

SIMETRÍA Y SIMILITUDES EN LA FÍSICA

Curso

Dr. Herbert Ruefer

Contenido del curso

Lección 1: Introducción con temas interdisciplinarios

Lección 2: Indicadores sin dimensión

Lección 3: Oscilaciones

Lección 4: Generación de ondas electromagnéticas

Lección 5: Antenas de ondas electromagnéticas

Lección 6: Propagación de la luz en cristales (1)

Lección 7: Propagación de la luz en cristales (2)

Lección 8: La luz y la interacción con la materia

Lección 9: El concepto de energía

Lección 10: Conversión de energía

Lección 11: Formas de energía

Lección 12: Simetría y asimetría

Lección 1: Introducción con temas interdisciplinarios

Resumen

La fascinación de la física consiste en descubrir las leyes de la naturaleza para comprender una multitud de fenómenos complicados de un modo común y, siempre que sea posible, mediante la aplicación de unos pocos principios sencillos. Aquí, las similitudes o analogías, así como las simetrías, pueden ser muy útiles para la transferencia de conocimientos en otros campos. Este enfoque puede tener éxito, pero también tiene sus limitaciones. Para mayor claridad, se utilizan ejemplos seleccionados y también se añaden breves capítulos de la física y otros campos, que se omiten por falta de tiempo en los cursos tradicionales.

Tabla de contenidos

- Folio 4: Términos abstractos
- Folio 5: Turbulencias en gases y líquidos
- Folio 6: Oscilaciones químicas
- Folio 7: Patrones de Turing
- Folio 8: Estructuras periódicas
- Folio 9: Estrellas oscilantes
- Folio 10-11: Distancia de galaxias (1-2)
- Folio 12-13: Proceso de oscilación (1-2)
- Folio 14: Energía y características
- Folio 15-18: Simetría (1-4)
- Folio 19: Asimetría

Términos abstractos

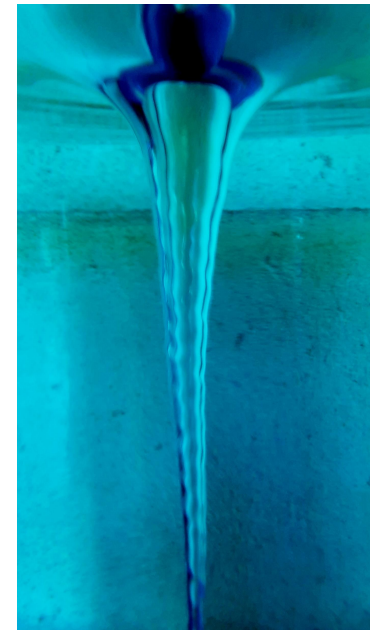
Numerosos fenómenos naturales se fundan a menudo en complicadas relaciones que sólo pueden describirse de forma abstracta.



A veces es posible descubrir aspectos comunes en las observaciones que permiten conectar lo que se sabe con hallazgos que aún no se explican adecuadamente. Esto puede facilitar enormemente el acceso a lo desconocido y también lograr afirmaciones cada vez más cuantitativas.

Turbulencias en gases y líquidos

Si existen similitudes de gran alcance, el conocimiento de un comportamiento concreto permite transferir la misma información a otros sistemas. De este modo, se pueden utilizar ciertos indicadores como sustituto hasta que se consiga una descripción teóricamente más profunda. Dichos indicadores están formados típicamente por cocientes, que en consecuencia son sin dimensión, es decir, un término adimensional. Esto puede utilizarse para el manejo práctico de los valores límite y también servir como una valiosa orientación en la dinámica de fluidos de gases y líquidos. Si todos los cocientes sin dimensión que describen un sistema físico siguen siendo los mismos entre el original y el modelo, se garantiza que los dos sistemas son similares en los procesos que tienen lugar. Los resultados del modelo pueden transferirse al original sin restricciones. La igualdad de los indicadores sin dimensión da lugar a requisitos para el modelo, que siempre incluyen la similitud geométrica entre el original y el modelo.



Oscilaciones químicas

Las dificultades surgen inicialmente en la selección de cocientes adecuados. Además, a menudo no es posible mantener constante todos los cocientes sin dimensión. En este caso, la transferibilidad de los resultados está limitada. En los siguientes capítulos se analizan algunas definiciones útiles.

A continuación, se presentan unas áreas con más detalle para ilustrar las similitudes y analogías. Una de ellas son las oscilaciones y ondas que se producen en los campos acústico, eléctrico, óptico y térmico. El fenómeno de las oscilaciones no se limita a los sistemas físicos, sino que también es bien conocido por la química y la astronomía. Estas oscilaciones en la química se denominan reacciones Beloúsov-Zhapotinsky en honor a sus descubridores. Durante la reacción, el estado de un indicador de color cambia constantemente entre la forma reducida y la oxidada de un compuesto químico, lo que provoca un cambio de color. Para que la oscilación se produzca, es necesario que exista otra reacción en la que se vuelva a formar el producto agotado.

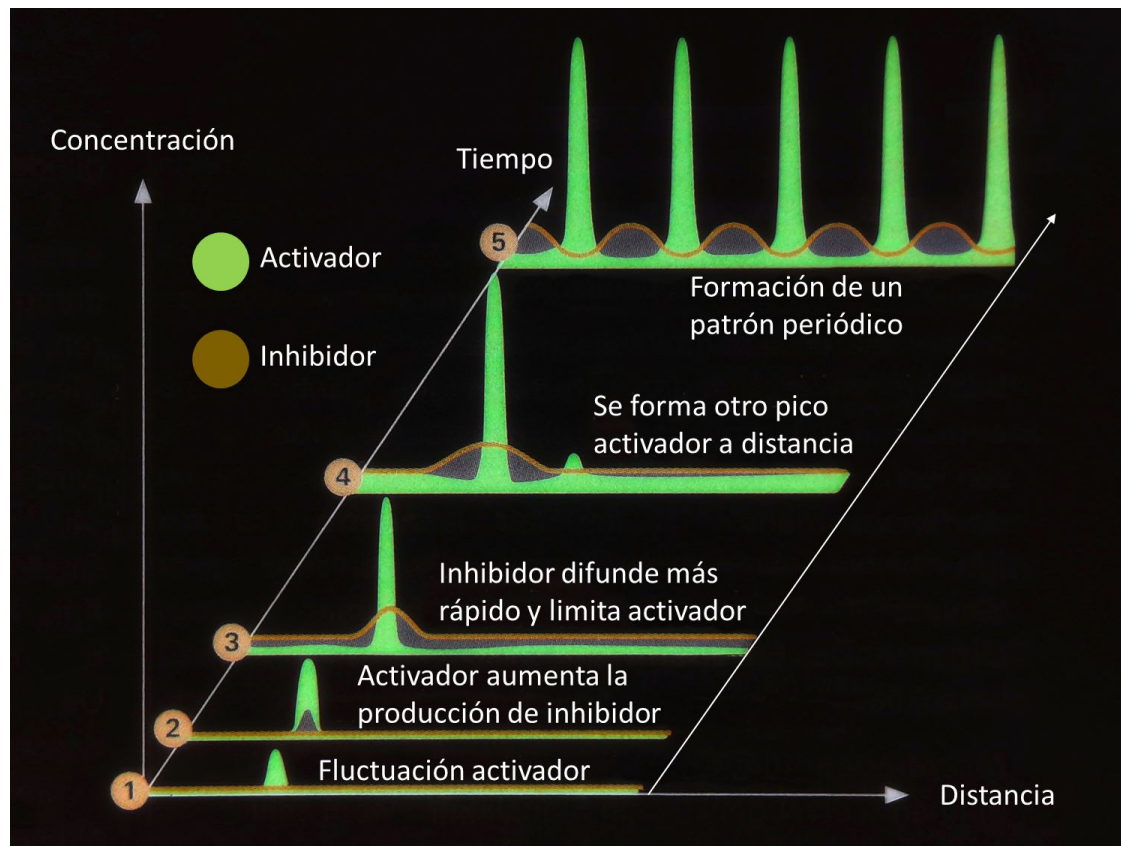


Patrones de Turing

La formación de estructuras desde un estado inicial homogéneo hasta un estado final organizado, por ejemplo, en forma de patrones periódicos, es una cuestión de autoorganización. Alan Turing consiguió modelizarla matemáticamente. En este modelo, 2 (o más) sustancias se difunden a diferentes velocidades, interactuando entre sí. La sustancia que generalmente aumenta la producción se denomina activador, la sustancia con mayor velocidad de difusión y la propiedad de limitar la producción es el llamado inhibidor. Si la concentración del activador aumenta ligeramente en un sistema inicialmente homogéneo debido a una fluctuación, la concentración del inhibidor también aumenta. Como el inhibidor se propaga más rápidamente que el activador, su concentración alrededor del inhibidor no puede crecer más. Sólo a una cierta distancia la concentración del inhibidor es tan pequeña para que se forme otro pico del activador. Este proceso puede repetirse muchas veces hasta que se obtiene un patrón estable. De este modo, una estructura de Turing se desarrolla pieza a pieza en forma de franjas o espirales periódicas.

Estructuras periódicas

Los procesos de este tipo constituyen la base de la formación de estructuras químico-biológicas.

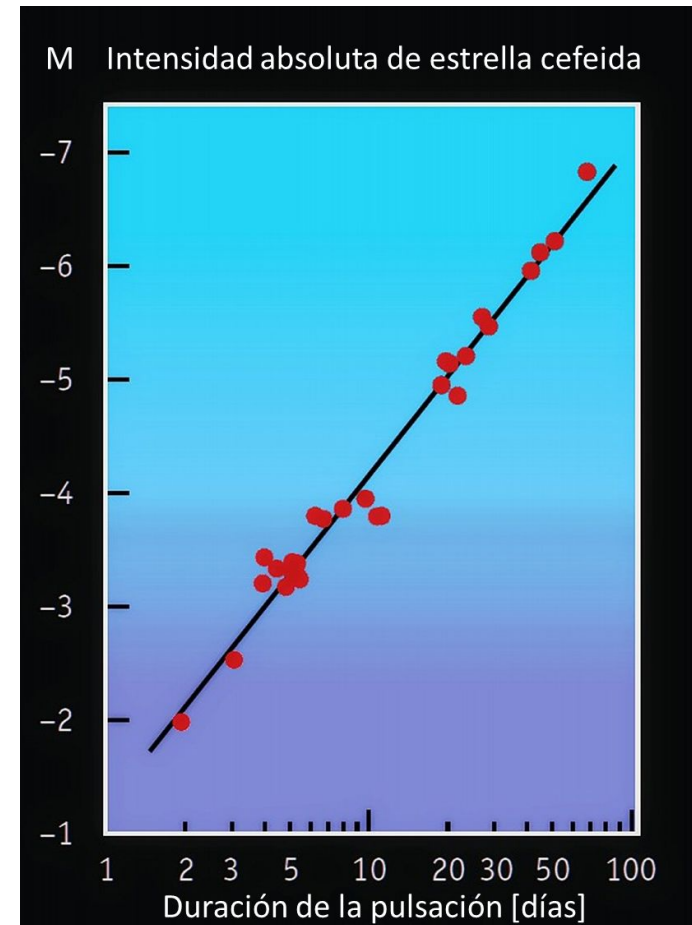


Estrellas oscilantes

En la astronomía, se observan oscilaciones periódicas de la luz de ciertas estrellas. Estas fuentes de luz se denominan estrella variable cefeida. Un análisis preciso demostró que el periodo de oscilación P está relacionado con la intensidad absoluta M de la radiación. Por comparación con la intensidad aparente, es posible calibrar una escala de distancia para hacerse una idea del tamaño del universo.

Relación matemática empírica:

$$M = -2.81 \cdot \lg\left(\frac{P}{[\text{día}]}\right) - 1.43$$



Distancia de galaxias (1)

De la relación entre la duración de la pulsación y la intensidad absoluta M se deduce que la intensidad puede utilizarse como medida de distancia D en el universo. Si la intensidad absoluta de una estrella es fácilmente obtenible, es decir, calculable, se puede deducir la distancia como una relación con la intensidad aparente observada m , ya que la intensidad disminuye con el cuadrado de la distancia. De este modo, las cefeidas sirven como indicadores de distancia. Si se identifica una Cefeida en una galaxia lejana y se mide su período de pulsación, se puede determinar inmediatamente su distancia y, por tanto, también la de la propia galaxia.

La ecuación para calcular la distancia resulta de las intensidades de las estrellas definidas en la astronomía.

$$D = 10^{(m-M+5)/5} \cdot 3.26 \text{ ly}$$

$$1 \text{ ly} = \text{año} - \text{luz} = 9.46 \cdot 10^{15} \text{ m}$$

Distancia de galaxias (2)

Una cefeida de la galaxia de Andrómeda sirve como ejemplo de cálculo de distancia. Se observa un periodo de pulsación de $P = 42 \text{ días}$. La intensidad de la cefeida a una distancia que se supone grande es muy pequeña y sólo puede determinarse con grandes telescopios. La intensidad media en el rango espectral rojo se determina con un valor de $m = 18.5$. De ello se obtiene la intensidad absoluta y, por tanto, la distancia.



$$M = -2.81 \cdot \lg(42) - 1.43 = -6$$
$$D = 10^{(18.5+6+5)/5} \cdot 3.26 \text{ ly} \approx 2\,600\,000 \text{ ly}$$

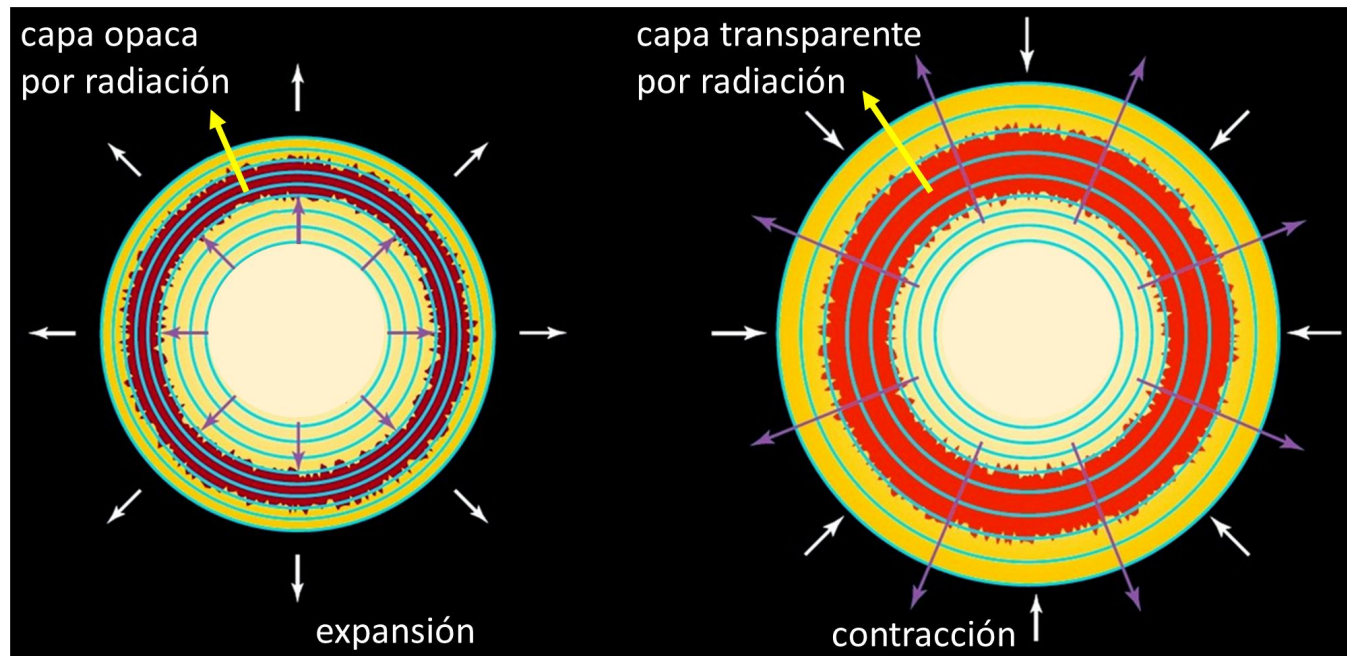
La microscopía de efecto túnel abre dimensiones hasta 10^{-10} m . Con las estrellas pulsantes, la escala de longitud se amplía hasta 10^{24} m . Esto permite alcanzar dimensiones de longitud de 34 órdenes de magnitud.

Proceso de oscilación (1)

Las cefeidas tienen una capa de helio ionizado con un espesor de 1-2 % del radio de la estrella. El He^{++} es menos transparente que el He^+ , y cuanto mayor es la temperatura, mayor es la cantidad de helio doblemente ionizado. Como resultado, la capa de helio se vuelve menos transparente, empieza por atrapar energía y se calienta al mismo tiempo, provocando la expansión de la estrella. A medida que se expande, la temperatura de la capa de helio vuelve a descender, se produce una recombinación parcial del He^{++} y su conversión en He^+ , y se vuelve más transparente, permitiendo que la energía radiante llegue a las capas exteriores. Esto hace que la presión en las capas internas de la estrella descienda, y bajo la influencia de la gravedad la estrella se contrae de nuevo y el proceso se repite. Las estrellas con diferentes masas tienen diferentes distribuciones de temperatura en su interior, y cuanto más masiva es la estrella, más cerca de la superficie se alcanza la temperatura necesaria para llevar a cabo el proceso descrito, que es de $35\,000\,K - 55\,000\,K$.

Proceso de oscilación (2)

Las oscilaciones sólo pueden continuar si su periodo coincide con el periodo de oscilación de la propia estrella. Al aumentar la masa, la densidad de la estrella disminuye y el período de oscilación y la intensidad aumentan, lo que explica la dependencia observada entre el período y la intensidad de la estrella.



Energía y características

La energía puede estar contenida en un sistema de diferentes maneras. Estas posibilidades se denominan formas de energía. Ejemplos de formas de energía son la energía cinética, la energía química, la energía eléctrica, la energía radiante, la energía potencial, la energía térmica, y otras más.

Un concepto de gran importancia es la conversión de energía. En este caso, las similitudes matemáticas no deberían ocultar graves diferencias en las formas de energía. Por ejemplo, la conversión de energía cinética está limitada por la conservación del momento y del momento angular del sistema. Un giroscopio sólo puede desacelerarse si simultáneamente transmite momento angular. La termodinámica impone otra condición para que se cumpla una transformación con la segunda ley de la termodinámica.

Las características y sus consecuencias a veces parecen complejas. Algunas relaciones se presentan con más detalle en un capítulo posterior.

Simetría (1)

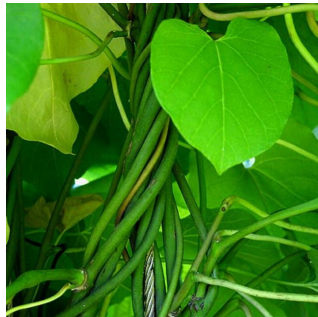
Las consideraciones de simetría también parecen ser obvias en estas conclusiones análogas. Esto resulta típicamente cierto tanto en la observación de los cristales naturales como en el diseño de objetos artísticos.



Las facetas regulares debidas a ciertas simetrías de la red cristalina parecen confirmar la preferencia por una simetría natural. Además, la simetría visible parece ir acompañada de una cierta estética.

Simetría (2)

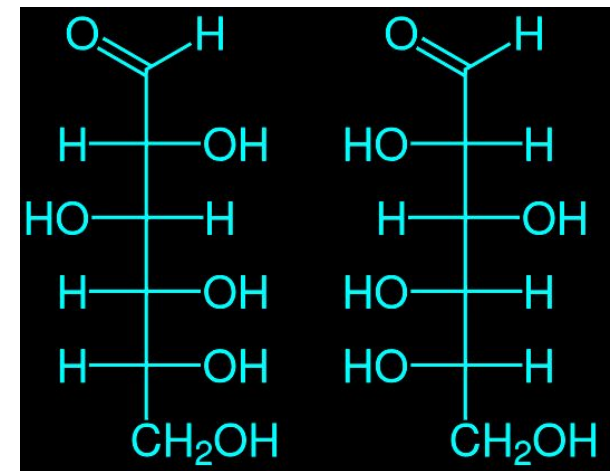
Una peculiar desviación de la simetría perfecta existe en la naturaleza en forma de imagen y de imagen de espejo que se encuentran con frecuencia. En biología, por ejemplo, aparecen plantas trepadoras con sentido de giro a la derecha o a la izquierda.



Si estas especies se presentan con la misma frecuencia en todo el mundo requiere una cuidadosa investigación. Ejemplos comunes de la vida cotidiana son la mano derecha y la izquierda, las conchas de caracol a la derecha o a la izquierda. Esta propiedad se denomina lateralidad de mano si una estructura no puede volver a convertirse en la estructura original mediante rotación. La ausencia de un eje de espejo rotacional también se denomina quiralidad.

Simetría (3)

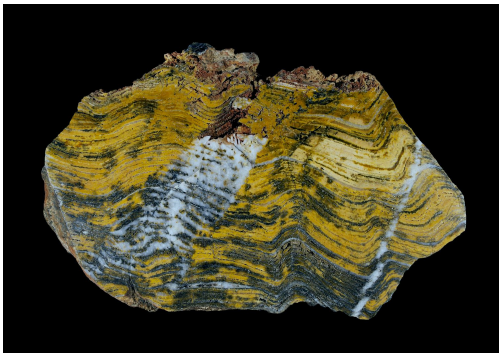
El concepto de quiralidad también es fundamental en biología, sobre todo en bioquímica. En todas las clases de sustancias naturales, un tipo está presente de forma preferente o exclusiva. Por ejemplo, en la naturaleza sólo se encuentra D-glucosa (glucosa derecha) y no L-glucosa (glucosa izquierda). Con los aminoácidos, ocurre exactamente lo contrario. En los organismos vivos se encuentran L-aminoácidos y no D-aminoácidos. Así pues, las moléculas quirales de estructura derecha o izquierda muestran efectos fisiológicos diferentes, tienen un sabor, olor, toxicidad y efecto farmacológico distinto como medicamento.



Físicamente, se atribuye una diferencia de energía extremadamente pequeña a las formas derecha o izquierda. La causa de la diferencia de energía se atribuye a la llamada fuerza nuclear débil, ya que ella misma tiene propiedades quirales.

Simetría (4)

La pequeña ventaja energética ha tenido tiempo suficiente de desarrollarse en la evolución prebiótica para que las moléculas helicoidales de sentido único pudieran surgir de forma dominante. Se cree que la Tierra se formó hace 4600 millones de años. Las rocas más antiguas con inclusiones de compuestos de carbono de origen orgánico tienen una edad de 3500 millones de años. Se trata de biopelículas de cianobacterias, que son las huellas conservadas de los llamados estromatolitos. Algunos muestran regularidades que indican una preferencia por determinadas formas quirales (Fig-Tree-Formation: formación de la higuera). Incluso hoy en día pueden observarse formaciones recientes de estromatolitos.



600 million years ago the ancestors of thrombolites and stromatolites produced the oxygen needed for life on land to exist. Today you can only find them in a few places in Western Australia and the world.



Asimetría

Sólo cuando una simetría perfecta se rompe pieza a pieza se forman estructuras. El alejamiento de la simetría perfecta puede considerarse una condición previa necesaria para los múltiples fenómenos de la naturaleza, incluida la aparición de todas las formas de vida. A pesar de las explicaciones físicas existentes, se puede suponer que ya existía una asimetría fundamental cuando originó el universo, pero que aún no podía manifestarse debido a las densidades de energía extremadamente altas.

