

Los problemas del modelo de la gran explosión

El problema de la falta de curvatura

De la nucleosíntesis, sabemos que la densidad de masa bariónica es:

$$\Omega_b = 0.04$$

Por otro lado, la contribución de masa oscura es:

$$\Omega_{mo} = 0.22$$

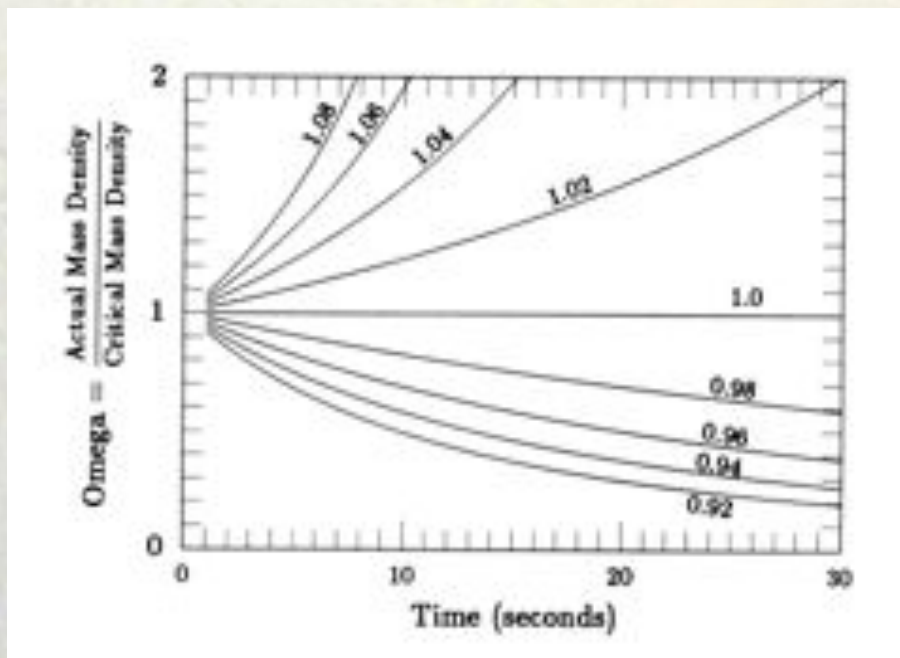
Luego entonces:

$$\Omega_b + \Omega_{mo} = 0.26$$

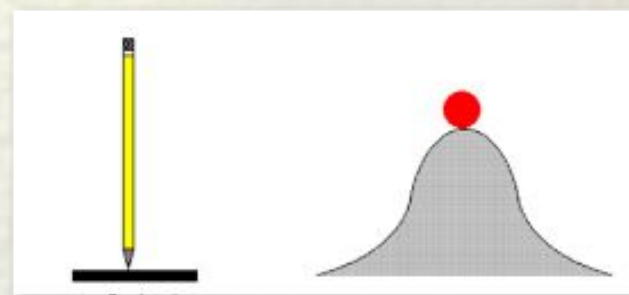
Pero ...

Los problemas del modelo de la gran explosión

El problema de la falta de curvatura

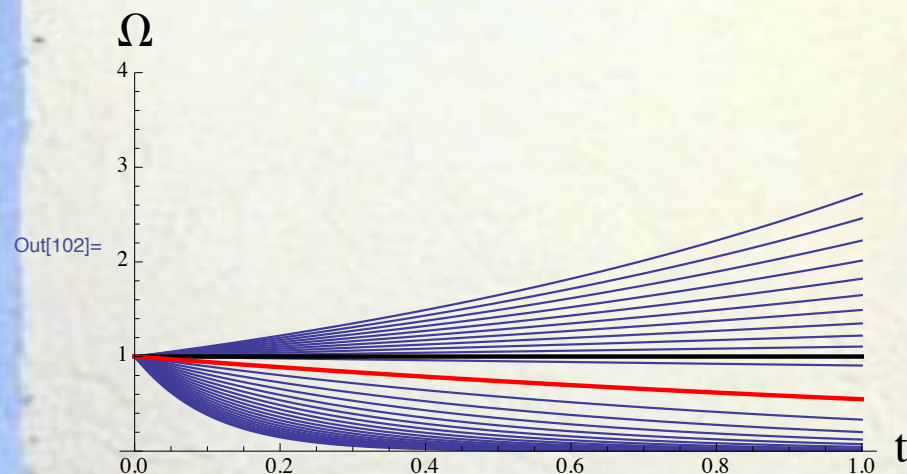


$$\Omega_b + \Omega_{mo} = 0.26$$

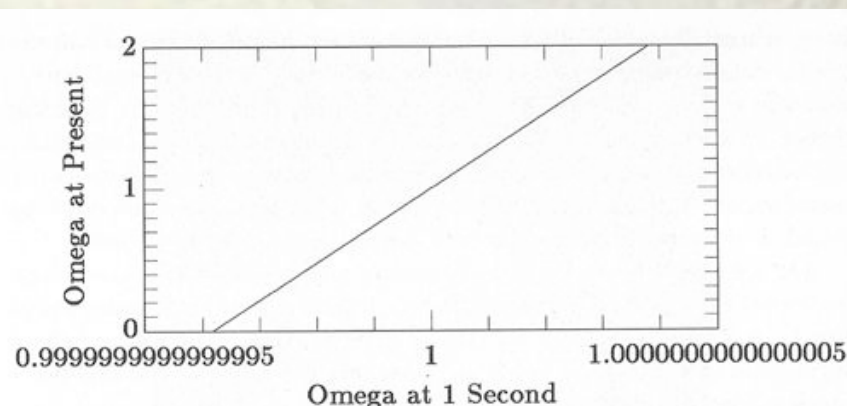


¡Los Universos de Friedmann-Lemaître con $\Omega=1$ son inestables!

Los problemas del modelo de la gran explosión



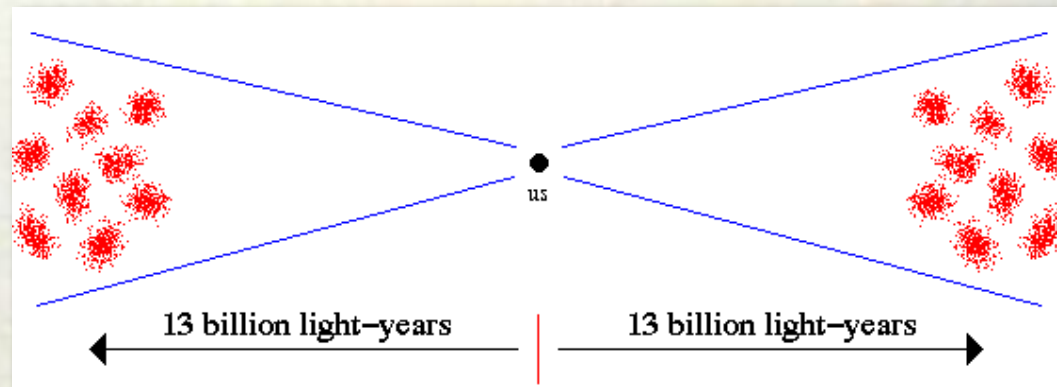
$$\Omega_b = 0.04$$



Para tener Ω al momento presente un valor de 0.04, cuando el Universo tenía un segundo de edad, el valor de Ω debió ser de 0.999 999 999 999 999 8 exactamente. ¿Cómo puede ser esto posible?

Los problemas del modelo de la gran explosión

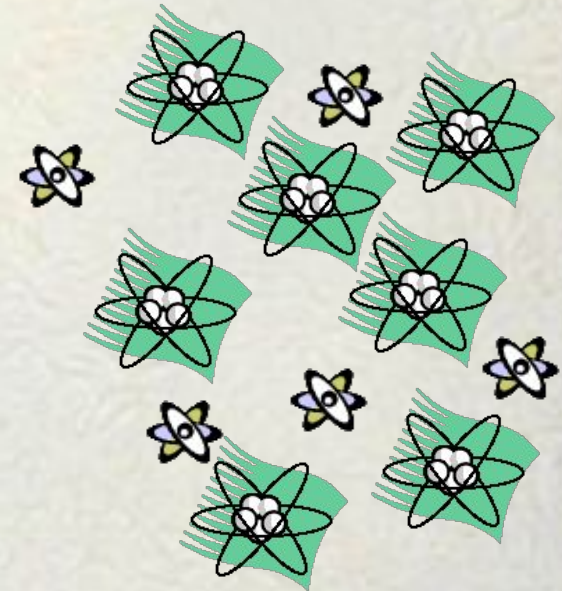
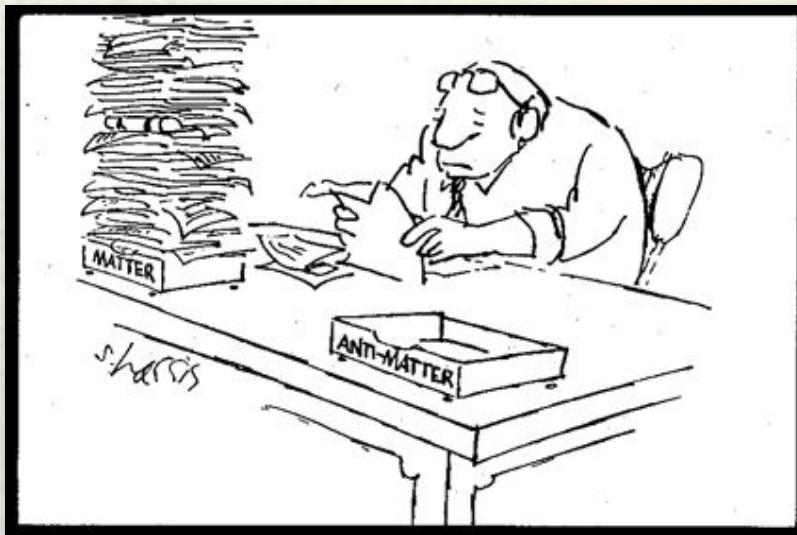
El problema del horizonte cósmico



Cuando observamos la radiación cósmica de fondo en direcciones opuestas en el cielo, estamos observando regiones del Universo que no están causalmente conectadas. ¿Cómo pueden entonces tener la misma temperatura?

Los problemas del modelo de la gran explosión

El problema del origen de la materia



¿De dónde salió la materia?

¿Por qué solo hay materia y no hay antimateria a partes iguales?

Los problemas del modelo de la gran explosión

Estos no son estrictamente hablando problemas del modelo de la gran explosión. Los primeros dos pueden ser “arreglados” ajustando las condiciones iniciales. El tercero es en realidad un problema de la Física de partículas.

Pero, ¿quién ajustó las condiciones iniciales del Universo?



Los problemas del modelo de la gran explosión

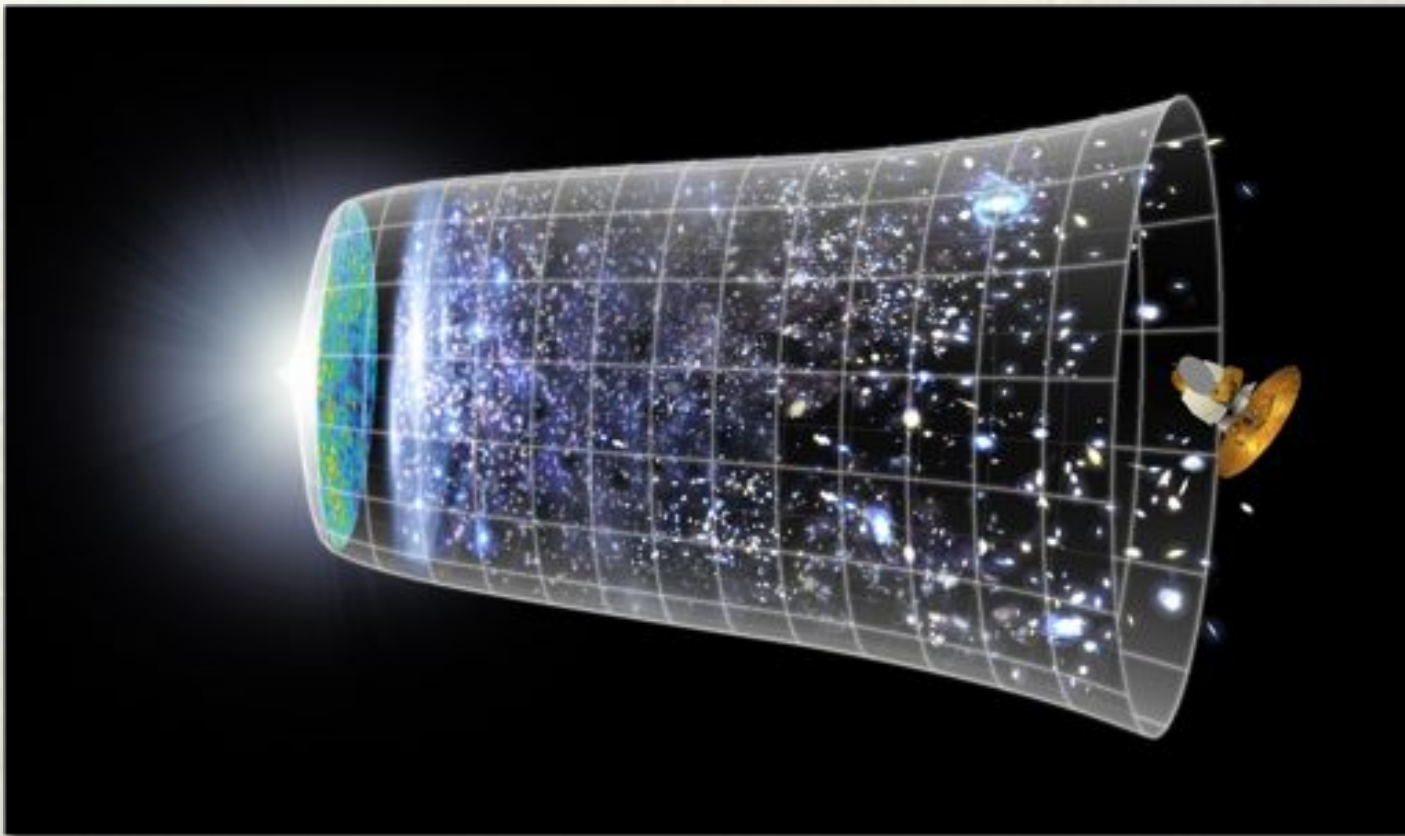
**¿Existe una forma alternativa de resolver
estos problemas?**

Los problemas del modelo de la gran explosión

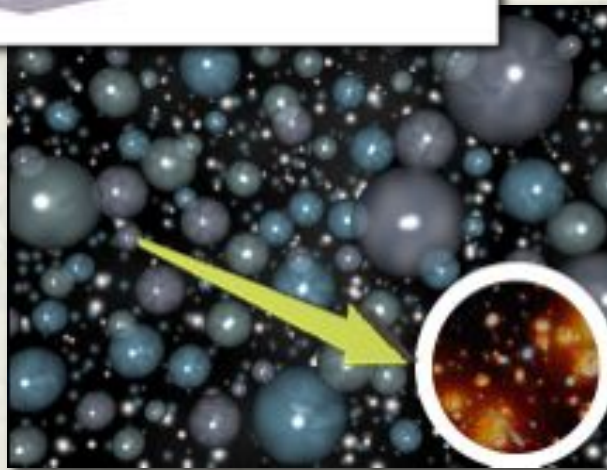
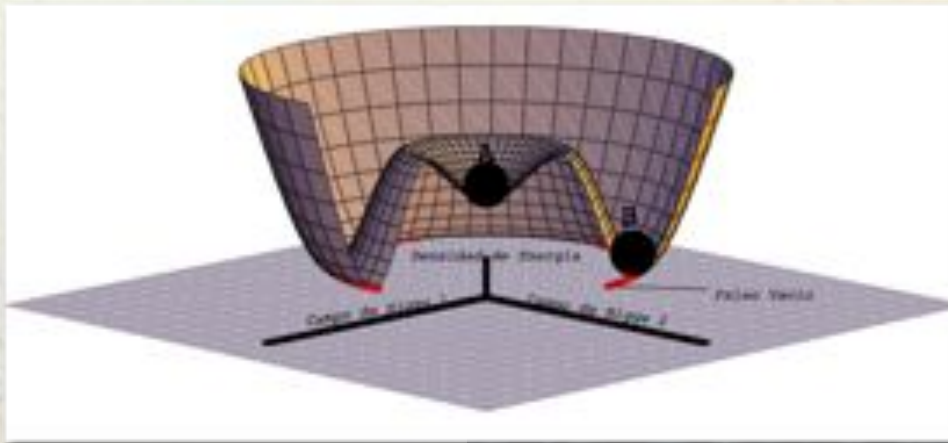
**¿Existe una forma alternativa de resolver
estos problemas?**

¡Sí!

El Universo Inflacionario

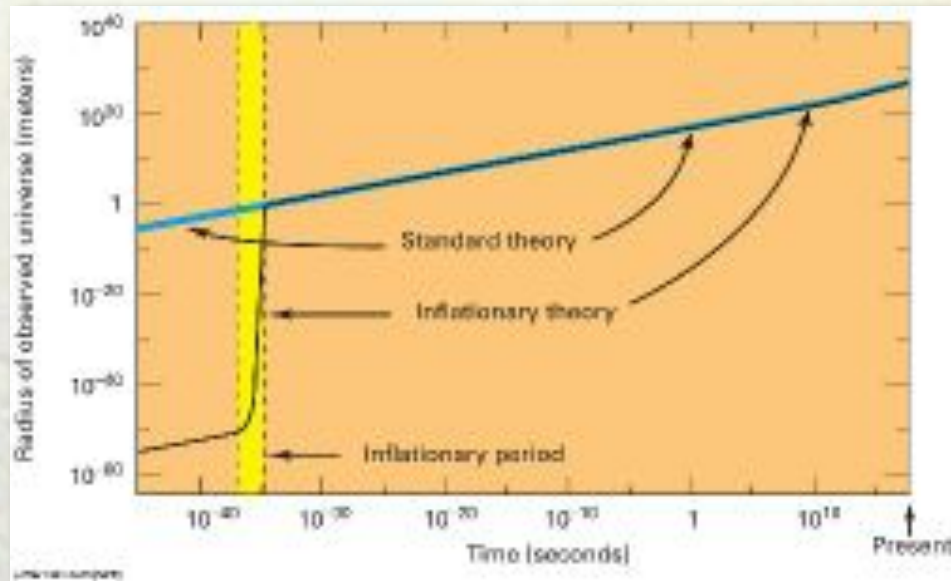


El modelo del Universo Inflacionario



Alan Guth (1947-)

El modelo del Universo Inflacionario

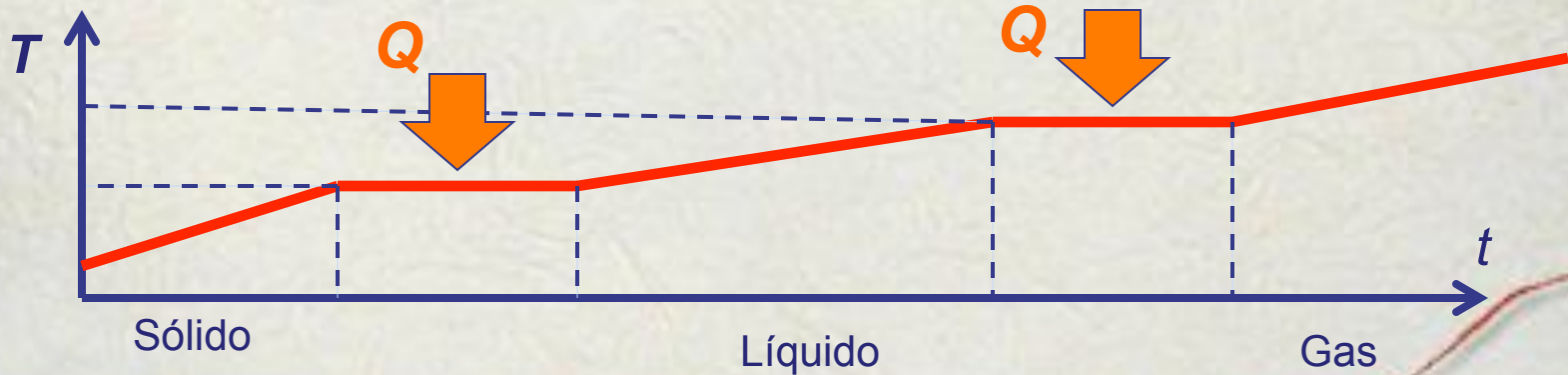
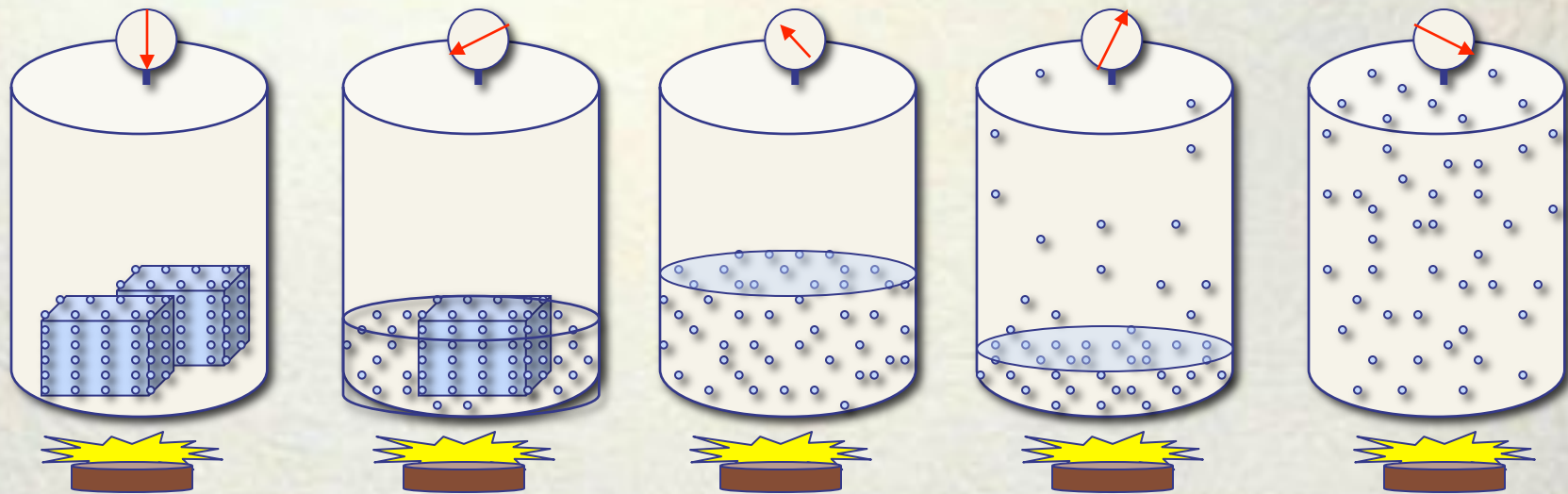


El modelo del Universo Inflacionario nos dice que cuando el Universo tenía entre 10^{-36} y 10^{-33} segundos de edad, sufrió un período de expansión exponencial que aumentó el radio de escala del Universo en ¡un factor de 10^{78} !

¿Qué produjo la expansión tan tremenda de la etapa inflacionaria?

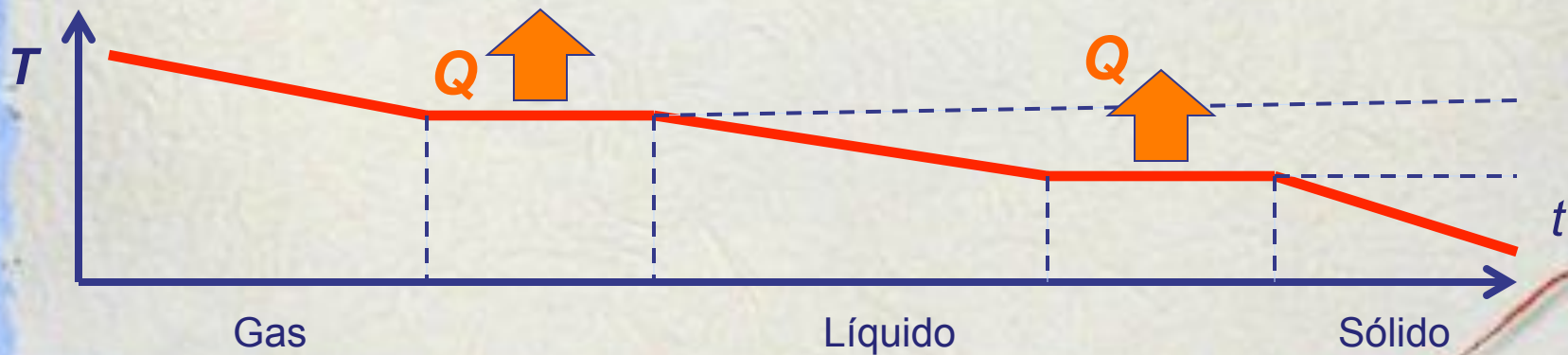
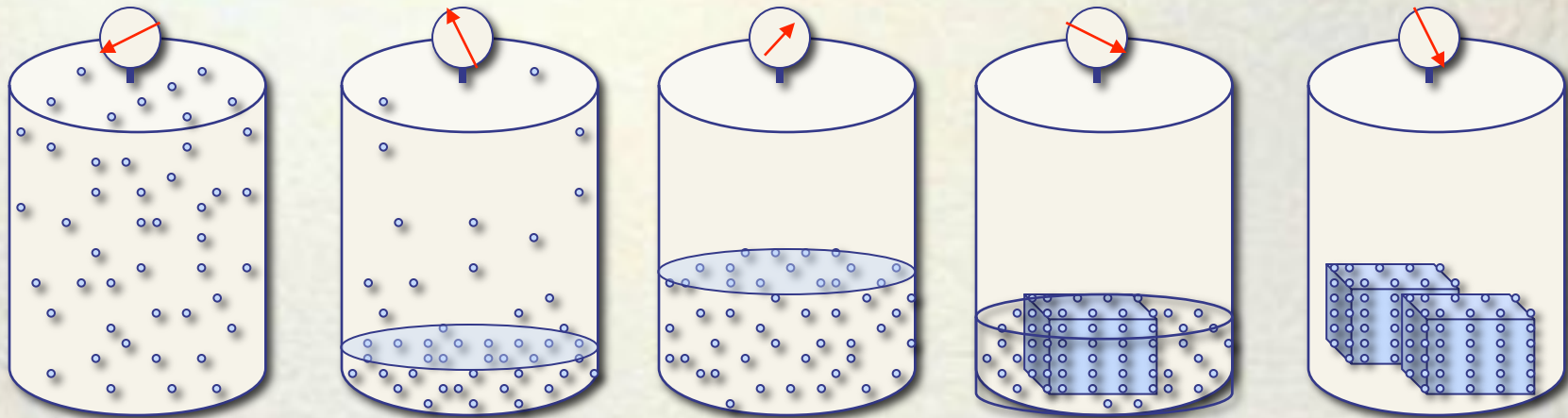
Cambios de fase

Cambios de fase del agua, desde hielo hasta vapor de agua.



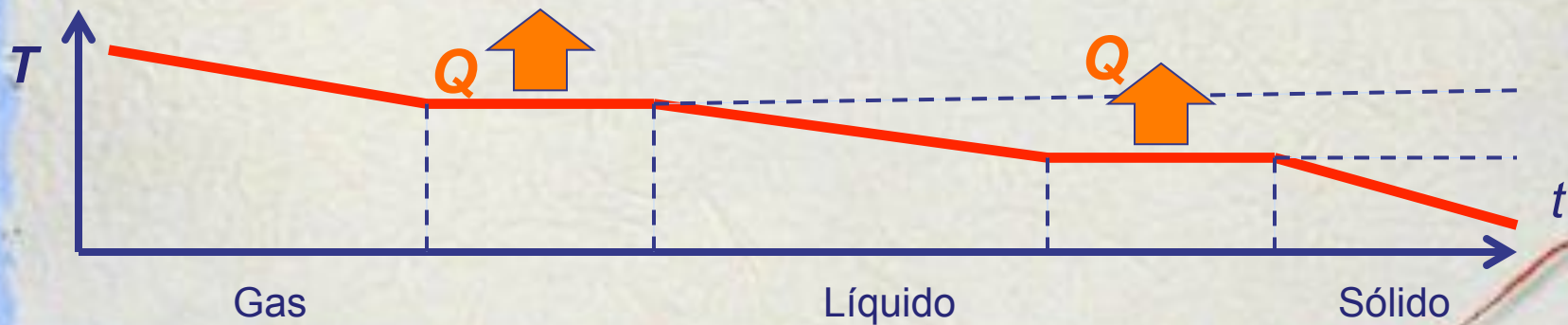
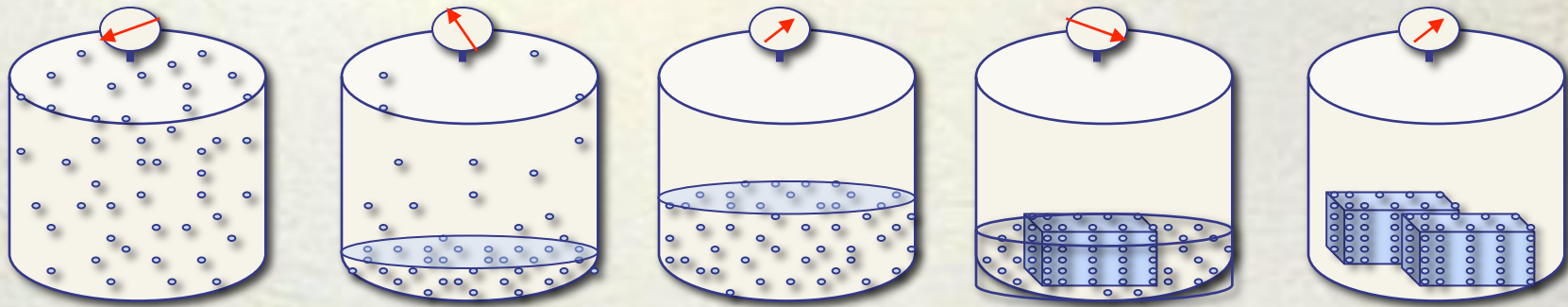
Cambios de fase

Cambios de fase ahora en sentido inverso.



Cambios de fase

Durante los cambios de fase (gas a líquido y líquido a sólido) la temperatura permanece constante y el sistema libera energía (calor latente).



Cambio de fase

**¿Y esto qué tiene que ver con el
Universo temprano?**

Teorías de Gran Unificación

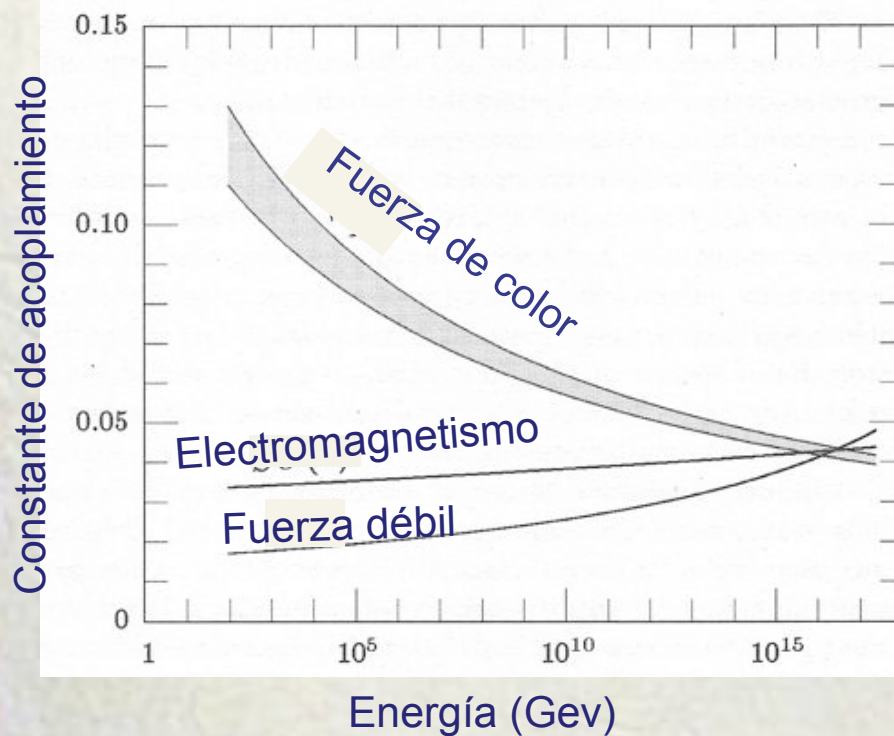
Force	Mediator	Q_{em}	Spin	Mass
Gravitational	 graviton	0	2	0
Electro-magnetic	 photon	0	1	0
Strong	 gluons	0	1	0
Weak	 W^+	+1	1	80 GeV
	 W^-	-1	1	80 GeV
	 Z^0	0	1	91 GeV

Hasta donde sabemos, existen 4 diferentes fuerzas (“interacciones”) en el Universo:

- 1, La Gravedad
2. La Electromagnética
3. La llamada Fuerza Fuerte, o de color.
4. La llamada Fuerza Débil.

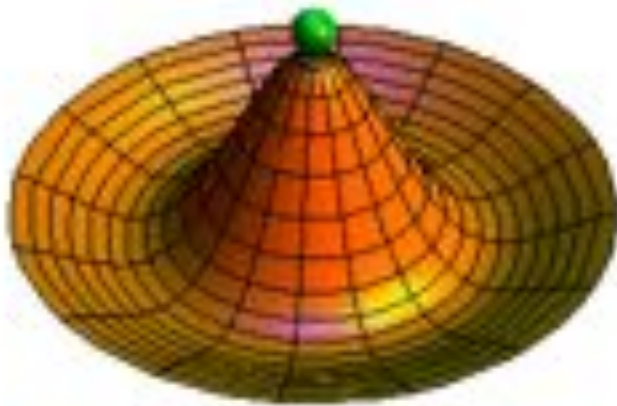
Cada una actúa de forma diferente y con amplitudes muy diferentes.

Teorías de Gran Unificación



Sin embargo, a medida que aumentamos la energía, 3 de las fuerzas parecen converger en una sola.

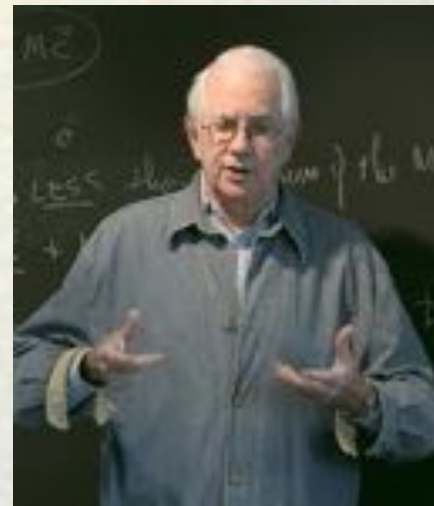
Teorías de Gran Unificación



Para hacer que dos fuerzas que en realidad son la misma, se comporten como dos fuerzas diferentes, se utiliza el mecanismo de “Rompimiento espontáneo de Simetría”

Teorías de Gran Unificación

Este es precisamente el mecanismo utilizado por Weinberg, Salam y Glashow para crear la Teoría Electrodébil que une a las fuerzas electromagnética y débil.



Esta teoría ha sido corroborada experimentalmente y por esto, sus tres autores recibieron el Premio Nobel de Física.

Teorías de Gran Unificación

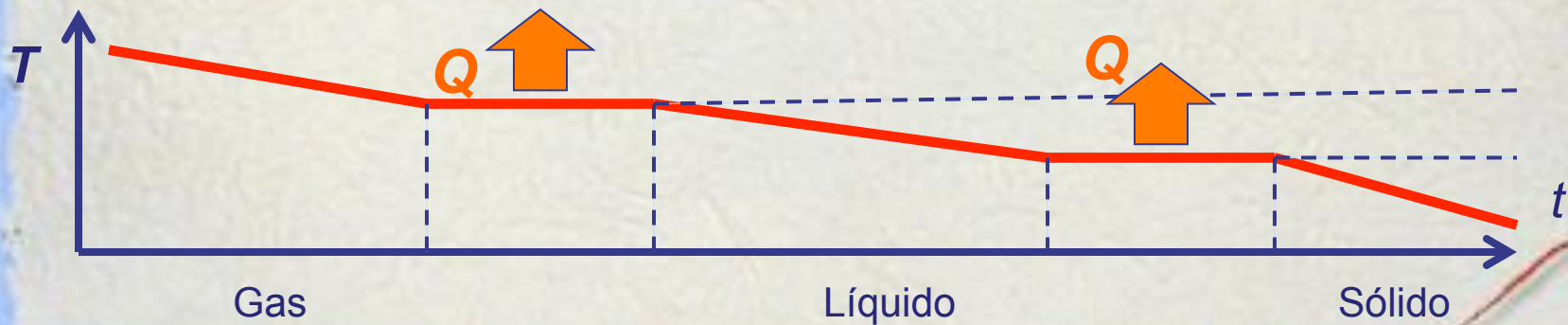
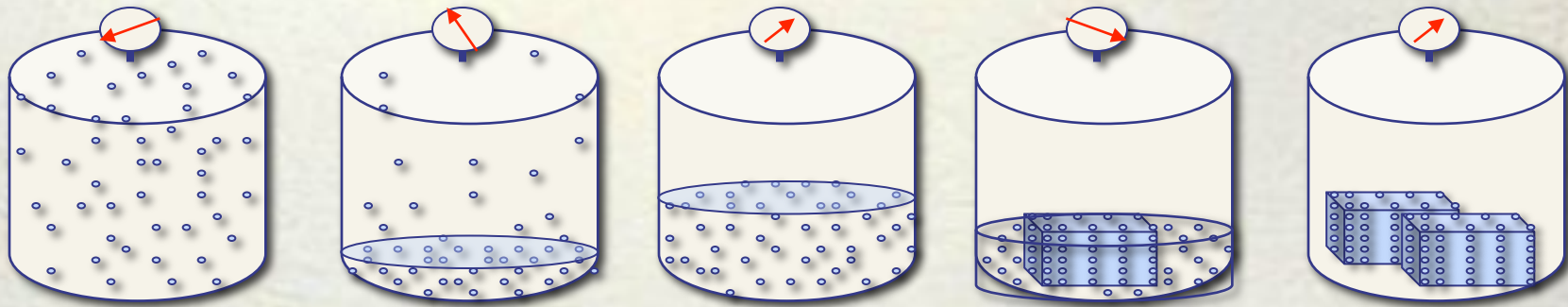
Sin embargo, cuando Alan Guth aplicó el mismo mecanismo a la Teoría de Gran Unificación (GUT) que incorpora también a la Fuerza de color, a el modelo cosmológico de la Gran Explosión, ...



... ¡algo extraño ocurrió!

Cambio de fase

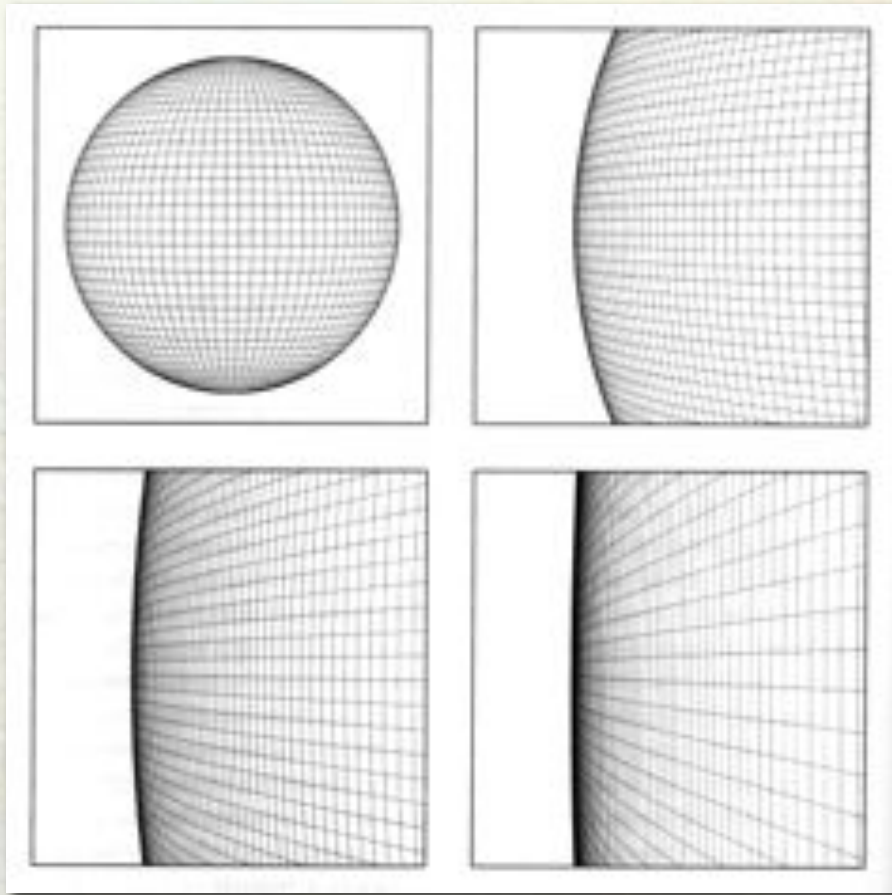
En el Universo temprano ocurre también un cambio de fase al separarse las fuerzas. Durante el cambio de fase el Universo se expande enormemente y el calor latente se manifiesta en forma de partículas.



El Universo Inflacionario

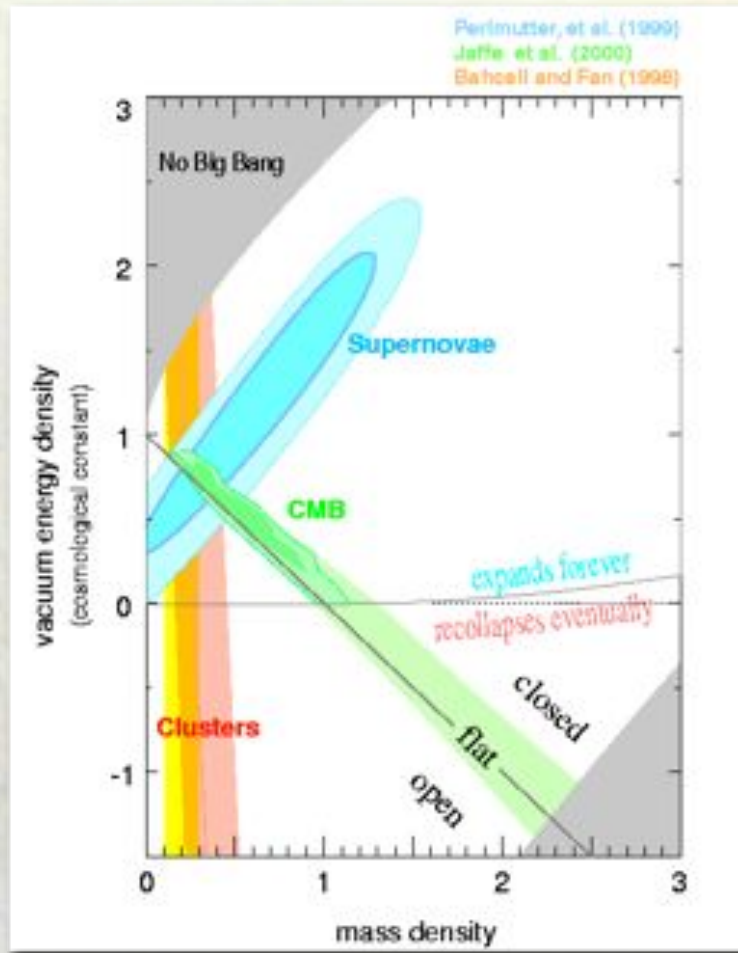
**¡El Universo se expande
treméndamente durante la
transición de fase
Causada por el rompimiento de
simetría de la teoría de gran
unificación!**

Solución del problema de la no curvatura



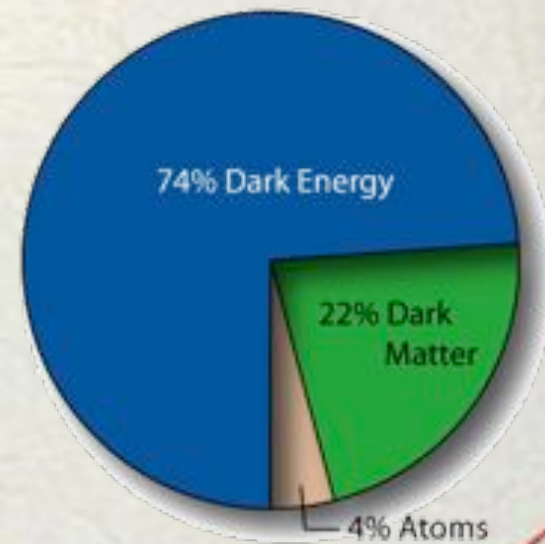
Pero entonces,
 $\Omega=1$, exactamente!

La Expansión acelerada del Universo



La evidencia observacional actual nos dice que, en efecto, vivimos en un Universo plano.

¡ $\Omega=1$! ✓



¿Energía oscura?

La expansión acelerada del Universo

En 2011, el premio Nobel de Física fue otorgado a Saul Perlmutter, Brian Schmidt and Adam Riess, por el descubrimiento en 1998 de la expansión acelerada del Universo.



S. Perlmutter



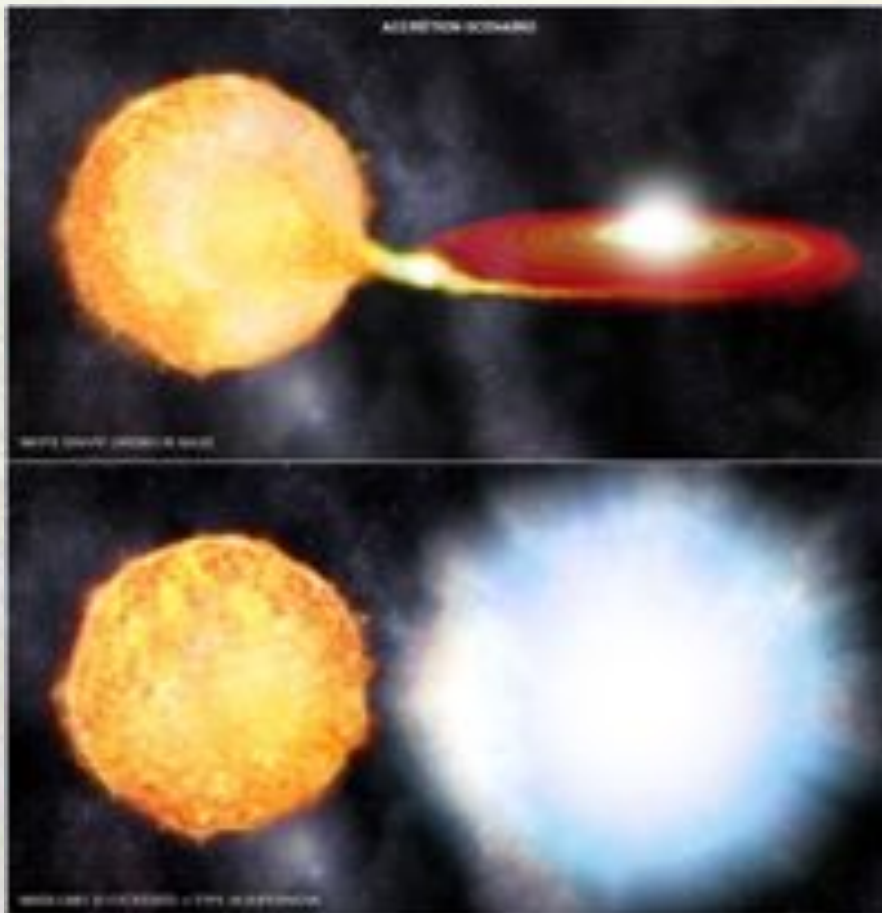
B. Schmidt



A. Riess

Perlmutter era el líder del proyecto “Supernova Cosmology Project”, mientras que Schmidt y Riess eran los líderes del proyecto “High-Z Supernova Search Team” que independientemente, buscaban medir con mayor precisión la expansión del Universo usando Supernovas.

La expansión acelerada del Universo

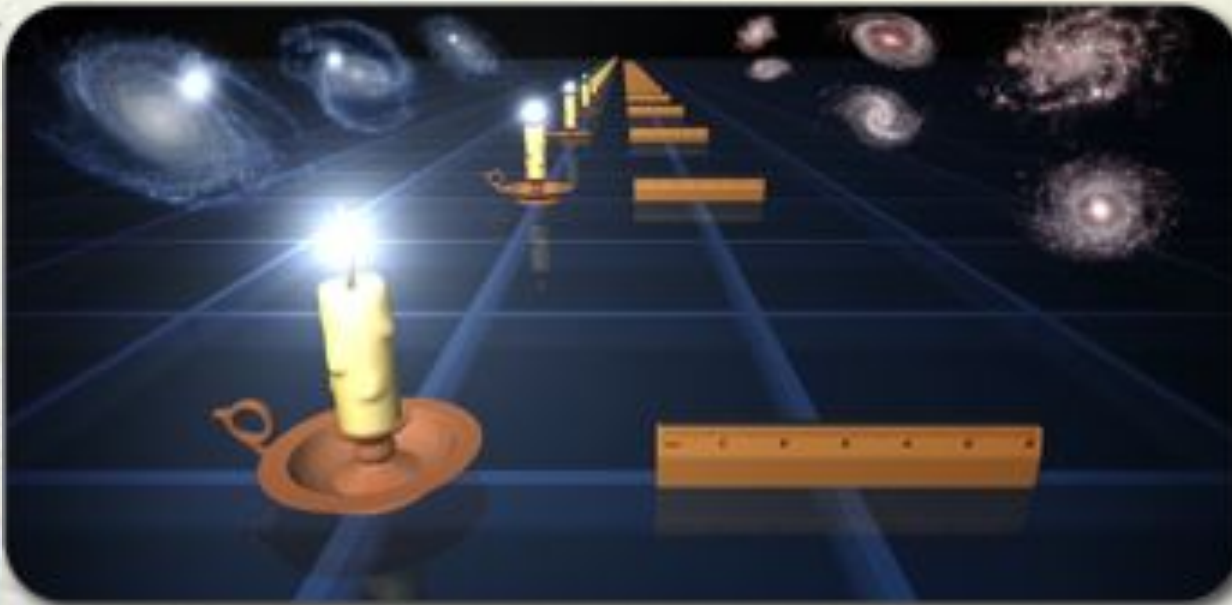


Las supernovas tipo Ia ocurren en sistemas de estrellas binarias en los que una de las estrellas se ha convertido en una enana blanca, la cual, le arranca de forma continua material a su compañera.

Esto hace que la masa de la enana blanca aumente gradualmente hasta que ésta se vuelve inestable y explota como supernova.

Para la Cosmología, las supernovas tipo Ia son importantes porque al explotar tienen siempre el mismo brillo intrínseco.

La expansión acelerada del Universo



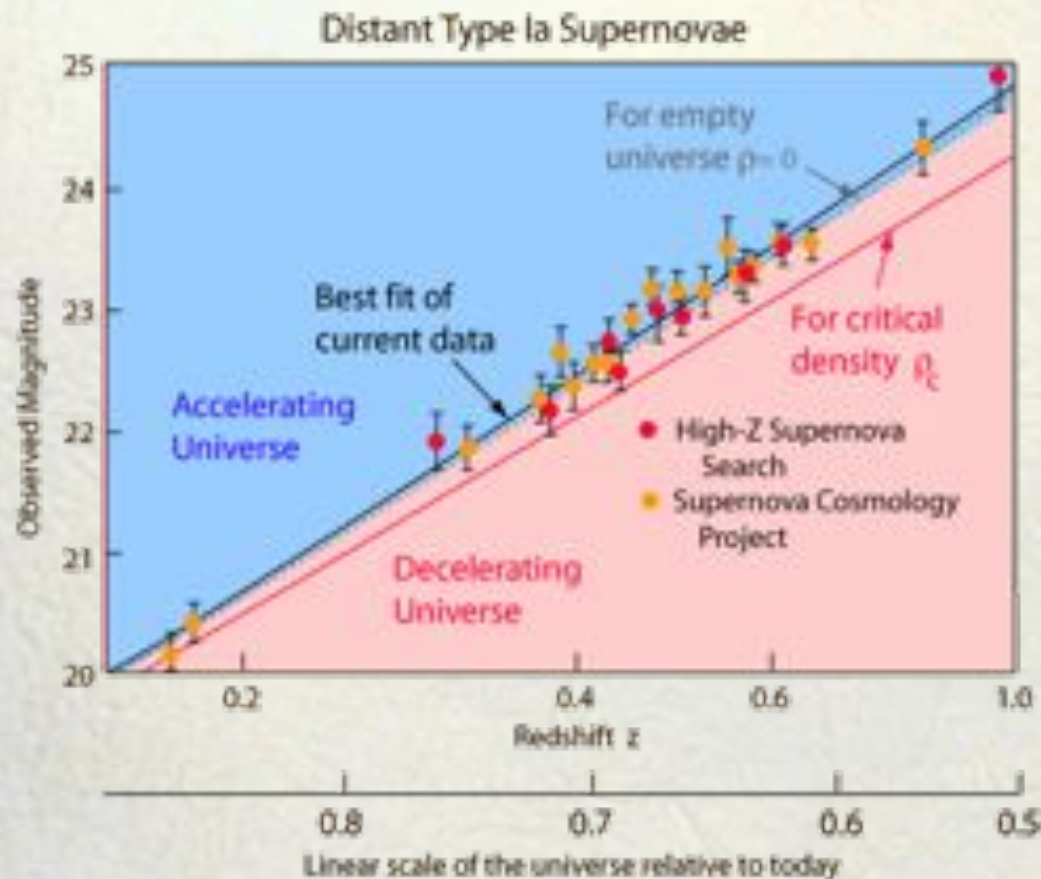
Como estas tienen siempre el mismo brillo intrínseco. Pueden ser usadas como “velas estándar”, es decir como fuentes de luminosidad conocida y deducir su distancia a partir de su brillo aparente.

Como además, las supernovas son muy brillantes, pueden ser observadas a enormes distancias.

Por medio del efecto Doppler podemos medir sus velocidades radiales.

La combinación de ambas mediciones: distancia y velocidad, permite cuantificar la expansión del Universo.

La expansión acelerada del Universo



Lo que ambos proyectos encontraron es que, lejos de estarse desacelerando, ¡el Universo parece estar acelerando su expansión!

La expansión acelerada del Universo

¡Pero una expansión acelerada solo puede explicarse con una constante cosmológica!

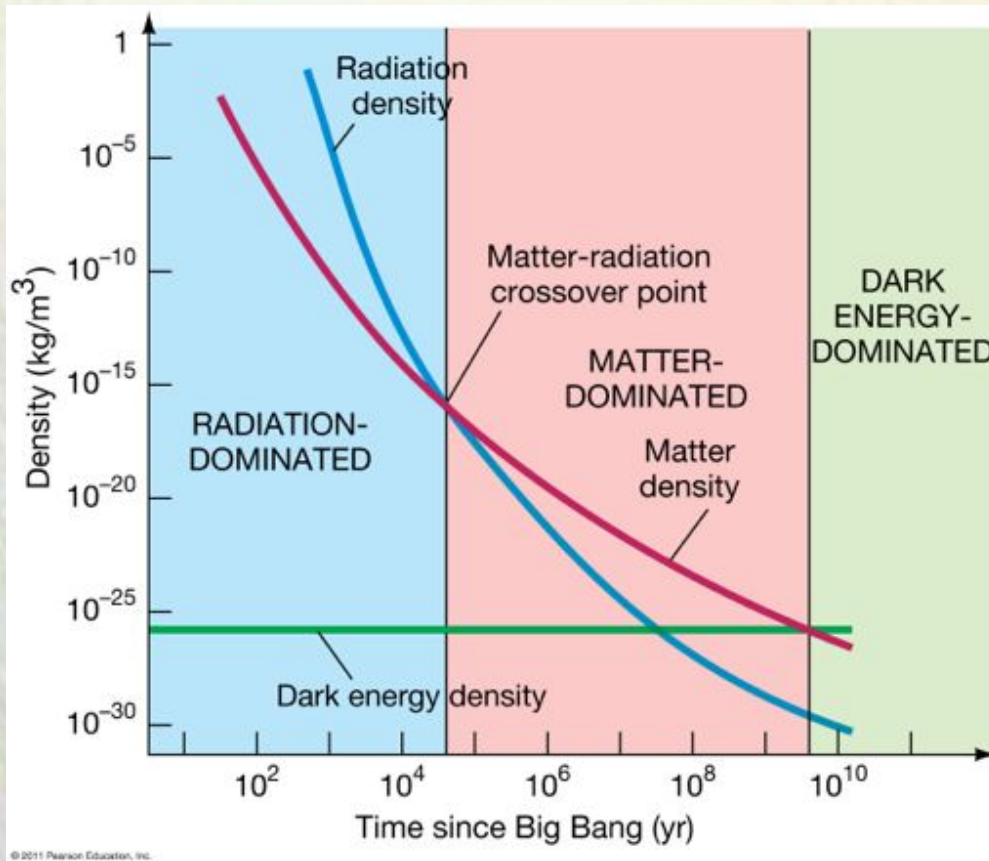
The diagram illustrates the Friedmann acceleration equation, showing the relationship between acceleration, gravity, and the cosmological constant. The equation is presented as:

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + 3p) + \frac{\Lambda}{3}$$

The terms are annotated as follows:

- acceleration**: $\frac{\ddot{a}}{a}$
- gravity**: $-\frac{4\pi G}{3}(\rho + 3p)$ (indicated as "slows down expansion")
- cosmological constant**: $+\frac{\Lambda}{3}$ (indicated as "speeds up expansion")

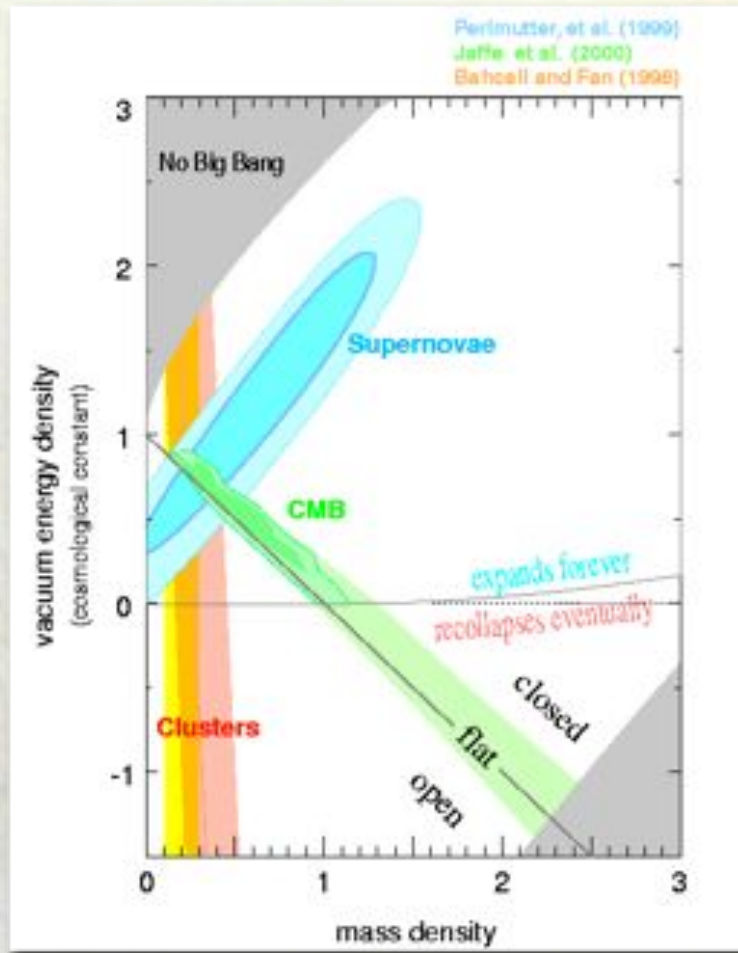
La expansión acelerada del Universo



Una constante cosmológica implica la existencia de una energía negativa que permea todo el espacio y que permanece constante, a pesar de la expansión del Universo.

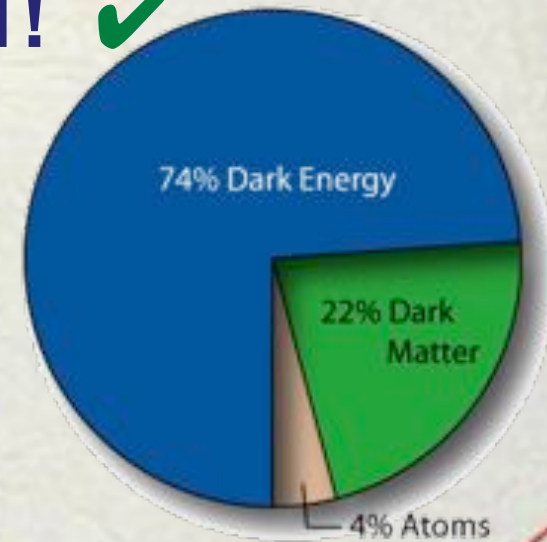
Esto implica que el Universo ha pasado por tres etapas: Cuando su expansión estaba dominada por la energía de radiación electromagnética, cuando estaba dominada por la gravedad de la materia bariónica, y la época actual, en la que la repulsión debida a la energía oscura empieza a dominar.

Solución del problema del horizonte cósmico

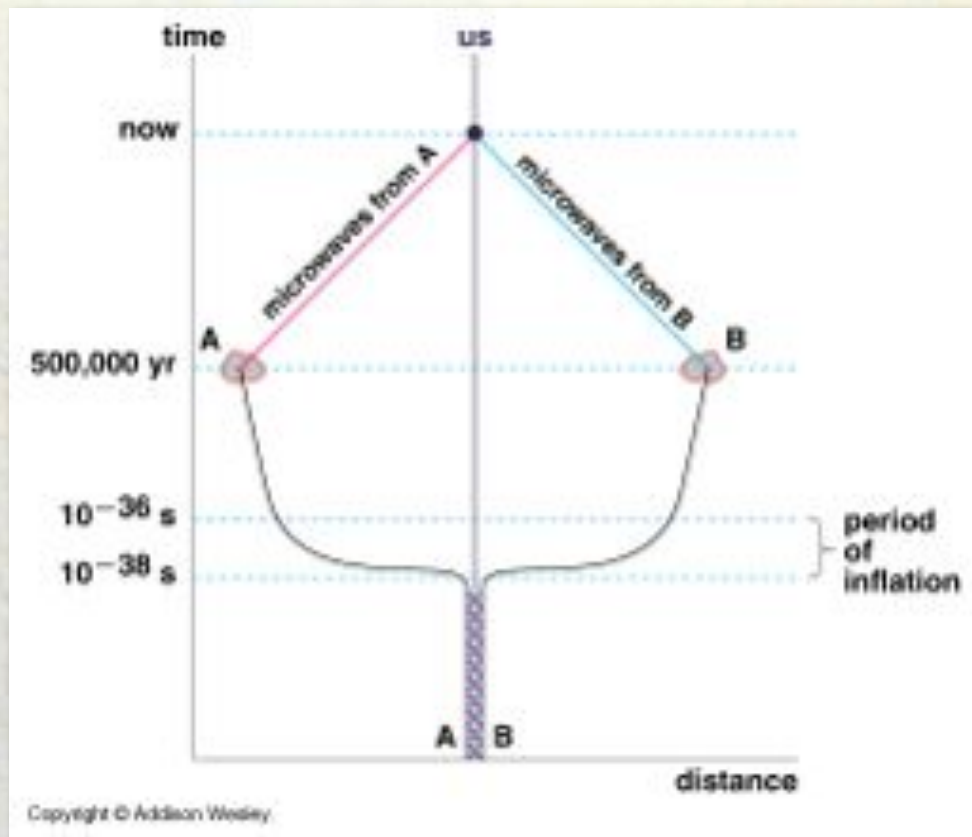


Lo importante aquí es que la suma de las contribuciones de la materia bariónica, la materia oscura y la energía oscura nos dan un Universo sin curvatura.

¡ $\Omega=1$! ✓

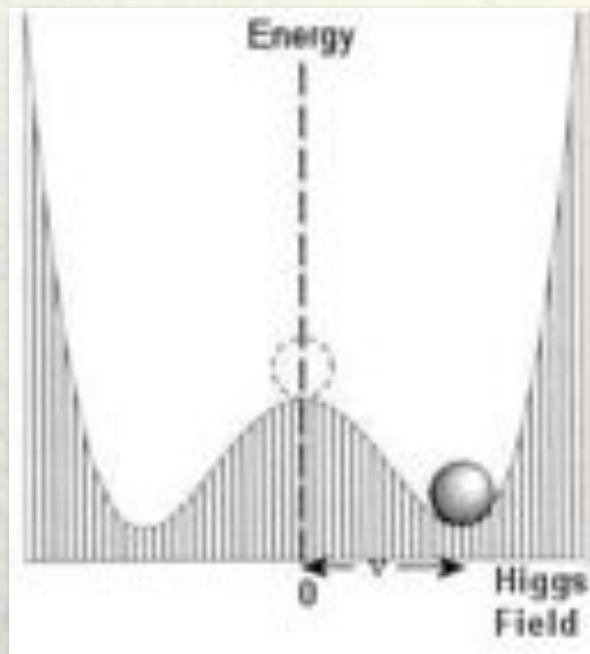


Solución del problema del horizonte cósmico



En un Universo que ha pasado por una etapa de inflación, puntos opuestos en el cielo a la distancia de la radiación cósmica de fondo, estaban ligados cuasalmente antes de la inflación. ✓

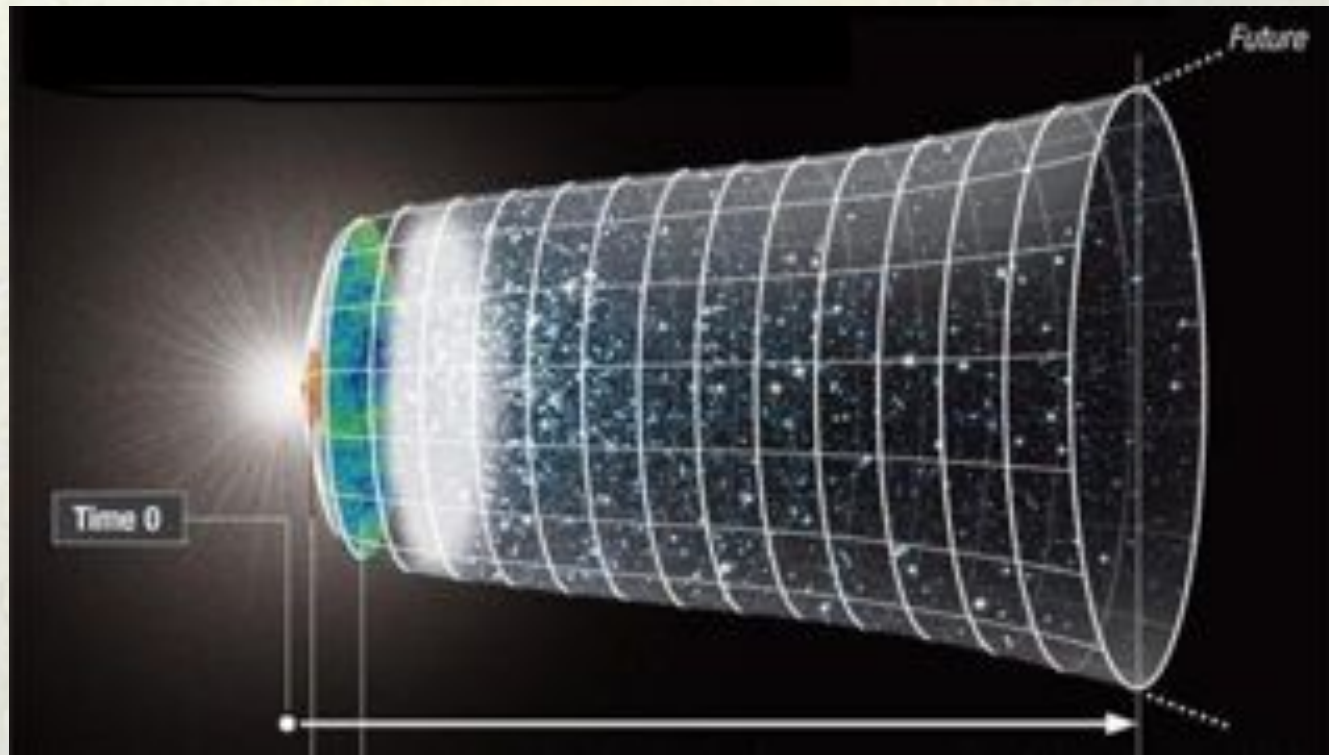
Solución del problema de la existencia de materia



Resulta que al sufrir el Universo el cambio de fase en el que se separan la fuerza fuerte de las demás fuerzas, hay un gran “calor latente” que es liberado. Esta energía es la que da origen a todas las partículas que hay en el Universo.

El modelo cosmológico actual

El modelo de la Gran Explosión, junto con un período inflacionario constituyen el modelo cosmológico actual, el cual es compatible con casi todas las observaciones que se han hecho del Universo.



¿Hemos terminado?



¡Al infinito y más allá!



Ciencia y especulación

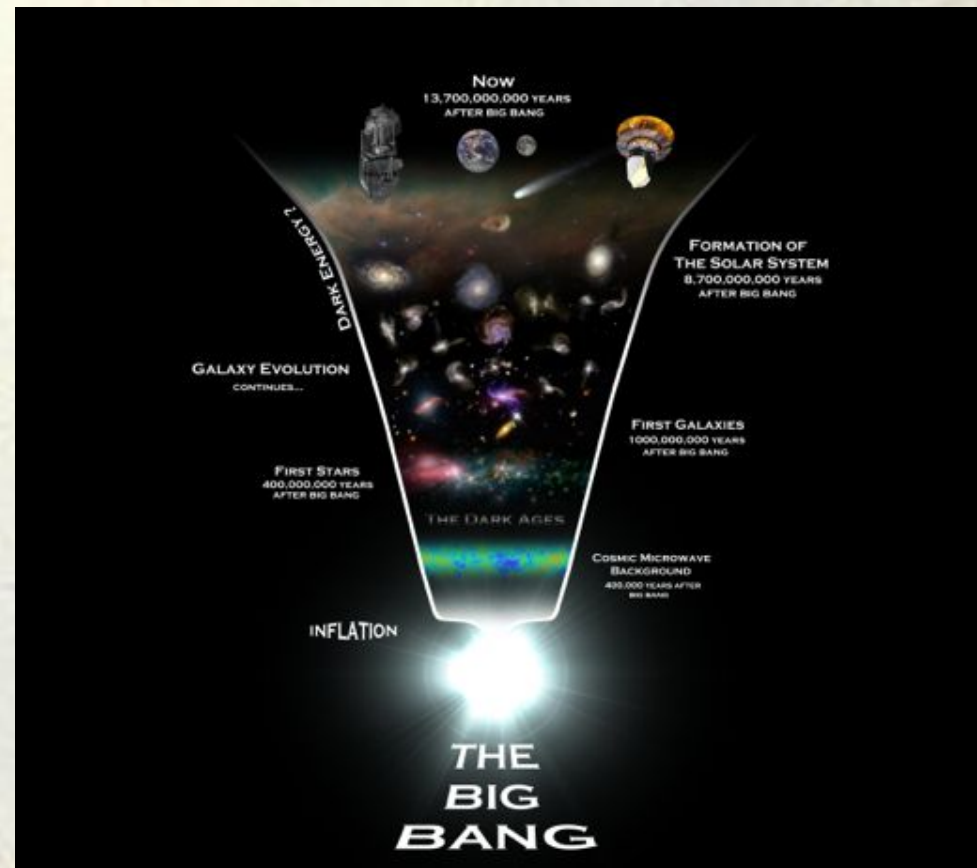
Como hemos visto, el modelo de la Gran Explosión ha sido verificado experimentalmente en un gran número de veces.

El modelo Inflacionario, aunque anclado firmemente en teorías de partículas elementales y la Cosmología, no ha sido aún verificado experimentalmente. Al momento presente, Cosmólogos y Físicos de partículas trabajan arduamente buscando una corroboración experimental del modelo inflacionario.

Lo que presentamos a continuación son extrapolaciones de los modelos actuales. Estos modelos representan al momento actual meras hipótesis o conjeturas, que aguardan tiempos futuros en los que tal vez alguna de éstas pueda ser corroborada.

El problema del origen

Muchos astrónomos ven inconcluso el modelo cosmológico actual, porque no da una explicación al origen del Universo: la singularidad inicial y la expansión inicial.



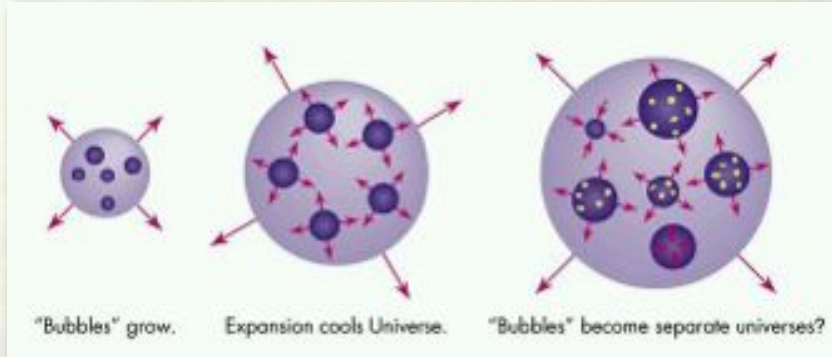
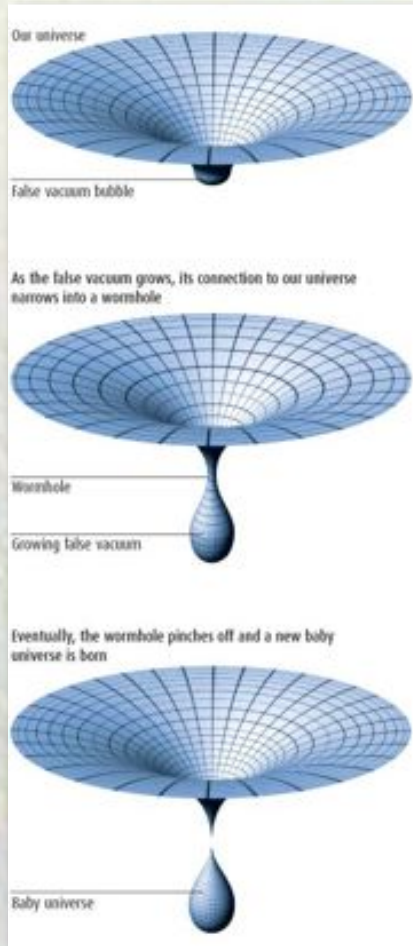
El problema del origen

Cuando el Universo pasa del estado de fuerzas unificadas al estado actual, la transición ocurre en un punto dado del Universo, a partir del cual se expande una burbuja que contiene al nuevo estado del Universo. Esta burbuja, como hemos visto, se expande enormemente.

Sin embargo, otras partes del Universo en su estado anterior, pueden a su vez empezar a expandirse también, creando cada burbuja un Universo diferente, cada uno con sus propias leyes de la Física.

Esta propiedad del Universo Inflacionario fue descubierta por el Físico Ruso, Andrew Linde.

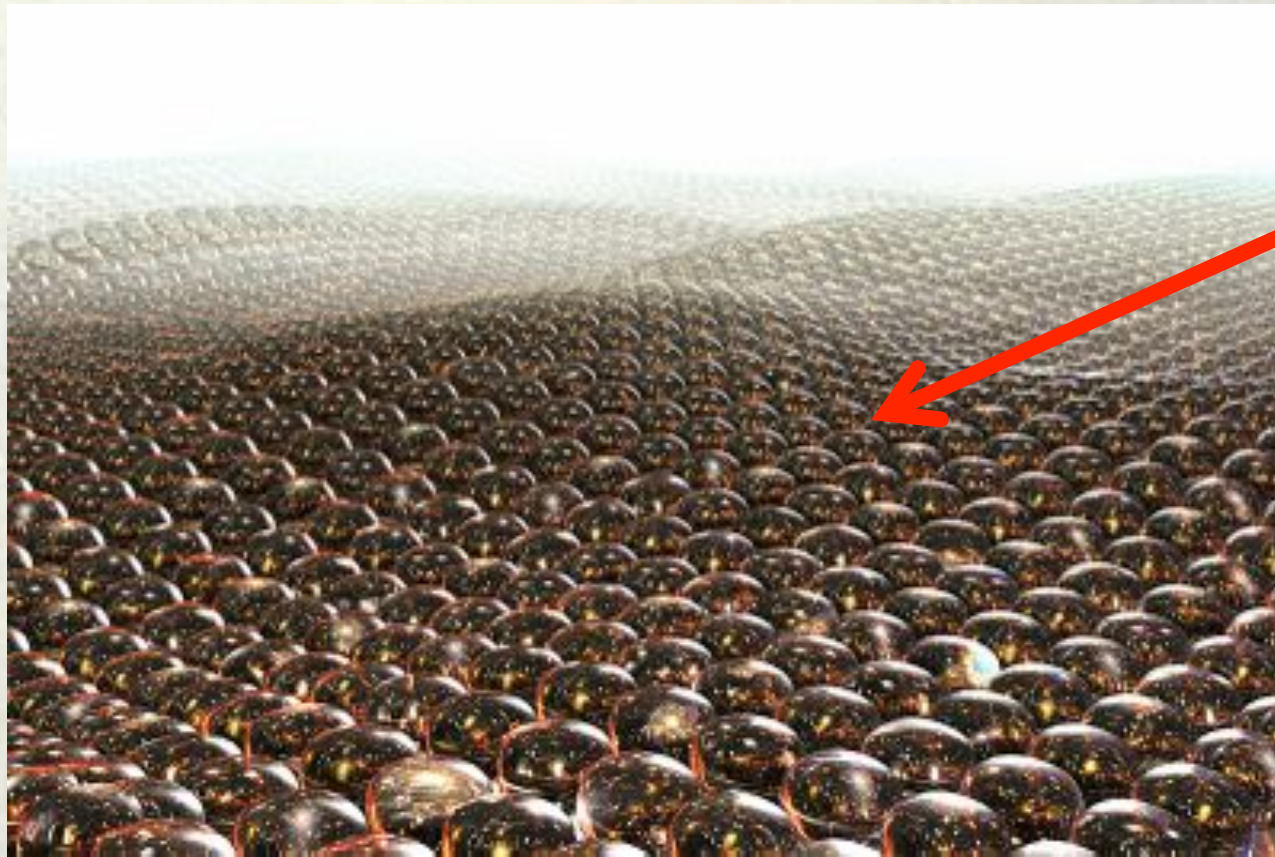
El Multiverso



Andrew Linde

El Multiverso

Entonces, nuestro Universo puede ser simplemente uno de una infinidad de Universos.



Nosotros



El Multiverso

En este Multiverso, no necesariamente hay un momento único de creación, sino que constantemente surgen nuevos Universos, los cuales pueden expandirse para siempre, o volverse a colapsar.



©JeanLucBozzelli.com

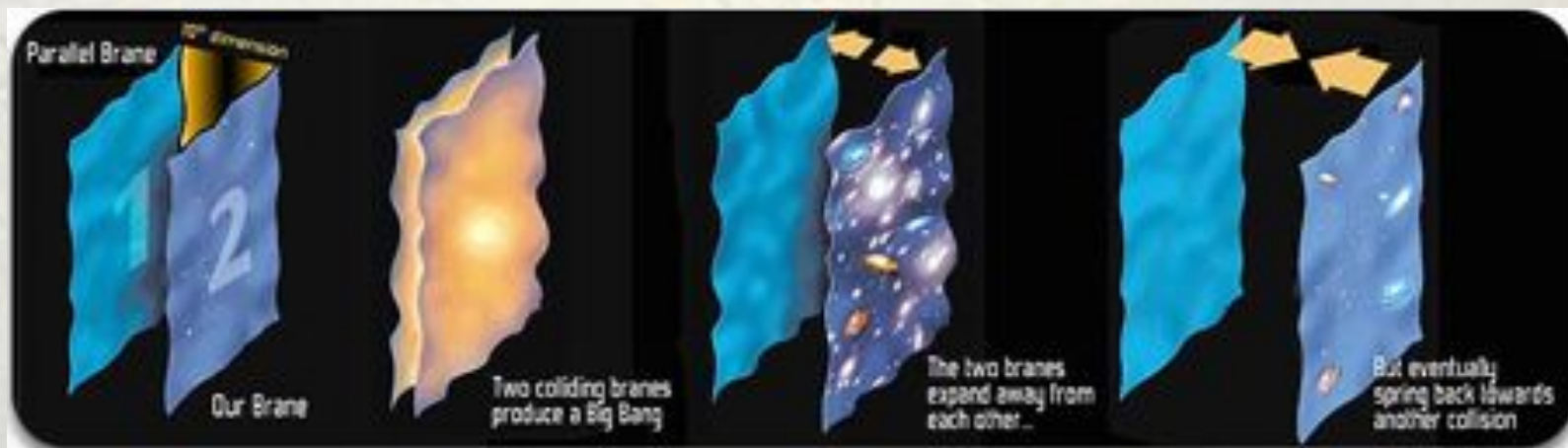
El Multiverso

De todos estos Universos, solo el nuestro tendría las condiciones necesarias para nuestra existencia. Nosotros nos preguntaríamos entonces, ¿cómo es que nuestro Universo tiene las propiedades justas para que existamos. Algunos pensarían que necesariamente hay un creador, sin darse cuenta de que en realidad hay una infinidad de Universos y nosotros solo podemos aparecer en aquel que tiene las condiciones para que podamos aparecer. A esta conjetura se le conoce como el “Principio Antrópico”.



Universos membrana

Existe otro modelo cosmológico que dice que nuestro Universo es como una membrana que flota en un Universo de mas dimensiones. El choque de nuestro Universo con otra membrana aparece para nosotros como la singularidad inicial y la energía del choque es la que da lugar a toda la materia y energía de nuestro Universo.



Universos membrana

Este modelo surge de algunas teorías que buscan unificar a la fuerza de gravedad con las demás.

Una característica peculiar de la Gravedad, es que su magnitud es muy inferior a la de todas las demás fuerzas del Universo.

De acuerdo a estas teorías de unificación, nuestro Universo flota en un Universo de mas dimensiones y la fuerza de gravedad se “escapa” de nuestro Universo a las demás dimensiones y, por esto, aparece muy débil para nosotros.



El Universo como un rompecabezas

Hay también quienes piensan que el Universo es como un gigantesco rompecabezas: solo hay una forma de armarlo y toda la información para armarlo esta contenida dentro del mismo. No información de fuera es requerida.



La búsqueda continúa ...



Desiderata

Desiderata



Desiderata

Los miembros de la Sociedad Filosófica del Pequeño Charco se encontraban enfrascados en un debate sobre la posibilidad de vida fuera del Pequeño Charco. El principal proponente de la tesis de que el ambiente local constituye el medio óptimo para la vida, un pequeño paramecio llamado Philo, hablaba. Esto lo hacía agitando tres de sus innumerables cilios, produciendo así ondas sonoras que se propagaban por el agua del Pequeño Charco.

"Es obvio que la vida es imposible fuera de los confines del Pequeño Charco," argüía. "El ambiente que habitamos está optimamente diseñado para la vida. El agua permanece aproximadamente a la misma temperatura todo el tiempo, mientras que como bien sabemos, un pequeño cambio es mortal para nosotros. El balance que existe entre acidez y alcalinidad es justo el necesario para los seres vivos, gracias a las pequeñas cantidades de fosfatos y nitratos disueltos en el agua. El lodo que hay en el fondo del Pequeño Charco contiene la cantidad justa de sulfatos para proveernos de tan esencial elemento para nuestro metabolismo. De tiempo en tiempo se introducen en el Pequeño Charco pequeñas cantidades de agua que contienen compuestos de carbono disueltos en ella y que usamos en la construcción de nuestros cuerpos"



Desiderata

" Por si esto fuera poco, las formas inferiores de vida que existen en nuestro Charco, y que forman la base de nuestra alimentación, dependen de las mismas condiciones. ¿Cómo podrían existir las benéficas bacterias productoras de metano sin el lodo que las protegé del oxígeno externo y las provee de los materiales necesarios para su metabolismo? ¿Dónde irían las algas que viven en la superficie del Pequeño Charco si este fuera mucho mas grande, de manera que su superficie estuviese mucho mas alejada del fondo lodoso?"

Existen ciertamente muchos otros ambientes en el Universo, pero es imposible imaginar alguna forma de vida que se pudiese adaptar a las diferencias que existen entre esos ambientes y el Pequeño Charco."

"Nosotros los paramecios estamos tan bien adaptados al Pequeño Charco", continuaba, "que en cualquier otro ambiente que no tuviera todas las cualidades anteriores en exactamente las proporciones adecuadas, la vida de los paramecios no seria posible. Dado que somos una parte esencial en la ecología del Pequeño Charco, si nosotros no pudiesemos sobrevivir, tampoco podria la biósfera completa del Pequeño Charco."

"La conclusión es inescapable", afirmó. "La vida sólo es posible en el Pequeño Charco, o en otros idénticos. El resto del Universo debe estar inhabitado."



Desiderata

*Otro paramecio se levantó para apoyar a Philo y extender sus argumentos:
"Dado que la conclusión es ineludible", dijo el otro, "debe ser que el Universo entero está diseñado para asegurar la existencia de nuestro hogar. Si no existiera una pequeña depresión en la roca que nos rodea, el Pequeño Charco no se habría formado, y nosotros no estaríamos aquí para apreciarlo. Si el agua se congelase a una temperatura solo ligeramente mayor, el Pequeño Charco se congelaría en su superficie y la lluvia de nutrientes que lo alimenta no llegaría a nosotros. Usando una nueva idea que he dado en llamar el Principio Paramécico, puedo demostrar que las leyes de la naturaleza deben ser exactamente como son y no de alguna otra manera. Pues de lo contrario no habría paramecios que pudieran descubrirlas. Por ejemplo, si el calor necesario para vaporizar el agua fuese ligeramente menor, entonces después de la Gran Lluvia que creó el Pequeño Charco, éste se habría evaporado horas antes del tiempo necesario para la aparición de la primera generación de paramecios."*



Desiderata

"Así pues", concluyó, "si no hubiese sido por el providencial gran calor latente de vaporización del agua, el Universo estaría completamente vacío de vida que pudiese filosofar sobre el mismo".



La audiencia aplaudió esta brillante muestra del poder del razonamiento paramérico, como igual hicieron todos los habitantes del Pequeño Charco, con excepción de unos cuantos insectos en su superficie que habían visto como algunos de sus compañeros habían sido devorados por un sapo que pasaba. Mientras tanto, fuera del Pequeño Charco, 10^{50} seres vivos proseguían con sus existencias en la gran variedad de ambientes existentes en la Tierra, ignorantes por completo de las pruebas paraméricas de la imposibilidad de sus existencias.

Traducido de "Vida mas allá de la Tierra", de Gerald Feinberg y Robert Shapiro.

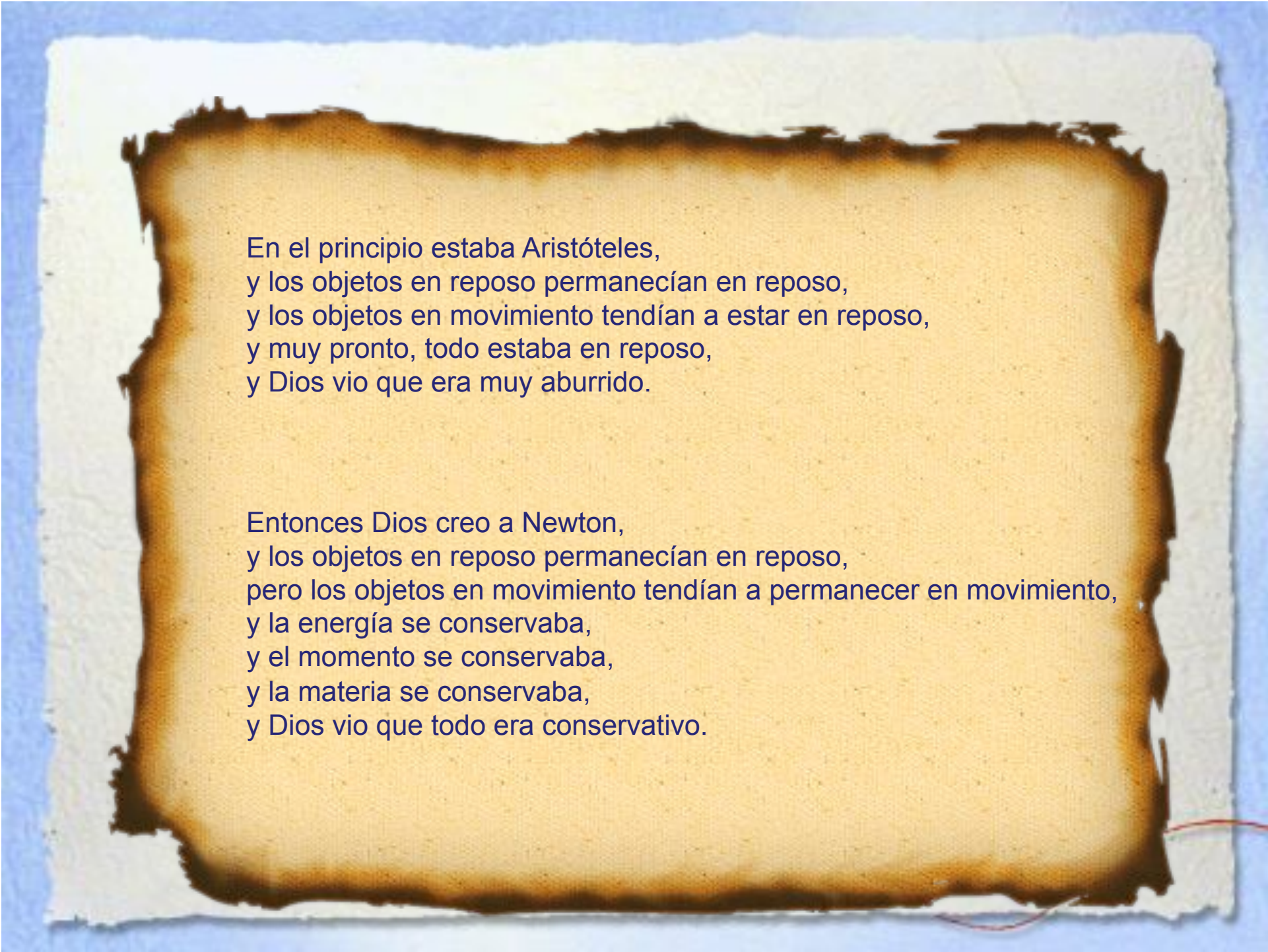
William Morrow and Co. (1980).

Desiderata



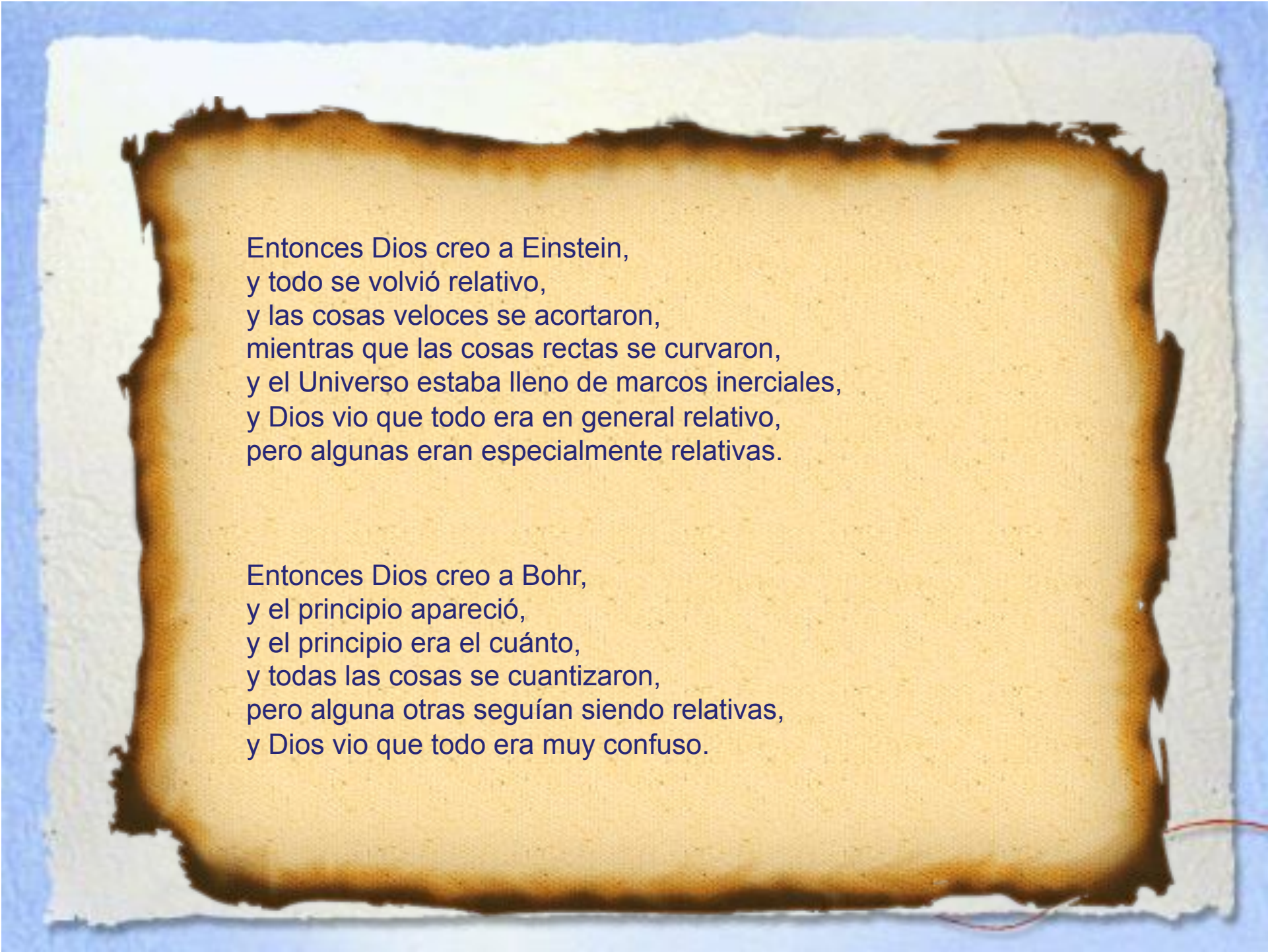
¿Seremos acaso como los paramecios de esta historia, teorizando sobre el Universo desde su pequeño, e insignificante charco?

Sin embargo ...



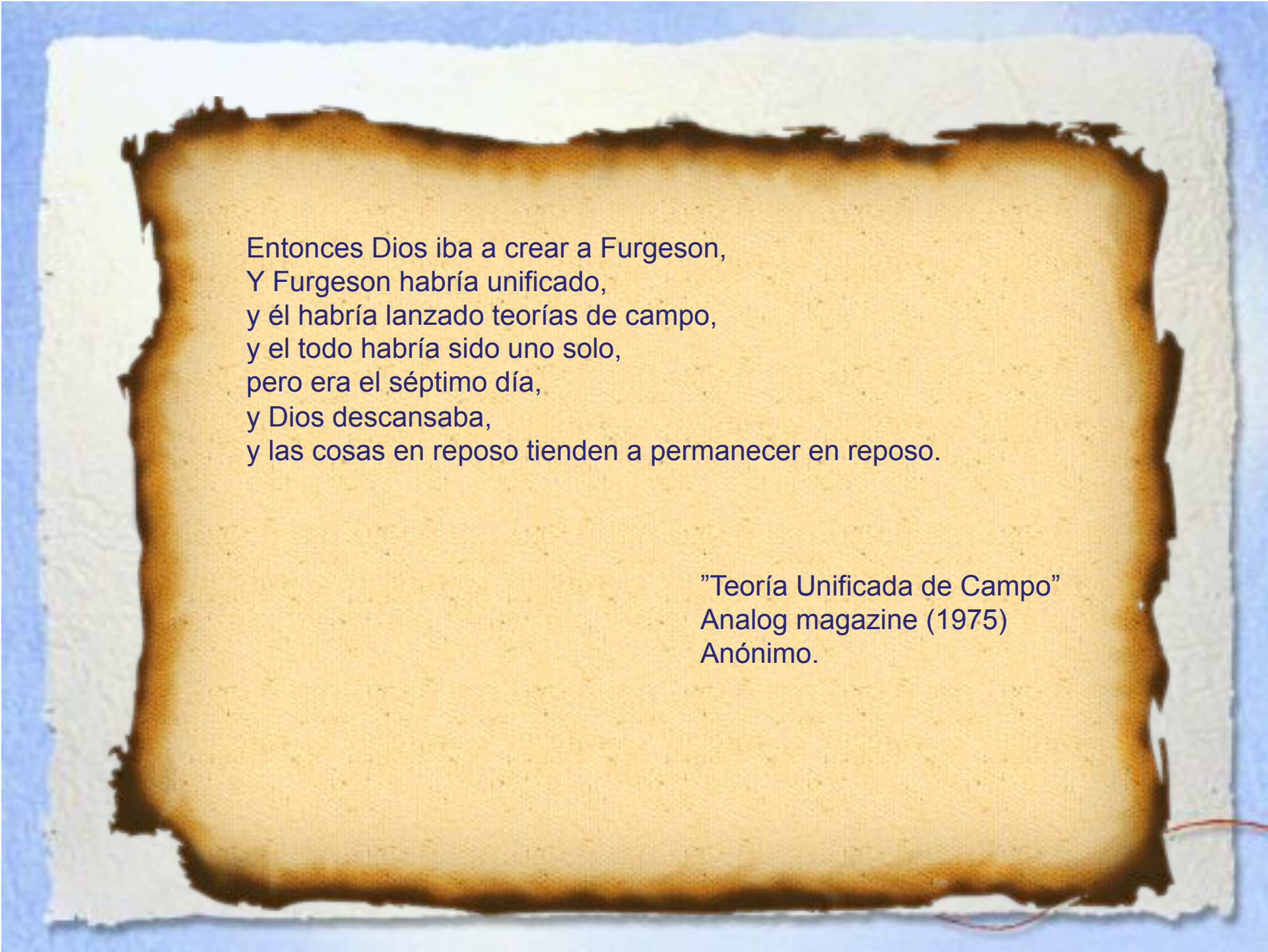
En el principio estaba Aristóteles,
y los objetos en reposo permanecían en reposo,
y los objetos en movimiento tendían a estar en reposo,
y muy pronto, todo estaba en reposo,
y Dios vio que era muy aburrido.

Entonces Dios creo a Newton,
y los objetos en reposo permanecían en reposo,
pero los objetos en movimiento tendían a permanecer en movimiento,
y la energía se conservaba,
y el momento se conservaba,
y la materia se conservaba,
y Dios vio que todo era conservativo.



Entonces Dios creo a Einstein,
y todo se volvió relativo,
y las cosas veloces se acortaron,
mientras que las cosas rectas se curvaron,
y el Universo estaba lleno de marcos inerciales,
y Dios vio que todo era en general relativo,
pero algunas eran especialmente relativas.

Entonces Dios creo a Bohr,
y el principio apareció,
y el principio era el cuánta,
y todas las cosas se cuantizaron,
pero alguna otras seguían siendo relativas,
y Dios vio que todo era muy confuso.

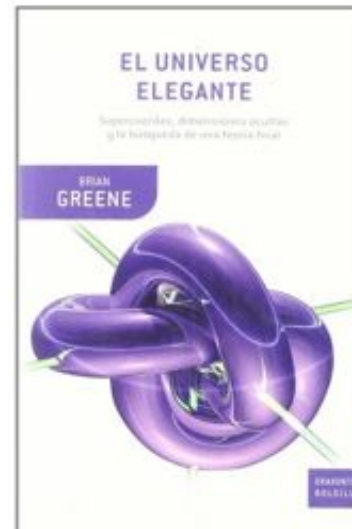


Entonces Dios iba a crear a Furgeson,
Y Furgeson habría unificado,
y él habría lanzado teorías de campo,
y el todo habría sido uno solo,
pero era el séptimo día,
y Dios descansaba,
y las cosas en reposo tienden a permanecer en reposo.

"Teoría Unificada de Campo"
Analog magazine (1975)
Anónimo.

Bibliografía

1. **El Universo Inflacionario**
Alan Guth
2. **El Universo Elegante**
Brian Greene



El Maestro

Luis A. Aguilar

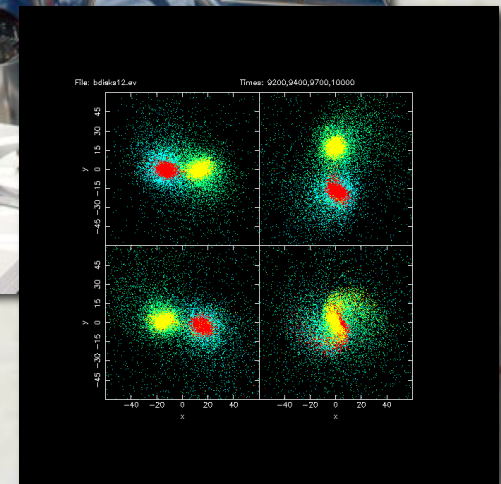
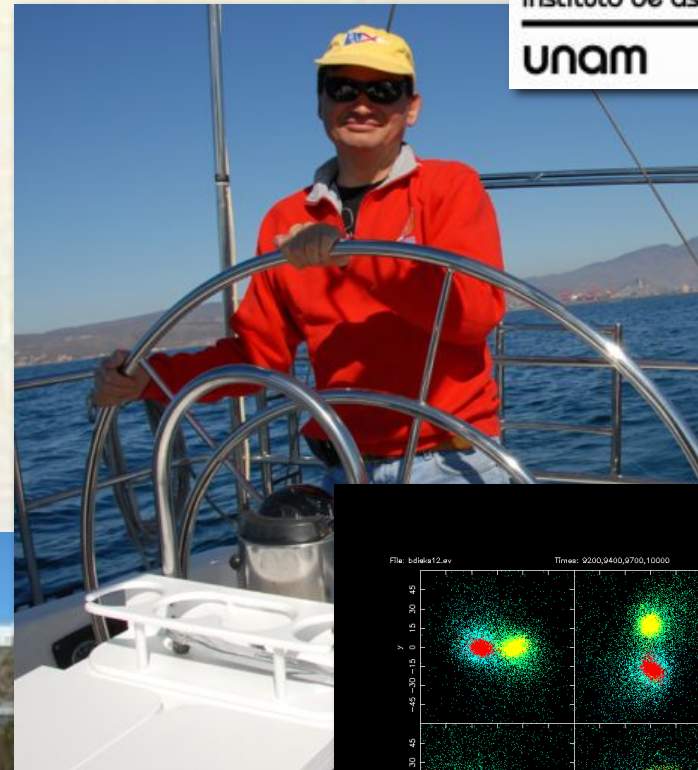
Dinámica Estelar y Galáctica

Astrofísica Teórica

Simulaciones por computadora

aguilar@astrosen.unam.mx

www.astrosen.unam.mx/~aguilar



Fin