciones del tiempo, de la misma manera que en el espacio no hay arriba ni abajo”*
- *“En un Universo semejante, que en conjunto está en equilibrio térmico, y por consiguiente muerto, se encontrarán aquí y allá regiones relativamente pequeñas, del tamaño de nuestra galaxia, regiones (que podemos llamar «mundos») que se desvían significativamente del equilibrio térmico durante intervalos relativamente cortos de estos «eones» de tiempo. Entre estos mundos, se encontrarán algunos cuyos estados son de probabilidad (es decir, entropía) creciente, con la misma frecuencia que otros cuyos estados tienen probabilidades decrecientes.”*

Revisando los requisitos: No-orientabilidad temporal

Espacio-tiempo no temporalmente orientable

La distinción entre las dos direcciones temporales no puede establecerse a nivel global

Recordemos a Boltzmann:

- *“En el Universo en su conjunto, no se pueden distinguir las dos direcciones del tiempo, de la misma manera que en el espacio no hay arriba ni abajo”*
- *“En un Universo semejante, que en conjunto está en equilibrio térmico, y por consiguiente muerto, se encontrarán aquí y allá regiones relativamente pequeñas, del tamaño de nuestra galaxia, regiones (que podemos llamar «mundos») que se desvían significativamente del equilibrio térmico durante intervalos relativamente cortos de estos «eones» de tiempo. Entre estos mundos, se encontrarán algunos cuyos estados son de probabilidad (es decir, entropía) creciente, con la misma frecuencia que otros cuyos estados tienen probabilidades decrecientes.”*

Primera propuesta de flechas del tiempo regionales

Revisando los requisitos: No-orientabilidad temporal

Espacio-tiempo no temporalmente orientable

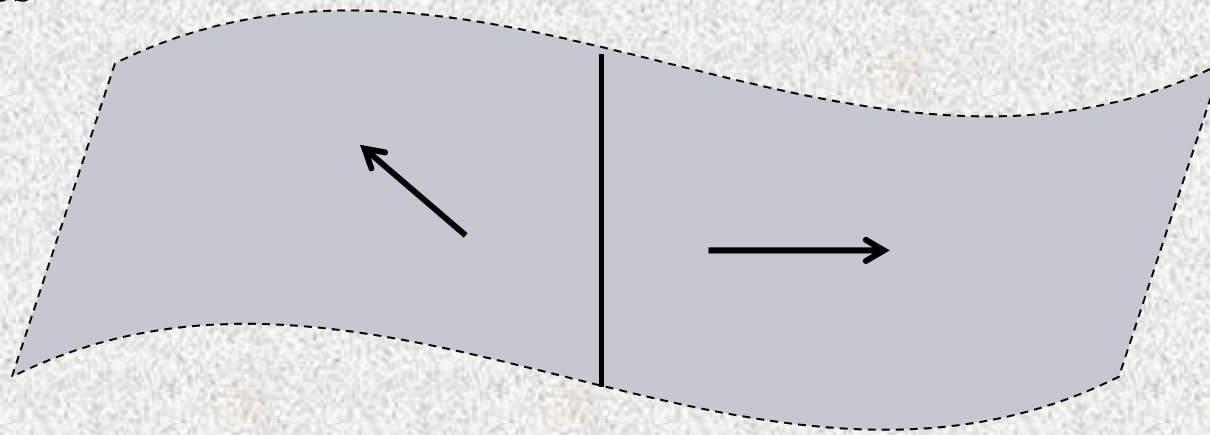
¿Cómo se define la flecha del tiempo en cada región?

Revisando los requisitos: No-orientabilidad temporal

Espacio-tiempo no temporalmente orientable

¿Cómo se define la flecha del tiempo en cada región?

Criterio nomológico: Podría definirse mediante una ley local L de modo que habría regiones del espacio-tiempo cuyas flechas apuntaran en diferentes direcciones

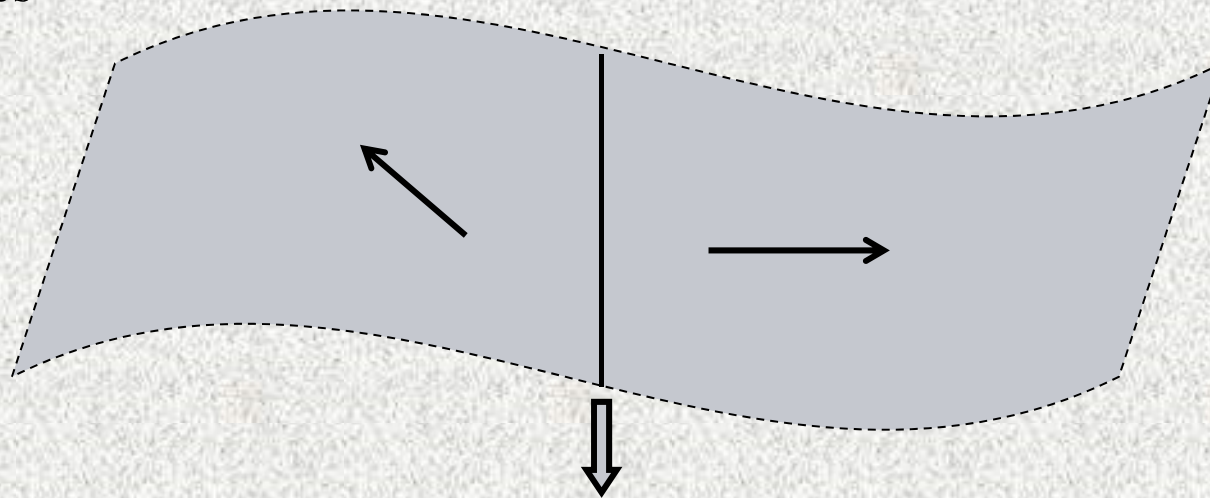


Revisando los requisitos: No-orientabilidad temporal

Espacio-tiempo no temporalmente orientable

¿Cómo se define la flecha del tiempo en cada región?

Criterio nomológico: Podría definirse mediante una ley local L de modo que habría regiones del espacio-tiempo cuyas flechas apuntaran en diferentes direcciones



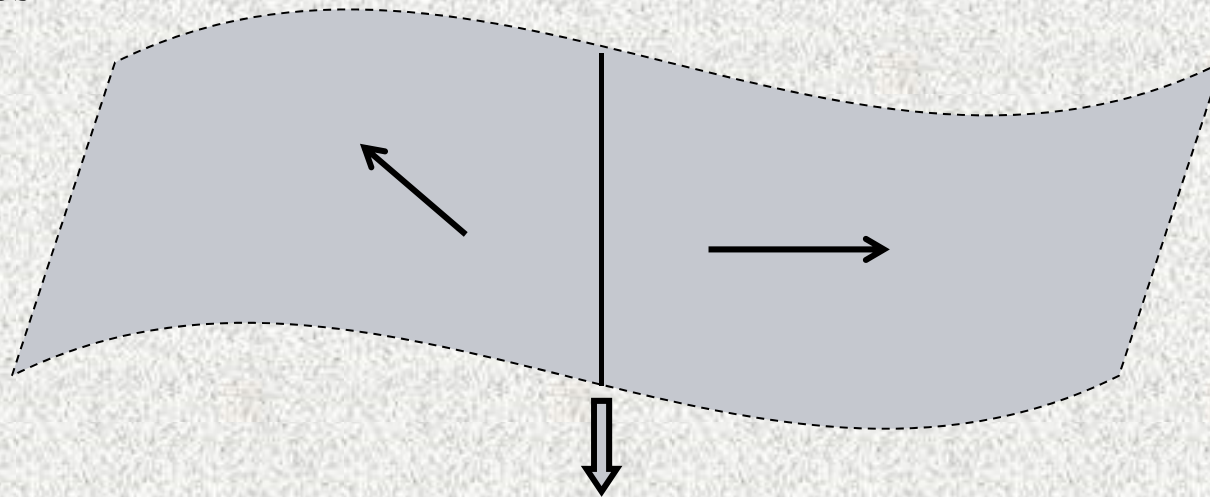
En los puntos fronterizos L pierde su validez

Revisando los requisitos: No-orientabilidad temporal

Espacio-tiempo no temporalmente orientable

¿Cómo se define la flecha del tiempo en cada región?

Criterio nomológico: Podría definirse mediante una ley local L de modo que habría regiones del espacio-tiempo cuyas flechas apuntaran en diferentes direcciones



En los puntos fronterizos L pierde su validez

Viola el ***Principio de Universalidad*** (admitido en cosmología):

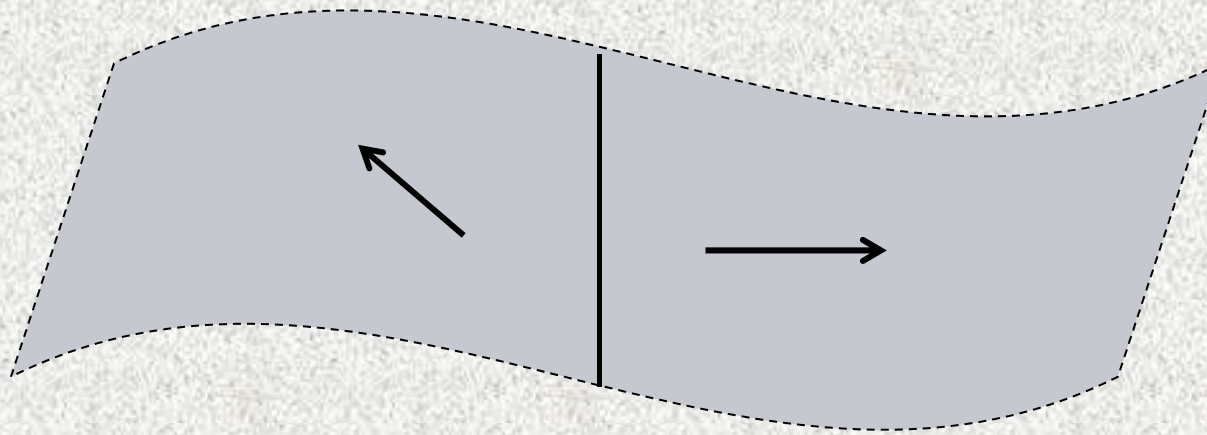
Las leyes de la física son válidas en todos los puntos del espacio-tiempo

Revisando los requisitos: No-orientabilidad temporal

Espacio-tiempo no temporalmente orientable

¿Cómo se define la flecha del tiempo en cada región?

¿Criterio geométrico?: ¿Podría definirse mediante una asimetría geométrica en cada región?

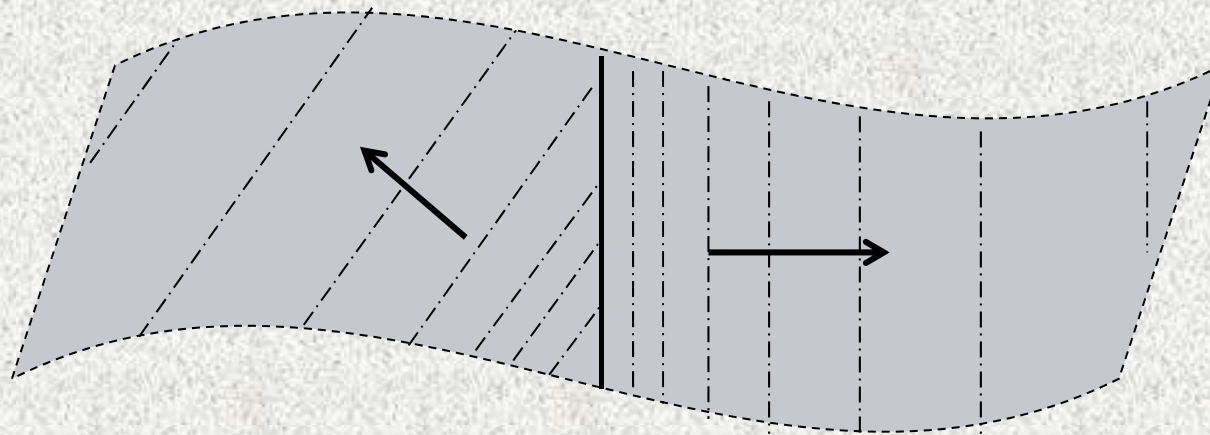


Revisando los requisitos: No-orientabilidad temporal

Espacio-tiempo no temporalmente orientable

¿Cómo se define la flecha del tiempo en cada región?

¿Criterio geométrico?: ¿Podría definirse mediante una asimetría geométrica en cada región?

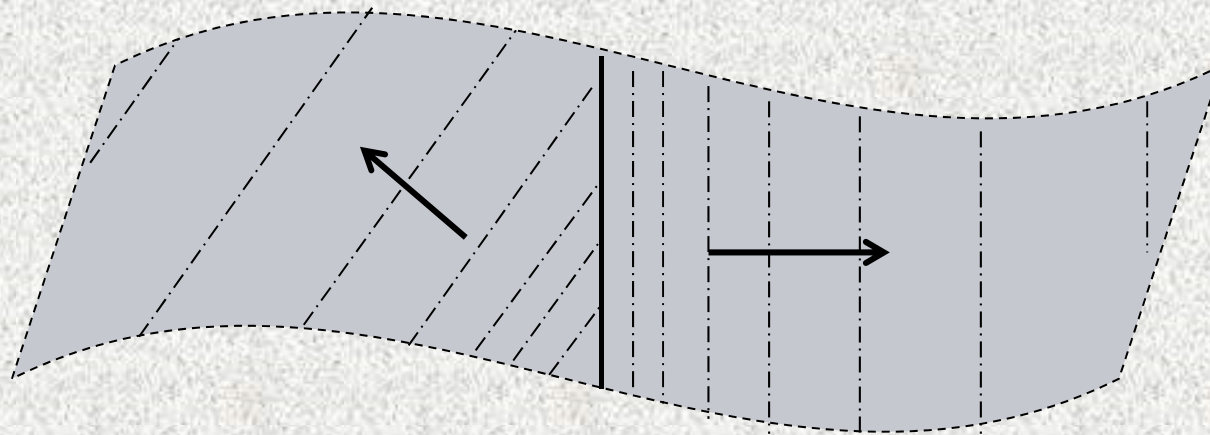


Revisando los requisitos: No-orientabilidad temporal

Espacio-tiempo no temporalmente orientable

¿Cómo se define la flecha del tiempo en cada región?

¿**Criterio geométrico?**: ¿Podría definirse mediante una asimetría geométrica en cada región?



Si así fuera, la flecha del tiempo



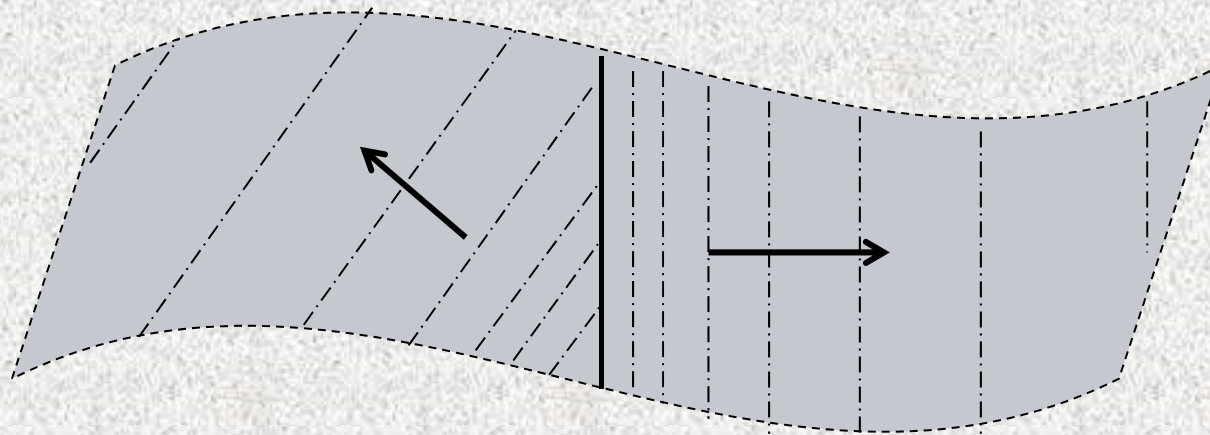
no sería global, sino **regional**

Revisando los requisitos: No-orientabilidad temporal

Espacio-tiempo no temporalmente orientable

¿Cómo se define la flecha del tiempo en cada región?

¿**Criterio geométrico?**: ¿Podría definirse mediante una asimetría geométrica en cada región?



Si así fuera, la flecha del tiempo

no sería global, sino **regional**

pero seguiría siendo **geométrica**

CONTENIDO

➤ Requisitos para la flecha global-geométrica

- (a) Orientabilidad temporal**
- (b) Existencia de tiempo global**
- (c) Asimetría temporal**
- (d) Condición de energía dominante**

➤ Revisando los requisitos

- (a) No-orientabilidad temporal**
- (b) Inexistencia de tiempo global**
- (c) Simetría temporal**
- (d) Violación de la condición de energía dominante**

➤ Conclusiones

Revisando los requisitos: Inexistencia de tiempo global

Espacio-tiempo sin tiempo global



Pueden existir curvas temporales cerradas

Revisando los requisitos: Inexistencia de tiempo global

Espacio-tiempo sin tiempo global



Pueden existir curvas temporales cerradas

¿Impiden las curvas temporales cerradas la definición de una dirección temporal privilegiada?

Revisando los requisitos: Inexistencia de tiempo global

Espacio-tiempo sin tiempo global



Pueden existir curvas temporales cerradas

¿Impiden las curvas temporales cerradas la definición de una dirección temporal privilegiada?

En la discusión acerca de curvas temporales cerradas (CTC), Earman define una CTC como:

“una curva espaciotemporal cerrada y parametrizada cuya tangente es en todos los puntos un vector tipo-tiempo que apunta hacia el futuro. Se puede pensar una CTC como la línea de mundo de algún posible observador cuya historia de vida está ordenada linealmente en lo pequeño pero no en lo grande: el observador tiene una experiencia consistente del “momento siguiente” y del “siguiente”, etc. , pero eventualmente el "siguiente momento" la lleva de vuelta a cualquier evento que considera como el punto de partida.”

Revisando los requisitos: Inexistencia de tiempo global

Espacio-tiempo sin tiempo global



Pueden existir curvas temporales cerradas

¿Impiden las curvas temporales cerradas la definición de una dirección temporal privilegiada?

En la discusión acerca de curvas temporales cerradas (CTC), Earman define una CTC como:

“una curva espaciotemporal cerrada y parametrizada cuya tangente es en todos los puntos un vector tipo-tiempo que apunta hacia el futuro. Se puede pensar una CTC como la línea de mundo de algún posible observador cuya historia de vida está ordenada linealmente en lo pequeño pero no en lo grande: el observador tiene una experiencia consistente del “momento siguiente” y del “siguiente”, etc. , pero eventualmente el "siguiente momento" la lleva de vuelta a cualquier evento que considera como el punto de partida.”

“CTCs are always future-directed curves”

Revisando los requisitos: Inexistencia de tiempo global

Espacio-tiempo sin tiempo global 

Pueden existir curvas temporales cerradas

¿Impiden las curvas temporales cerradas la definición de una dirección temporal privilegiada?

En la discusión acerca de curvas temporales cerradas (CTC), Earman define una CTC como:

“una curva espaciotemporal cerrada y parametrizada cuya tangente es en todos los puntos un vector tipo-tiempo que apunta hacia el futuro. Se puede pensar una CTC como la línea de mundo de algún posible observador cuya historia de vida está ordenada linealmente en lo pequeño pero no en lo grande: el observador tiene una experiencia consistente del “momento siguiente” y del “siguiente”, etc. , pero eventualmente el "siguiente momento" la lleva de vuelta a cualquier evento que considera como el punto de partida.”

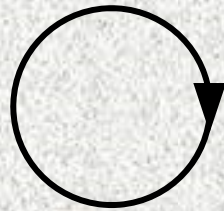
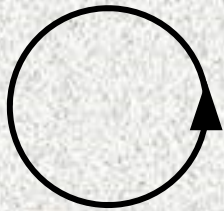
“CTCs are always future-directed curves” \Rightarrow La flecha del tiempo está presupuesta

Revisando los requisitos: Inexistencia de tiempo global

Espacio-tiempo sin tiempo global



Pueden existir curvas temporales cerradas



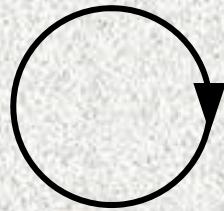
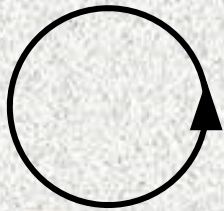
¿Cuál es el criterio para distinguir entre estos dos casos?

Revisando los requisitos: Inexistencia de tiempo global

Espacio-tiempo sin tiempo global



Pueden existir curvas temporales cerradas



¿Cuál es el criterio para distinguir entre estos dos casos?

El criterio no puede ser entrópico:

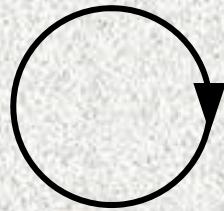
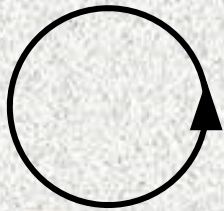
Ley que distingue entre los dos casos no puede ser el Segundo Principio, porque implica un aumento monótono de la entropía

Revisando los requisitos: Inexistencia de tiempo global

Espacio-tiempo sin tiempo global



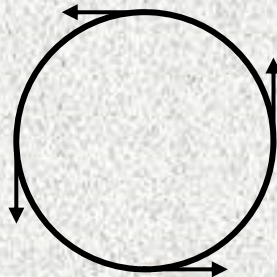
Pueden existir curvas temporales cerradas



¿Cuál es el criterio para distinguir entre estos dos casos?

El criterio puede ser nomológico:

La flecha viene definida por una ley no t-invariante que es válida sobre toda la curva

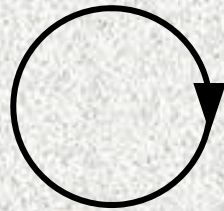
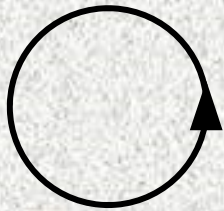


Revisando los requisitos: Inexistencia de tiempo global

Espacio-tiempo sin tiempo global



Pueden existir curvas temporales cerradas



¿Cuál es el criterio para distinguir entre estos dos casos?

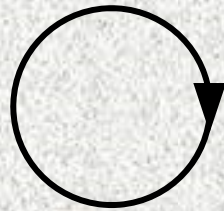
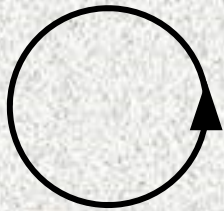
El criterio ¿puede ser geométrico?

Revisando los requisitos: Inexistencia de tiempo global

Espacio-tiempo sin tiempo global



Pueden existir curvas temporales cerradas



¿Cuál es el criterio para distinguir entre estos dos casos?

El criterio ¿puede ser geométrico?

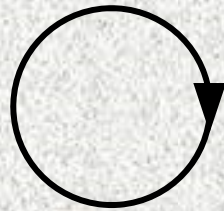
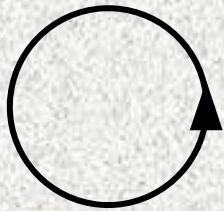
La flecha vendría definida por una asimetría geométrica sobre toda la curva

Revisando los requisitos: Inexistencia de tiempo global

Espacio-tiempo sin tiempo global



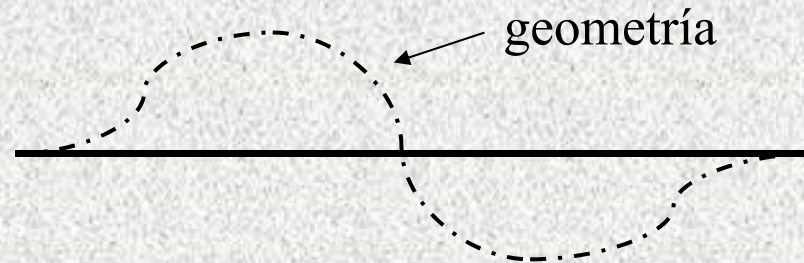
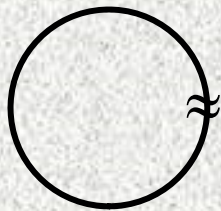
Pueden existir curvas temporales cerradas



¿Cuál es el criterio para distinguir entre estos dos casos?

El criterio ¿puede ser geométrico?

La flecha vendría definida por una asimetría geométrica sobre toda la curva

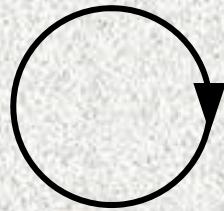
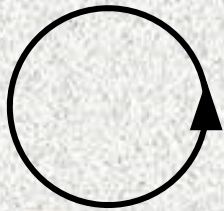


Revisando los requisitos: Inexistencia de tiempo global

Espacio-tiempo sin tiempo global



Pueden existir curvas temporales cerradas



¿Cuál es el criterio para distinguir entre estos dos casos?

El criterio ¿puede ser geométrico?

La flecha vendría definida por una asimetría geométrica sobre toda la curva

Si así fuera, la flecha del tiempo



seguiría siendo *global* y *geométrica*

CONTENIDO

➤ Requisitos para la flecha global-geométrica

- (a) Orientabilidad temporal**
- (b) Existencia de tiempo global**
- (c) Asimetría temporal**
- (d) Condición de energía dominante**

➤ Revisando los requisitos

- (a) No-orientabilidad temporal**
- (b) Inexistencia de tiempo global**
- (c) Simetría temporal**
- (d) Violación de la condición de energía dominante**

➤ Conclusiones

Revisando los requisitos: Simetría temporal

Espacio-tiempo temporalmente simétrico



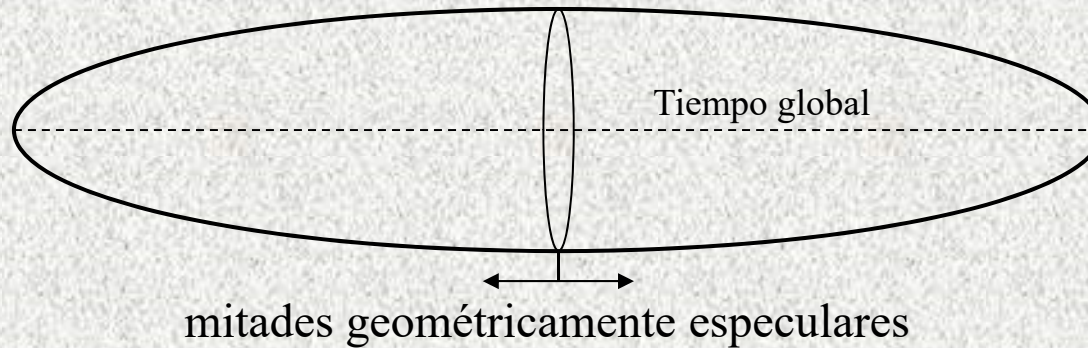
No pueden distinguirse las dos direcciones temporales a lo largo del tiempo global

Revisando los requisitos: Simetría temporal

Espacio-tiempo temporalmente simétrico



No pueden distinguirse las dos direcciones temporales a lo largo del tiempo global

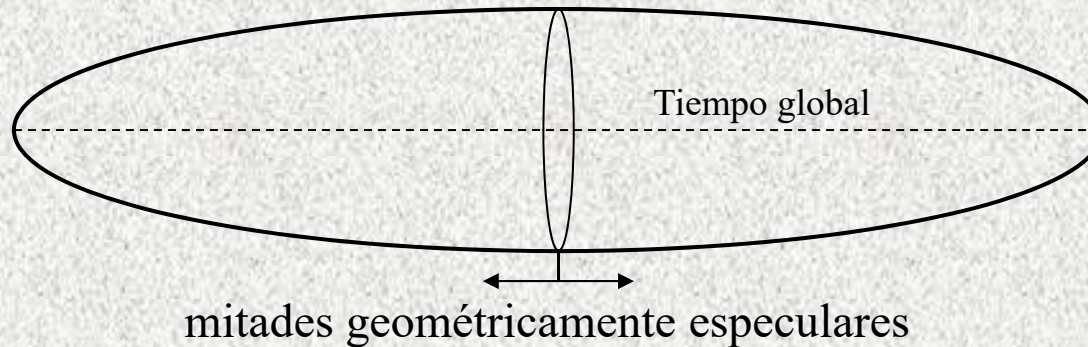


Revisando los requisitos: Simetría temporal

Espacio-tiempo temporalmente simétrico



No pueden distinguirse las dos direcciones temporales a lo largo del tiempo global



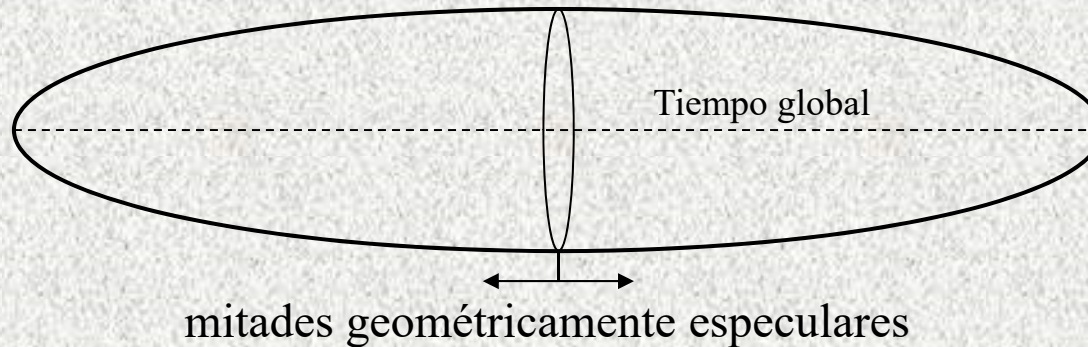
La flecha puede definirse *regionalmente*: cada mitad es en sí misma geométricamente asimétrica

Revisando los requisitos: Simetría temporal

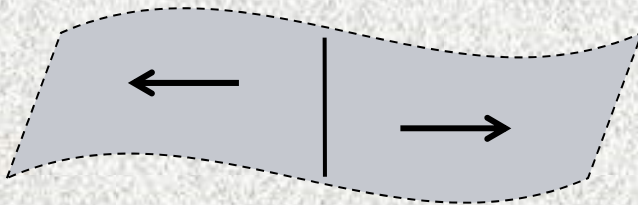
Espacio-tiempo temporalmente simétrico



No pueden distinguirse las dos direcciones temporales a lo largo del tiempo global



La flecha puede definirse *regionalmente*: cada mitad es en sí misma geométricamente asimétrica

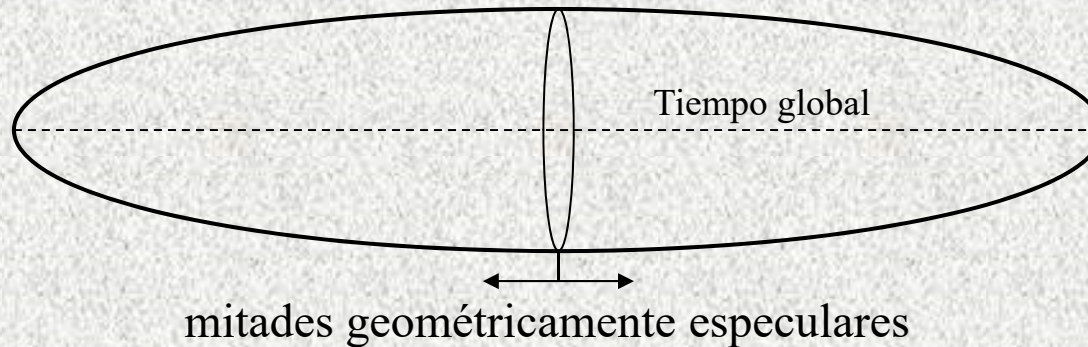


Revisando los requisitos: Simetría temporal

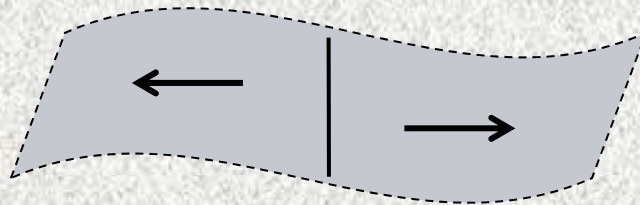
Espacio-tiempo temporalmente simétrico



No pueden distinguirse las dos direcciones temporales a lo largo del tiempo global



La flecha puede definirse *regionalmente*: cada mitad es en sí misma geométricamente asimétrica



no sería global, sino ***regional***
pero seguiría siendo ***geométrica***

CONTENIDO

➤ Requisitos para la flecha global-geométrica

- (a) Orientabilidad temporal**
- (b) Existencia de tiempo global**
- (c) Asimetría temporal**
- (d) Condición de energía dominante**

➤ Revisando los requisitos

- (a) No-orientabilidad temporal**
- (b) Inexistencia de tiempo global**
- (c) Simetría temporal**
- (d) Violación de la condición de energía dominante**

➤ Conclusiones

Revisando los requisitos: Violación de condición de energía dominante

En ciertas retriones del espacio-tiempo no se cumple la CED

Revisando los requisitos: Violación de condición de energía dominante

En ciertas retriones del espacio-tiempo no se cumple la CED

¿Afecta este incumplimiento la definición de la flecha global geométrica?

Revisando los requisitos: Violación de condición de energía dominante

En ciertas retriones del espacio-tiempo no se cumple la CED

¿Afecta este incumplimiento la definición de la flecha global geométrica?

Recordemos que la CED no define la flecha del tiempo global sino que permite trasladarla a contextos locales

Revisando los requisitos: Violación de condición de energía dominante

En ciertas retriones del espacio-tiempo no se cumple la CED

¿Afecta este incumplimiento la definición de la flecha global geométrica?

Recordemos que la CED no define la flecha del tiempo global sino que permite trasladarla a contextos locales

La CED es una condición local

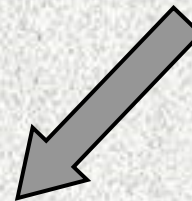
Revisando los requisitos: Violación de condición de energía dominante

En ciertas retriones del espacio-tiempo no se cumple la CED

¿Afecta este incumplimiento la definición de la flecha global geométrica?

Recordemos que la CED no define la flecha del tiempo global sino que permite trasladarla a contextos locales

La CED es una condición local



En las regiones donde no se cumple la CED,
la flecha del tiempo puede estar definida,
pero no se puede trasladar a nivel local como
flujo de energía

Revisando los requisitos: Violación de condición de energía dominante

En ciertas retriones del espacio-tiempo no se cumple la CED

¿Afecta este incumplimiento la definición de la flecha global geométrica?

Caso particular: la CED no se cumple es en la vecindad de la garganta de un *agujero-de-gusano*, objeto teórico que requiere de materia “exótica” (densidad de masa-energía negativa). La existencia de agujeros-de-gusano puede generar CTC's

Revisando los requisitos: Violación de condición de energía dominante

En ciertas retriones del espacio-tiempo no se cumple la CED

¿Afecta este incumplimiento la definición de la flecha global geométrica?

Caso particular: la CED no se cumple es en la vecindad de la garganta de un *agujero-de-gusano*, objeto teórico que requiere de materia “exótica” (densidad de masa-energía negativa). La existencia de agujeros-de-gusano puede generar CTC's

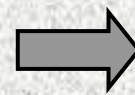


Revisando los requisitos: Violación de condición de energía dominante

En ciertas retriones del espacio-tiempo no se cumple la CED

¿Afecta este incumplimiento la definición de la flecha global geométrica?

Caso particular: la CED no se cumple es en la vecindad de la garganta de un *agujero-de-gusano*, objeto teórico que requiere de materia “exótica” (densidad de masa-energía negativa). La existencia de agujeros-de-gusano puede generar CTC's



Volvemos al caso de
inexistencia de tiempo global

CONTENIDO

➤ Requisitos para la flecha global-geométrica

- (a) Orientabilidad temporal**
- (b) Existencia de tiempo global**
- (c) Asimetría temporal**
- (d) Condición de energía dominante**

➤ Revisando los requisitos

- (a) No-orientabilidad temporal**
- (b) Inexistencia de tiempo global**
- (c) Simetría temporal**
- (d) Violación de la condición de energía dominante**

➤ Conclusiones

Conclusiones

El relajamiento de los requisitos para la definición de la flecha global geométrica no impiden de plano dicha definición

Conclusiones

El relajamiento de los requisitos para la definición de la flecha global geométrica no impiden de plano dicha definición

Es necesario considerar caso por caso

Conclusiones

El relajamiento de los requisitos para la definición de la flecha global geométrica no impiden de plano dicha definición

Es necesario considerar caso por caso

- No-orientabilidad temporal
- Simetría temporal

Conclusiones

El relajamiento de los requisitos para la definición de la flecha global geométrica no impiden de plano dicha definición

Es necesario considerar caso por caso

➤ No-orientabilidad temporal

➤ Simetría temporal



Atentan contra el carácter *global*

La flecha del tiempo puede continua siendo geométrica, pero definida como *regional*

Conclusiones

El relajamiento de los requisitos para la definición de la flecha global geométrica no impiden de plano dicha definición

Es necesario considerar caso por caso

➤ No-orientabilidad temporal

➤ Simetría temporal



Atentan contra el carácter *global*

La flecha del tiempo puede continua siendo geométrica, pero definida como *regional*

➤ Inexistencia de tiempo global

Conclusiones

El relajamiento de los requisitos para la definición de la flecha global geométrica no impiden de plano dicha definición

Es necesario considerar caso por caso

➤ No-orientabilidad temporal

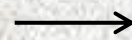
➤ Simetría temporal



Atentan contra el carácter *global*

La flecha del tiempo puede continua siendo geométrica, pero definida como *regional*

➤ Inexistencia de tiempo global



Permite conservar una definición
global y geométrica
de la flecha del tiempo

Muchas gracias

