

Las ecuaciones de Evans de la teoría del campo unificado

Laurence G. Felker

Octubre 2005

Responsable de la traducción al castellano:

**Ing. Alex Hill
Director Comercial
ET3M
México**

Favor de enviar críticas, sugerencias y comentarios a alexhill@et3m.net

Dedico este libro a mi madre, Clara Jane Wenzel Felker.
Hay demasiado que decir como para incluirlo aquí.

Contenido

Introducción

- Que no cunda el pánico
- Relatividad general y teoría cuántica
- Teoría del campo unificado de Einstein-Cartan-Evans
- Resultados de Evans
- La naturaleza del Espaciotiempo
- Las cuatro fuerzas
- Las partículas
- Lo que veremos

Capítulo 1 Relatividad restringida

- Relatividad y teoría cuántica
- Relatividad restringida
- Distancia invariante
- Principio de correspondencia
- Vectores
- La métrica
- Resumen

Capítulo 2 Relatividad general

- Introducción
- Espaciotiempo curvo
- Curvatura
- Concepto de campo
- Vacío
- Variedades y espacios matemáticos
- La métrica y la tétrada
- Tensores y geometría diferencial
- Principios de equivalencia

Capítulo 3 Teoría cuántica

- Teoría cuántica
- La ecuación de Schrödinger
- Espacio vectorial
- Las ecuaciones de Dirac y de Klein-Gordon
- La hipótesis cuántica
- La incertidumbre de Heisenberg
- Números cuánticos

Electrodinámica cuántica y cromodinámica cuántica
Gravitación cuántica y otras teorías
La constante de Planck
Unidades geometrizadas y de Planck
Mecánica cuántica
Resumen

Capítulo 4 Geometría

Introducción
Eigenvalores
Espaciotiempo curvo de Riemann
Torsión
Derivadas
 ∂ , la diferencial parcial
Vectores
Producto escalar, o interno
Producto vectorial, o cruz
Rotor
Divergencia
Producto cuña
Tensor, o producto exterior
Vectores de cuatro dimensiones y el producto escalar
Tensores
Otros tensores
Algebra matricial
La tétrada, q^a_μ
Los vectores covariantes, contravariantes, y 1-formas
Las ecuaciones de onda

El vector gradiente y las derivada direccional, \wedge
La derivada exterior

La derivada exterior covariante $D \wedge$
La multiplicación de vectores

Capítulo 5 Ecuaciones conocidas

Introducción
Las ecuaciones de movimiento de Newton
Las ecuaciones eléctricas
Las ecuaciones de Maxwell
La ley de la gravitación de Newton
Las ecuaciones de Poisson
El operador de d'Alembert, \square
Las ecuaciones de Einstein
Las ecuaciones de onda
Las longitudes de ondas de Compton y de de Broglie

La ecuación de Schrödinger
La ecuación de Dirac
Las matemáticas y la física
Resumen

Capítulo 6 La ecuación de campo de Evans

Introducción
La ecuación de campo de Einstein
Curvatura y torsión
La torsión
Lo clásico y lo cuántico
La tétrada
Descripciones de campo
Resumen
Extensiones de la ecuación de campo de Evans

Capítulo 7 La ecuación de onda de Evans

Introducción
La ecuación de onda
Descripción básica de la ecuación de onda de Evans
Electromagnetismo
Fuerza nuclear débil
Fuerza nuclear fuerte
Ecuaciones de la física
Resumen

Capítulo 8 Implicaciones de las ecuaciones de Evans

Introducción
Geometría
El poderoso principio de equivalencia
Un ejemplo mecánico
Implicaciones de las simetrías matriciales
Electrodinámica
Física de partículas
Carga eléctrica
Las simetrías de la ecuación de onda de Evans
 $R = -kT$
Resumen

Capítulo 9 Las ecuaciones de Dirac, Klein-Gordon y Evans

Introducción
Las ecuaciones de Dirac y de Klein-Gordon
Longitud de onda de Compton y curvatura en reposo
Relación entre r y λ

Partículas
La forma del electrón
Resumen

Capítulo 10 Sustitución del principio de incertidumbre de Heisenberg

Conceptos básicos
Sustitución del principio de incertidumbre de Heisenberg
La ecuación de Klein Gordon
Resumen

Capítulo 11 El campo de espín $B^{(3)}$ de Evans

Introducción
El campo de espín $B^{(3)}$ de Evans
Descripción geométrica básica
La métrica
Resumen

Capítulo 12 La teoría electro-débil

Introducción
Derivación de las masas de los bosones
Dispersión de partículas
La masa de oscilación del neutrino
Modelo normal con Higgs frente al método de Evans
Descripción covariante general

Capítulo 13 El efecto Aharonov-Bohm (AB)

Efectos de fase
El efecto Aharonov-Bohm
La Hélice frente al Círculo
Resumen

Capítulo 14 Conceptos geométricos

Introducción
La ecuación electrogravítica
El principio de mínima curvatura
Efectos no locales
ABEM y RFR
Geometría diferencial
Invariables fundamentales de la teoría de campo de Evans
Origen del número de onda
Resumen

Capítulo 15 Un punto de vista unificado

- Introducción
- Repaso
- Curvatura y torsión
- Matemáticas = física
- La tétrada y la causalidad
- La incertidumbre de Heisenberg
- No - localismo (enredo cuántico)
- El principio de curvatura mínima
- La naturaleza del espaciotiempo
- Las partículas
- El campo electromagnético - el fotón
- El neutrino
- El electrón
- El neutrón
- La teoría de la onda unificada
- El universo oscilatorio
- La óptica física, variante general
- Carga y antipartículas
- El campo electrogravítico
- El poderoso principio de equivalencia

Glosario

Referencias

Introducción

El genio consiste en un 1% de inspiración y un 99% de transpiración.

Tomás Edison

Que no cunda el pánico

Si a esta altura de la lectura los términos técnicos resultan un poco intimidantes, no permitamos que cunda el pánico.

Aún cuando éste no es un libro fundamental, la definición de todos los términos básicos pueden hallarse en el glosario y en los primeros cinco capítulos. Estos capítulos son un repaso de mecánica cuántica y relatividad.

Este es un libro acerca de ecuaciones. Sin embargo, se ha intentado describirlas de manera tal que el lector no tenga que hacer cálculos matemáticos, como así tampoco siquiera comprender el significado completo de las ecuaciones. El sólo proporcionar explicaciones verbales y dibujos, mientras que se ignora las ecuaciones, sería mentir por omisión y ocultaría la belleza más amplia que exhiben las ecuaciones. Sin embargo, el lector sin formación en física requiere de explicaciones verbales y mediante el uso de imágenes. Se han adoptado dos o tres enfoques para tratar cualquier tema donde ello me ha sido posible. Describimos los fenómenos con palabras, imágenes y matemáticas. La mayoría de los lectores se interesan más por los *conceptos* que por la matemática profunda; el autor de estas líneas es bien consciente de ello. De manera que..... una vez más, que no cunda el pánico si en un principio los términos técnicos resultan intimidantes. Una vez que hayan leído el libro hasta el final y releen esta introducción, sin duda dirán, "Oh, pero si eso resulta obvio", acerca de una gran cantidad de material que en un principio les habrá parecido confuso. Existe un glosario con explicaciones adicionales de términos técnicos, y en las referencias aparece un listado de páginas de Internet para aquellos deseosos de obtener explicaciones más básicas o más completas.

Conserven en su mente la afirmación de Edison respecto de que el genio se constituye en un 99% de mucho esfuerzo. Cuanto más dediquen a este tema, mas obtendrán del mismo.

Relatividad general y teoría cuántica

En física está bien reconocido el hecho de que las dos teorías físicas básicas, la relatividad general y la teoría cuántica, carecen ambas de descripciones completas de la realidad. Cada una de ellas es correcta y permite efectuar predicciones precisas cuando se limita a su propio campo. Ninguna explica interacciones entre la gravitación y el electromagnetismo (campos irradiados) como así tampoco la completa constitución interna de las partículas (campos de materia). Podría afirmarse que la teoría general de la relatividad y la teoría cuántica no son conmutativas.

La relatividad general ya ha demostrado que la gravitación consiste del espaciotiempo curvo, y ha demostrado que grandes colecciones de partículas pueden transformarse en agujeros negros - masas tan grandes que provocan que el espaciotiempo se curve hacia adentro de sí mismo, de tal manera que nada pueda abandonar la región¹.

La carga eléctrica y los campos magnéticos se unificaron dentro de la disciplina del electromagnetismo en el siglo XIX. La teoría cuántica ha explicado o predicho correctamente muchas características de las interacciones entre partículas. El modelo aceptado de las fuerzas en la física consiste primariamente en la teoría cuántica e indica que el electromagnetismo y la radioactividad pueden combinarse dentro de una teoría electrodébil única y que ambos devienen la misma cosa a altas energías. Sin embargo, la gravitación y la fuerza nuclear fuerte aún se mantienen desconectadas de la teoría. La teoría cuántica utiliza la teoría de la relatividad restringida, la cual sólo es una aproximación a los efectos relativistas; no puede describir ni determinar los efectos sobre reacciones provocados por efectos gravitatorios. La mecánica cuántica utiliza niveles discretos de energía en sus formulaciones. Todos los cambios se producen en pequeños saltos, y en puntos intermedios entre éstos no hay existencia alguna. Nos deja una impresión vaga y no demostrada de que el espaciotiempo mismo puede que se encuentre cuantificado - es decir, que el vacío está compuesto por pequeños puntos de algo, sin que exista nada entre los mismos.

La gravitación no está cuantizada. La teoría general de la relatividad de Einstein es una teoría "analógica". Contempla y opera en un espaciotiempo que es divisible hasta el último punto. Dado que los puntos equivalen a cero, no pueden

¹ Comentario del Traductor: Ni siquiera la luz que podrían emitir puede abandonar dicha región; de allí el nombre de "agujero negro" con el que se les ha bautizado.

existir y por ende algún mínimo tamaño debiera de existir. El cuanto de energía no está definido dentro del punto.

Así, la comprensión de nuestra existencia se encuentre incompleta. No sabemos qué es el espaciotiempo. No conocemos la composición básica de las partículas. Aún tenemos misterios que resolver. Durante la década de 1890, y nuevamente en la década de 1990, algunos físicos creyeron que ya estábamos al borde de conocer todo en la física. No lo crean. Dentro de miles de años, aún nos estaremos formulando nuevas preguntas y buscando respuestas.

La teoría del campo unificado es la combinación de la relatividad general y la teoría cuántica. Esperamos que logre contestar algunas de las preguntas actualmente sin respuesta.

Además de preguntas sin respuesta, nos enfrentamos actualmente a varios conceptos forzados y erróneos que han logrado escurrirse dentro de la física. Algunas explicaciones están equivocadas debido a intentos por explicar resultados experimentales sin contar con una comprensión básica correcta. Entre éstos se encuentra el efecto Aharonov-Bohm (Capítulo 13) y quizás la descripción de la partícula mediante el quark. También tenemos fenómenos de “enredo”² y efectos aparentemente no locales que no se comprenden adecuadamente.

Por ejemplo, el origen de la carga eléctrica se explica a través del modelo aceptado de la física, mediante una asimetría en el espaciotiempo de Minkowski. Requiere de la presencia de un campo escalar con dos componentes complejas. Estas indicarían componentes positivo y negativo. Sin embargo, la existencia de dos tipos de carga, positiva y negativa, se utiliza para concluir que el campo escalar debe de ser complejo. Esto no es otra cosa que razonamiento en círculos (y que se encuentra al borde de un galimatías; queremos explicar las cosas y algunas veces forzamos dicha explicación).

Existen cuatro campos en la física - la gravitación, el electromagnetismo, el campo nuclear fuerte (partícula) y el campo nuclear débil (radioactividad). Sin embargo, sólo el campo gravitacional resulta covariante generalizado - es decir, que es objetivamente el mismo cualquiera que sea el sistema de coordenadas del observador (marco de referencia) debido a campos gravitacionales o diferentes velocidades. Los otros tres campos existen dentro de campos gravitacionales, pero ni la relatividad general ni la teoría cuántica pueden describir sus interacciones debido a la gravitación.

Las ecuaciones de Evans muestran en qué forma la relatividad general y la teoría cuántica, hasta entonces áreas separadas de la física, pueden ambas obtenerse a partir del postulado de Einstein de la relatividad general. En las primeras décadas del siglo XX, se desarrollaron estas dos teorías y ello resultó en una comprensión totalmente nueva de la física.

² Nota del Traductor: “entanglement” en idioma inglés.

La relatividad se refiere a la naturaleza geométrica del espaciotiempo y de la gravitación³. En el pasado, se aplicaba más a procesos en gran escala, como agujeros negros. La teoría cuántica se refiere principalmente a la naturaleza de partículas subatómicas individuales, la energía, y el vacío. Se ha aplicado con mucho éxito a nivel de escala atómica y subatómica.

La teoría de campo unificado de Einstein-Cartan-Evans

La combinación de la relatividad general y la teoría cuántica dentro de una teoría unificada fue el sueño y la meta de Einstein durante los últimos 30 años de su vida⁴. Varios otros físicos también han trabajado en el desarrollo de teorías de campo unificado. Un esfuerzo semejante ha sido la teoría de cuerdas. Aún cuando esta última teoría ha permitido el desarrollo de excelentes estudios matemáticos, ésta no ha sido capaz de trascender las matemáticas y no tiene sentido físico; no efectúa predicciones y permanece sin demostración experimental.

La teoría de campo unificado es entonces la combinación de la relatividad general y la teoría cuántica dentro de una teoría que describe a las dos utilizando en ambos casos las mismas ecuaciones fundamentales. Debe de ser posible explicar con ella los efectos mutuos de los cuatro campos, así como calcular dichos efectos.

El profesor Myron Wyn Evans ha logrado esto utilizando como fundamento la teoría general de la relatividad de Einstein, la geometría diferencial de Cartan para definir el espaciotiempo, y su propia ecuación de onda para describir tanto la relatividad como la mecánica cuántica. Evans logra derivar la electrodinámica a partir de la geometría. Se reafirma así la naturaleza geométrica del espaciotiempo y de la gravitación. Resulta interesante notar que, si bien Evans comienza con la relatividad general, la mayoría de sus trabajos la aplican a la teoría electromagnética y a procesos que, tradicionalmente, han sido temas estudiados a través de la teoría cuántica. Esto resulta completamente explicable dada la necesidad de unificar temas. La fuerza de la teoría del campo unificado es exactamente esa - la unificación de conceptos.

³ Einstein desarrolló la relatividad a partir de ideas extraídas de Lorentz, Mach y Riemann. Minkowski contribuyó a la teoría poco después de la primera publicación de Einstein sobre este tema.

⁴ Véase, por ejemplo, Unified Field Theory based on Riemannian Metrics and Distant Parallelism, Albert Einstein, *Mathematische Annalen* 102 (1930) pp 685-697. Traducción al idioma inglés por parte de A. Unzicker en www.alexander-unzicker.de/einst.html. El término "paralelismo distante" se refiere a la tétrada de Cartan.

Los resultados de Evans

El profesor Myron Wyn Evans ha escrito o compilado alrededor de 700 documentos técnicos y libros, principalmente en fisicoquímica y en últimas fechas en la unificación de la física relativista con la cuántica. Ha trabajado en varias universidades en los Estados Unidos y ahora reside en Gales, en su hogar ancestral. Los cinco volúmenes de su serie titulada *The Enigmatic Photon* (El fotón enigmático), así como su investigación en el campo $B^{(3)}$ y en la electrodinámica $O(3)$ han demostrado ser contribuciones fundamentales en la física.

Al momento de escribir estas líneas, Evans ha escrito 46 documentos⁵ en los que discute diversos aspectos de la teoría del campo unificado. Pueden resumirse brevemente:

- 1) La teoría del campo unificado es, en primer lugar, una teoría de la relatividad general. La naturaleza del espaciotiempo se redefine nuevamente en la misma forma en que Einstein la reestableció en dos ocasiones. El cambio es sencillo y las matemáticas fueron correctamente establecidas por Cartan y utilizadas en parte por Einstein.
- 2) La teoría cuántica emerge de, y es parte de, la relatividad general; juntas tienen la capacidad de explicar más acerca de la realidad básica que cualquiera de ellas en forma individual. Por ejemplo, un mínimo volumen de una partícula siempre existe y puede calcularse a partir de constantes básicas. Esto implica que los agujeros negros no son singularidades (puntos cero); ello significa que el universo tuvo un volumen mínimo y la Gran Explosión (Big Bang) probablemente haya sido una nueva expansión de un universo previo.
- 3) La teoría del campo unificado permite el estudio de la influencia mutua entre la gravitación, el electromagnetismo, la fuerza atómica fuerte y la fuerza radioactiva débil. Pueden resolverse las ecuaciones para una gran variedad de campos gravitacionales.
- 4) Todas las ecuaciones de la física pueden derivarse a partir de la teoría del campo unificado. Se requiere cierta reinterpretación de algunas de ellas en el caso de la teoría cuántica.
- 5) El principio de incertidumbre de Heisenberg se rechaza en favor de una mecánica cuántica causal. En la teoría del campo unificado existen explicaciones para nuevos experimentos que demuestran que Heisenberg y la Escuela

⁵ Comentario del Traductor: Al momento de iniciar esta traducción (abril, 2008) el Profesor Myron Evans llevaba escritos un total de 109 documentos sobre la teoría del campo unificado.

Probabilística de Copenhague estaban equivocados. En esto Einstein estaba en lo correcto al afirmar que la física cuántica estaba incompleta. Se rechaza el mecanismo de Higgs como una complicación innecesaria. Se cuestiona la existencia de los quarks si se les considera como algo más que estados de curvatura temporal o simples construcciones matemáticas auxiliares.

6) En la relatividad general se encuentran los orígenes de varios fenómenos. Entre ellos están las leyes de fase de la óptica, los orígenes del electromagnetismo y el campo de espín $B^{(3)}$ de Evans, así como la equivalencia entre el número de onda y la curvatura.

Explicaremos el significado de algunos de estos conceptos a medida que avancemos en este libro. No hay mucha gente que haya oído acerca de algunos de ellos (como por ejemplo, el efecto AB, el campo $B^{(3)}$) los cuales se encuentran en áreas poco frecuentadas de la electrodinámica.

Con frecuencia el profesor Evans otorga amplio crédito a los miembros del Alpha Institute for Advanced Study⁶ (A.I.A.S.). Los miembros de este grupo han formulado sugerencias, le han impulsado y respaldado, han actuado como caja de resonancia, así como criticado y hasta revisado la tipografía de sus escritos. En particular, el profesor emérito John B. Hart⁷, de la Xavier University, ha apoyado fuertemente el desarrollo del campo unificado y en AIAS se le considera como "el Padre de la Casa". Varios miembros de AIAS han ayudado al proporcionar en algunos casos recursos económicos y en otros casos mucho de su tiempo. Entre ellos pueden mencionarse a la Ted Annis Foundation, Craddock, Inc., Franklin Amador y David Feustel.

Sin embargo, esta teoría es exclusivamente el resultado del gran esfuerzo llevado a cabo por Myron Evans

La Naturaleza del Espaciotiempo

El punto de partida de la teoría del campo unificado se ubica en la naturaleza del espaciotiempo, de la misma manera en que resultó esencial para las otras tres principales teorías de la física.

La métrica del espaciotiempo constituye la clave en cada una de las teorías aceptadas de la física en sus respectivos períodos históricos: newtoniano clásico, las dos teorías de Einstein - relatividad restringida y relatividad general, y la de Evans (geometría diferencial de Cartan) son las cuatro aquí consideradas. La teoría cuántica utiliza el espaciotiempo de la teoría de la relatividad restringida.

⁶Nota del Traductor: Instituto Alfa de Estudios Avanzados.

⁷C. del T.: El Profesor John B. Hart falleció, a una avanzada edad, el 25 de enero de 2007.

Véanse las Figuras I-1 y I-2 para una explicación de los diferentes tipos de espaciotiempo considerados.

Una métrica constituye un mapa formal que nos conduce desde un punto a otro en un determinado espaciotiempo. El espacio de Newton era en extremo sencillo; se trataba de un espacio de tres dimensiones en el que se movía la materia y en el que uno podía medir distancias. Nuestra idea cotidiana del espaciotiempo se parece mucho a la de Newton, y a menos de que uno esté trabajando en lo muy grande o lo muy pequeño, o a muy altas velocidades, nos brinda el resultado adecuado. Se trata de un concepto tridimensional y el tiempo se ubica fuera de su definición. En la física de Newton, la velocidad del electromagnetismo y de la gravitación se suponía como instantánea.

La métrica relativista restringida de Einstein se denomina el espaciotiempo de Minkowski. Es plano y carece de curvatura gravitacional, aún cuando lleva definida una distancia en cuatro dimensiones. Constituye una combinación del espacio y el tiempo en un espaciotiempo inseparable de cuatro dimensiones. Además, este espaciotiempo puede comprimirse debido a la velocidad. La distinción entre el espaciotiempo y la materia que contiene comienza a volverse borrosa. Trataremos este punto con cierto detalle en el Capítulo 2.

La métrica relativista general de Einstein es la de la geometría de Riemann. El espaciotiempo posee cuatro dimensiones y la gravitación es una geometría con curvatura. La relatividad restringida puede derivarse a partir de la relatividad general cuando no existe curvatura. El tiempo puede tratarse como una cuarta dimensión espacial. El desarrollo de la relatividad general indicó que el espaciotiempo constituye una “variedad”⁸ analítico-matemática completamente diferenciable. Es decir, se trataba de una existencia activa y real que poseía puntos que se conectaban suavemente entre sí. La descripción física comienza a volverse matemática. No tenemos la experiencia necesaria ni los conceptos mecánicos como para describir el espaciotiempo en otra forma que no sea la matemática. Uno puede que escuche a algunos físicos afirmar que la física es matemática o que la relatividad general es geometría. Sin duda estas afirmaciones contienen cierto grado de veracidad, y deberá ser ésta la forma en la que pensamos hasta que nuestras habilidades ingenieriles nos permitan observar al vacío directamente. La teoría cuántica utiliza el modelo del espaciotiempo de la relatividad restringida. No posee la capacidad para describir procesos que suceden en diferentes campos gravitacionales, ni para calcular los efectos gravitacionales muy cerca de una partícula. Sí posee la capacidad para efectuar predicciones muy precisas de procesos eléctricos y nucleares en el espaciotiempo plano. Newton utilizó geometría euclidiana normal, plana y de tres dimensiones. La métrica consistía simplemente en la distancia entre los puntos. La relatividad restringida utilizó una geometría plana de cuatro dimensiones. El tiempo estaba incluido en la métrica.

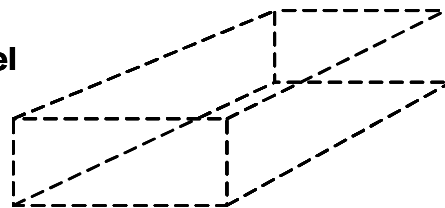
⁸ N. del T.: “manifold” en idioma inglés.

La relatividad general utilizó la geometría curva de cuatro dimensiones desarrollada por Riemann. Poseía cuatro distancias dimensionales aún cuando, específicamente, no contemplaba la posibilidad de que la métrica girase. El espaciotiempo de Evans utiliza la geometría diferencial de Cartan. Se trata de una geometría diferencial que contiene a la geometría de Riemann y algo más. Con el objeto de unificar la relatividad general y la mecánica cuántica, en particular el electromagnetismo, el espaciotiempo debe de poder curvarse y torcerse. El espaciotiempo de Riemann utilizado por Einstein posee curvatura pero establece expresamente un valor de espín igual a cero. Einstein y otros seleccionaron este espaciotiempo y colocaron ecuaciones (tensores) encima del mismo para describir el espín. Este enfoque no ha resultado, y Evans simplemente utiliza un espaciotiempo que posee curvatura, R , y espín, denominado más formalmente como torsión, T^a . Otros físicos teóricos también han intentado utilizar la geometría de Cartan, de manera que este enfoque no es novedoso. Sin embargo, Evans desarrolló una ecuación de onda que resuelve el problema.

Figura I-1 Espaciotiempo

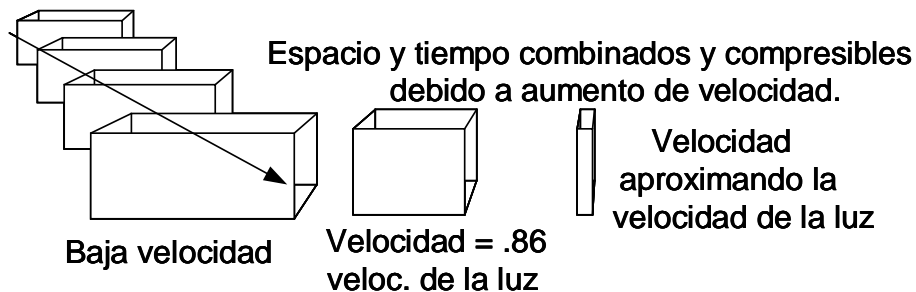
Espacio plano de Newton con el tiempo independiente.

Geometría Euclidiana

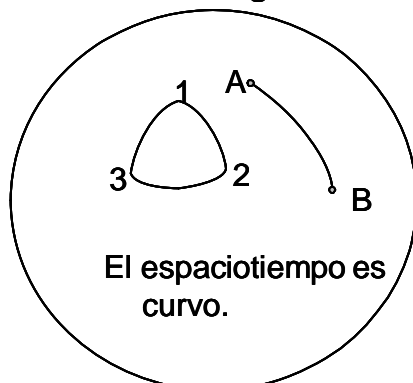


Espaciotiempo de Einstein-Minkowski para relatividad restringida.

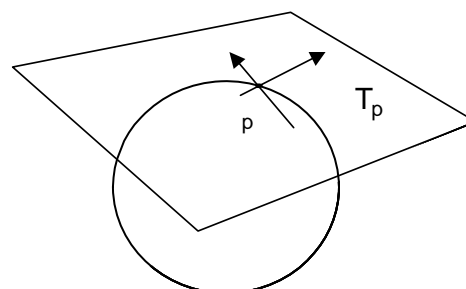
Geometría plana no-euclidiana con 4 distancias dimensionales invariantes.



Relatividad general con distancias curvas, pero sin torsión.



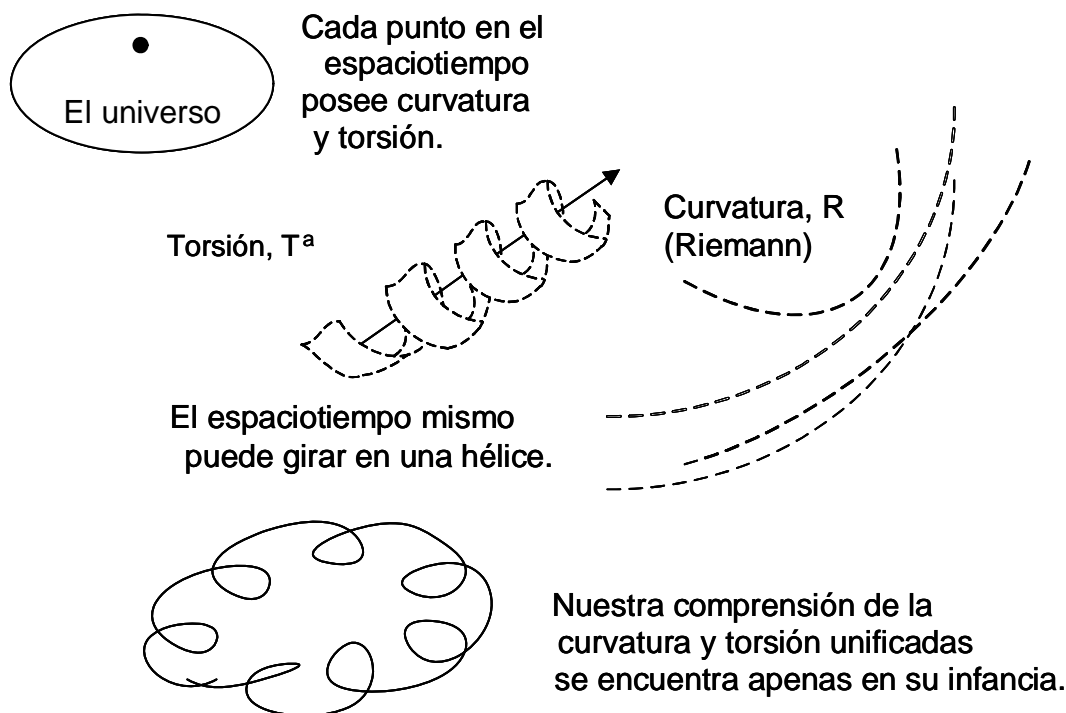
En todo punto p en el espacio, existe un espacio tangencial, T



Geometría curva de Riemann de 4 dimensiones.

Figura I-2

Espaciotiempo de Evans



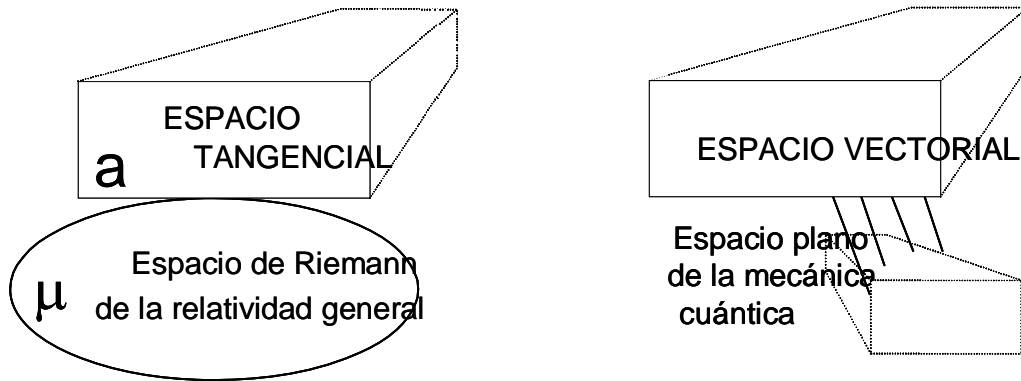
Para llevar a cabo cálculos en un espaciotiempo curvilíneo, los físicos deben utilizar espacios vectoriales. Si bien los cálculos pueden ser complicados, la idea subyacente es muy sencilla. En cada punto de un espaciotiempo hay "cajas" matemáticas que pueden utilizarse para almacenar información⁹. En relatividad general, la caja se denomina "espacio tangencial". En teoría cuántica, la caja lleva por nombre "el espacio vectorial".

Los relativistas generales consideran como real al espacio tangencial. Es decir que se trata de un espacio geométrico y que la información que posee tiene una sólida conexión con la realidad. Uno observa las cifras que definen la masa, la velocidad, etc. en un grado. Y puede trasladarlas hasta otro punto. Los físicos consideran al espacio vectorial como un ente imaginario. O sea que se trata de un puro espacio matemático abstracto para la realización de cálculos. Uno entra al mismo, efectúa sumas y divisiones, y sale del mismo con los resultados. La mayoría de los vectores y las respuestas constituyen un misterio. En la mayoría de los casos, se desconoce el motivo por el cual funciona. Experimentos realizados

⁹ Estas se parecen mucho a las cuentas de un fideicomiso.

por tanteos demuestran que los resultados simplemente son correctos. Las ideas tras el espacio tangencial y el espacio vectorial se muestran en la Figura I-3.

Figura I-3 Espacio Geométrico Tangencial y Fibrado Abstracto^(*)



El espacio tangencial también se llama espacio tangente ortonormal. Se le considera con existencia física.

El espacio vectorial también se conoce como el espacio del fibrado abstracto o espacio de Hilbert. Se le considera como un espacio matemático abstracto.

(*) N. del T.: En inglés, Abstract Fiber Bundle

¿Pero, en qué consiste el espaciotiempo? Una descripción clásica sería como una definición de una experiencia cotidiana. El lector percibe al espaciotiempo como distancias entre objetos y el paso del tiempo. Esta descripción dista mucho de ser la peor. El físico se ve obligado a considerar las cosas con más detalle, debido a que desea efectuar cálculos, explicar experimentos y predecir los resultados de nuevos experimentos.

El espaciotiempo posee cuatro dimensiones. Es curvo - no existen las líneas rectas, ya que la gravedad está presente en todos los puntos del universo. Puede retorcerse - este es el nuevo concepto que agrega el empleo de la geometría de Cartan en el espaciotiempo de Evans. Posee distancias entre un punto y otro punto dentro del mismo, donde puede suceder una amplia variedad de acciones.

"El vacío" es un concepto relacionado con el anterior. En mecánica cuántica, el vacío se refiere al espacio casi completamente vacío que rodea a las partículas. El espaciotiempo de Minkowski es una construcción matemática y Evans lo define como el vacío. También utilizamos el término vacío (sin el "el" por

delante) para describir el espacio de muy baja densidad que existe entre los planetas y los soles.

El empleo de las matemáticas para definir el espaciotiempo de nuestro universo cotidiano para fines de cálculos, nos conduce a definir al espaciotiempo mismo como dichas matemáticas. (Uno de estos podría ser una gallina o un huevo). Einstein claramente afirmó que la física es geometría. Evans afirma lo mismo. Podemos apreciar la lógica en esta idea. Al carecer de toda definición concreta del espaciotiempo, utilizamos aquella que resulte la más adecuada - la geometría. Debemos aceptar en forma tentativa que el espaciotiempo es geometría hasta que llegue el día en que alguien tenga un concepto subyacente más convincente.

La teoría del campo unificado nuevamente requiere de una revisión del concepto existente de espaciotiempo, tal como Einstein lo revisó en dos ocasiones. Einstein agregó una dimensión para su teoría de la relatividad restringida, luego agregó la curvatura para la relatividad general. Evans agrega el concepto de espín - torsión para la teoría del campo unificado. Veremos la forma en la que Evans devela cómo las fuerzas se relacionan con el espaciotiempo. Esto se inicia con la muy pequeña escala de la partícula y el vacío, y puede ir creciendo hasta alcanzar la escala de los agujeros negros y las galaxias.

Las cuatro fuerzas

La física reconoce la existencia de cuatro fuerzas descritas en la Figura I-4.

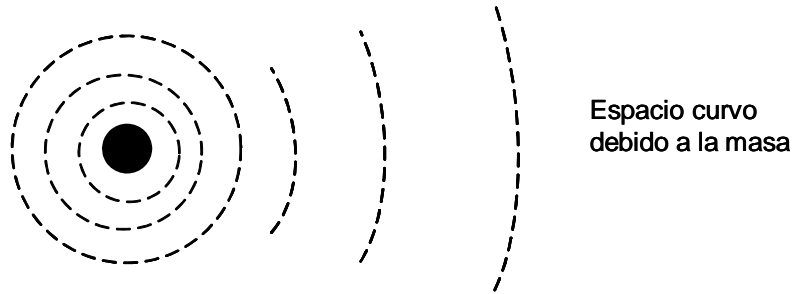
La gravitación es el espaciotiempo geométrico curvilíneo. Toda fórmula o teoría retiene su forma bajo transformaciones de coordenadas en la relatividad general. En presencia de un cambio en la aceleración o en un campo gravitatorio, los objetos ubicados dentro de un marco de referencia cambian también de una manera lineal, predecible y organizada. Dentro del marco, todos los objetos retienen sus relaciones con los demás objetos. Desde el punto de vista de un observador externo, puede que las cosas se compriman o retuerzan, pero los cambios se consideran como organizados y puede incluso ser movidos hacia otro marco de referencia de una manera organizada, y luego ser movidos de regreso a su forma original.

El principio de la relatividad general de Einstein establece que toda teoría de la física debiera de ser covariante en forma generalizada. Una teoría del campo unificado también debiera de ser covariante en forma generalizada. En la actualidad, sólo se describe a la gravitación mediante una ecuación de campo

covariante generalizada - la ecuación de campo de Einstein para la gravitación. Esta ecuación se escribe utilizando la forma de geometría tensorial.

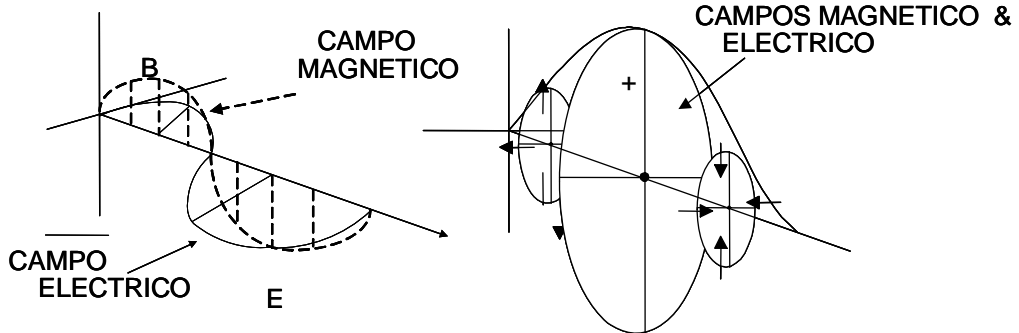
Figura I-4 Las Cuatro Fuerzas

Gravitación



Electromagnetismo

Campos Magnético (B) y Eléctrico (E)

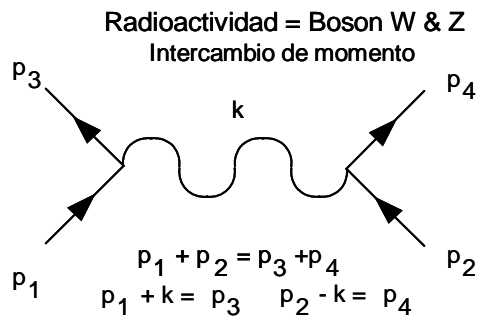


Fuerza nuclear fuerte



Descrito actualmente mediante gluones, quarks y piones.

Fuerza nuclear débil



k es el boson W ó Z
p indica el momento de las partículas.

El electromagnetismo se ha considerado históricamente como una fuerza sobre impuesta al espaciotiempo. Consiste en cierta energía que gira, pero para los demás aspectos no existe mucha claridad. La parte "electro" se refiere a carga eléctrica - electrones y protones y sus antipartículas.

La carga eléctrica polariza el espaciotiempo en regiones que consideramos como positiva y negativa. La parte "magnética" puede considerarse como un campo, o líneas de fuerza invisibles que se esparcen y afectan partículas y otros campos. La carga eléctrica y el magnetismo se combinan en el campo electromagnético. Esta fue la primera unificación, realizada en el siglo XIX, y descrita a través de las ecuaciones de Maxwell.

La fuerza nuclear débil se observa en el fenómeno de radioactividad. Sus mediadores son los bosones W y Z. La fuerza nuclear débil mantiene unido al solitario neutrón durante alrededor de 10 minutos antes de que éste cambie y se transforme en un electrón, un protón y un anti-neutrino. Se ha demostrado que la fuerza nuclear débil y el electromagnetismo son la misma cosa a elevadas energías - esto las unifica dentro de la fuerza electro-débil. La gravitación y la fuerza nuclear fuerte permanecen sin conexión con la fuerza electro-débil.

La fuerza nuclear fuerte mantiene unidos a los átomos. Se ha descrito matemáticamente mediante el empleo de tres "quarks", los cuales nunca se han observado físicamente pero han sido inferidos a partir de datos estadísticos de dispersión de partículas. Los "gluones" mantienen unidos a los quarks. Aún cuando la descripción de la relación quark-gluon se transmite habitualmente como palabra santa, la descripción conceptual permanece aun incompleta.

Las partículas

Existen partículas estables y de larga vida que se reconocen como los bloques básicos de construcción del universo. Existen también "partículas" fugaces que existen en las colisiones dentro de los aceleradores de partículas y que poseen una vida muy corta. Aún no se ha encontrado una forma más organizada de clasificar las partículas.

Las interrelaciones entre los tipos de existencia no se comprenden cabalmente. El electrón pesa $1/1826$ parte de un protón, pero posee exactamente la misma carga eléctrica¹⁰. El neutrón se descompone y transforma en un electrón, un protón y un anti-neutrino luego de 10 minutos si se le mantiene separado de un átomo. Un protón puede chocar contra un átomo y provocar que el electrón que

¹⁰ C. del T.: Aunque de signo contrario.

rodea al protón se aleje un poco del mismo - lo cual brinda al electrón una componente espacial.

Nos referiremos a los rompecabezas de las partículas durante el transcurso de este libro, y regresaremos a los mismos en el último capítulo del mismo.

Lo que veremos

Los primeros cinco capítulos contienen material introductorio de repaso sobre relatividad, mecánica cuántica y sobre ecuaciones que conciernen a ambas. Los siguientes tres capítulos introducen las ecuaciones de Evans. Los siguientes seis capítulos tratan sobre implicaciones de las ecuaciones del campo unificado. Finalmente, el último capítulo contiene un repaso, con ciertos tintes especulativos, acerca de futuras ramificaciones. Evans ha publicado extensamente sobre temas de electromagnetismo que no van a ser abordados en este libro¹¹. El tema global es demasiado amplio como para cubrirlo todo con un solo libro.

Desde un punto de vista matemático, existen dos maneras para describir la relatividad general y la geometría diferencial. La primera es en forma abstracta - por ejemplo, "el espacio es curvo". Esto se parece mucho a un lenguaje verbal, si uno aprende el significado de los términos - por ejemplo, R significa curvatura. Una vez desmitificada hasta cierto punto, la matemática se vuelve comprensible. La segunda manera es mediante coordenadas. Esta manera es muy complicada, requiriendo la ejecución de cálculos muy detallados para sólo determinar cuánta curvatura existe en el espaciotiempo. En general, no resulta necesario establecer con precisión cuál es la curvatura cerca de un agujero negro; baste con decir que la curvatura es muy grande.

Todos los errores que contenga este libro son la exclusiva responsabilidad de este autor. El profesor Evans ayudó a guiar su desarrollo y permitió libre acceso y empleo de sus escritos, pero no ha corregido el contenido del libro.

Laurence G. Felker, Reno, Nevada

¹¹ Mientras se estaba elaborando este libro, resultaba difícil mantenerse al corriente de los acontecimientos. Por ejemplo, se ha publicado la explicación del funcionamiento del generador homopolar de Faraday – el cual ha constituido un verdadero misterio durante los últimos 130 años.

Capítulo 1 Relatividad restringida

La teoría de la relatividad se encuentra íntimamente conectada con la teoría del espacio y el tiempo. Por lo tanto, comenzaré con una breve investigación acerca del origen de nuestras ideas sobre el espacio y el tiempo, aun cuando al hacerlo soy consciente de estar introduciendo un tema que genera controversia. El objetivo de toda ciencia, sea ciencia natural o psicología, es la coordinación de nuestras experiencias y el reunir las dentro de un sistema lógico.

Albert Einstein¹

Relatividad y teoría cuántica

En 1905 Einstein publicó los trabajos que eventualmente cambiaron toda la física. Uno de los trabajos utilizó la hipótesis cuántica² de Planck para explicar el efecto fotoeléctrico, y constituyó un paso importante en el desarrollo de la teoría cuántica. Este tema se discute en el Capítulo 3. El otro trabajo estableció la relatividad restringida. La relatividad restringida en sus primeras etapas consistía básicamente en una teoría de la electrodinámica - es decir el movimiento de los campos eléctrico y magnético.

El postulado básico de la relatividad restringida es que no existen marcos especiales de referencia y que ciertas cantidades físicas son invariantes. Sea cual fuere la velocidad o dirección en que viaja cualquier observador, las leyes de la física son las mismas y ciertas mediciones debieran de producir siempre el mismo resultado numérico.

Las mediciones de la velocidad de la luz (ondas electromagnéticas) en el vacío darán siempre los mismos resultados. Este concepto se alejaba de la física newtoniana.

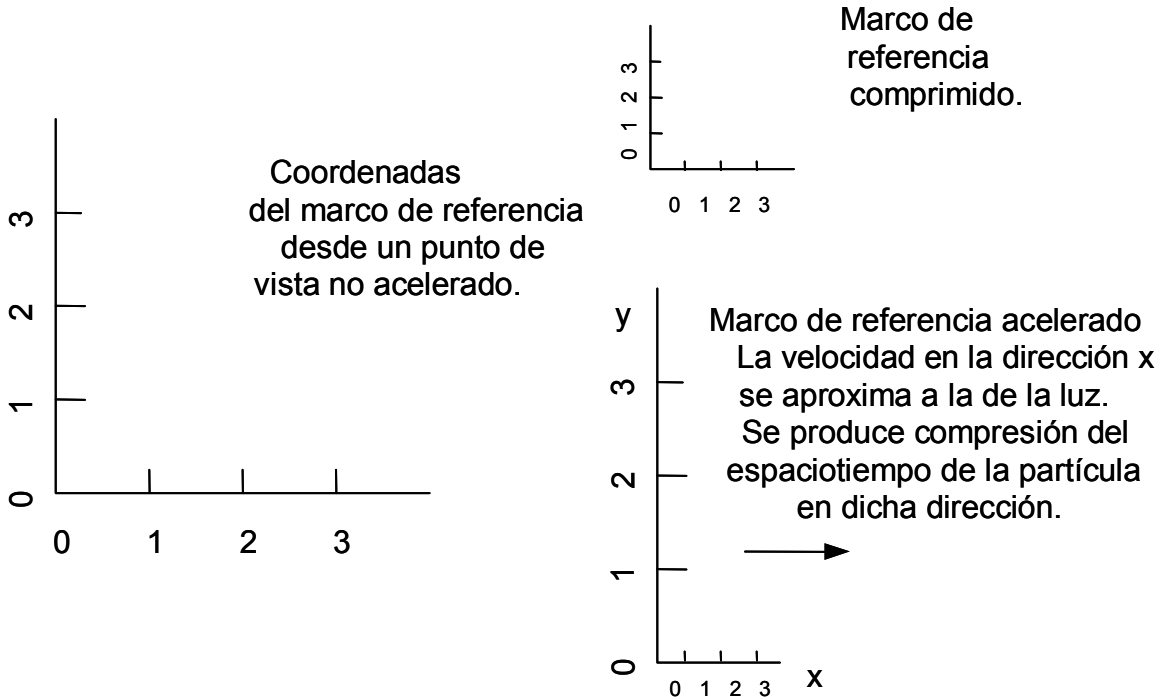
Para que las mediciones de la velocidad de la luz fuesen independientes del marco de referencia, se volvía necesario redefinir el concepto de la naturaleza del espacio y del tiempo, a fin de reconocerlos como espaciotiempo - una entidad única.

Un marco de referencia es un sistema, como lo es una partícula, una nave espacial, o un laboratorio sobre la superficie terrestre, que puede distinguirse claramente debido a su velocidad o al campo gravitacional. Una partícula individual, como un fotón, o un punto sobre una curva también pueden actuar como un marco de referencia.

¹ La mayoría de las citas de Einstein provienen de su libro, *The Meaning of Relativity*, Princeton University Press, 1921, 1945, Esta cita en particular se encuentra en la página 1.

² Hay muchos términos utilizados aquí que no tienen definición en el texto. Muchos de ellos pueden encontrarse en el Glosario. Las referencias están al final del libro, y las máquinas de búsqueda de la red de Internet suelen resultar muy útiles para ampliar la información sobre las mismas.

Figura 1 -1 Marcos de Referencia



La Figura 1-1 nos muestra en forma gráfica el concepto básico de los marcos de referencia. El espaciotiempo cambia en función de la densidad de energía - velocidad o gravitación. En la relatividad restringida, sólo se considera a la velocidad. Desde el interior de un marco de referencia, no puede observarse cambio alguno en el espaciotiempo debido a que todos los instrumentos de medición también cambian con el espaciotiempo. Desde afuera de dicho marco, o sea desde un marco de referencia con una densidad de energía mayor o menor, el espaciotiempo de otro marco puede observarse como diferente a medida que se vea sujeto a una compresión o expansión.

La idea original newtoniana es que las velocidades se suman linealmente. Si uno está caminando a una velocidad de 2 Km./hr sobre un tren y en la misma dirección del movimiento del tren, el cual se mueve a 50 Km./hr con respecto a las vías, entonces nuestra velocidad es de 52 Km./hr respecto de las vías. Si uno camina en dirección contraria a la del tren, entonces la velocidad respecto de las vías será de 48 Km./hr. Esto es verdad, o al menos cualquier diferencia resulta imperceptible para bajas velocidades, pero no es verdad para el caso de velocidades que se aproximan a la velocidad de la luz. En el caso de la luz, siempre que se la mida se tendrá el mismo resultado, sea cual fuere la velocidad del observador- experimentador. Esto se expresa como $V_1 + V_2 = V_3$ para la física newtoniana, pero V_3 nunca podrá ser en realidad mayor que c , tal como nos muestra la relatividad restringida.

Sea que uno esté viajando a alta velocidad dentro de una nave espacial o inmerso en un campo gravitacional elevado, las leyes de la física serán las mismas. Uno de los primeros fenómenos explicados por Einstein fue la constancia de la velocidad de la luz, la

cual es una constante en el vacío desde el punto de vista de cualquier marco de referencia.

Con el objeto de que la velocidad de la luz sea constante, tal como se observa en los experimentos, las longitudes de los objetos y el paso del tiempo deben de modificarse para aquellos observadores ubicados en diferentes marcos de referencia.

El espaciotiempo es una construcción matemática que nos dice que el espacio y el tiempo no son entes separados, tal como se creía antes de la aparición de la relatividad restringida. La relatividad nos habla acerca de la forma del espaciotiempo. Las ecuaciones describen con toda claridad la compresión del espaciotiempo debido a altos valores de densidad de energía, lo cual fue corroborado mediante experimentos. Los físicos y los matemáticos tienden a utilizar el término "curvatura" en lugar de "compresión". Son el mismo concepto, con sólo una diferencia de connotación. En relatividad restringida, "contracción" es un término más habitual.

Entre las implicaciones de la relatividad restringida se tiene que masa = energía. Aún cuando no son idénticas, las partículas y la energía son ínter convertibles cuando se ejerce la acción adecuada. $E = mc^2$ probablemente sea la ecuación más famosa en todo el mundo (pero no necesariamente la más importante). Quiere decir que la energía y la masa son ínter convertibles; no quiere decir que sean idénticas, porque claramente no lo son, al menos en los niveles de energía de la existencia cotidiana.

Como una primera definición aproximada, podemos afirmar que las partículas = energía comprimida u ondas estacionarias de muy alta frecuencia, y carga = electrones. En relatividad restringida, se considera que las partículas se mueven dentro del espaciotiempo³. También son ínter convertibles. Si aceptamos la Gran Explosión (Big Bang) y las leyes de conservación, así como la idea de que el universo entero fue comprimido en alguna ocasión hasta transformarlo en una región homogénea del tamaño de Planck (1.6×10^{-35} mts), entonces resulta claro que todos los diferentes aspectos de la existencia que ahora observamos como diferentes fueron entonces idénticos. El actual universo de diferentes partículas, energía, y vacío de espaciotiempo, todos estos elementos se originaron a partir de la misma neuz primordial. Se supone que inicialmente eran idénticos.

Los diferentes aspectos de la existencia poseen características que los definen. Entre ellos se encuentran el espín, la masa y la polarización. Clásicamente (no en forma cuántica) una partícula con espín se comportará como una pequeña barra imantada. La polarización del fotón es la dirección de su campo eléctrico. Véase Espín en el Glosario.

Si bien la relatividad restringida está primariamente involucrada con una velocidad constante, la relatividad general extiende los conceptos a aceleración y gravitación. Se necesita de las matemáticas para explicar los experimentos y efectuar predicciones. No podemos observar el espaciotiempo o el vacío. Sin embargo, podemos calcular órbitas y fuerzas gravitacionales, y luego observar cuando viajan la masa o los fotones, a fin de demostrar que la matemática estaba en lo correcto.

³ Luego de vernos expuestos a las ecuaciones de Evans y a sus implicaciones, el lector comenzará a comprender que los entes aparentemente individuales son todos, en realidad, diferentes versiones del espaciotiempo.

La teoría cuántica es una teoría relativista restringida. No puede manejar los efectos de la gravitación. Supone que el espaciotiempo es plano - es decir, contraído sin los efectos de la gravitación. Esto nos indica que la teoría cuántica tiene un problema - se desconocen los efectos de la gravitación sobre las fuerzas electromagnéticas, así como sobre las fuerzas nucleares débiles y las fuerzas nucleares fuertes.

Relatividad restringida

Tal como se afirmó anteriormente, el postulado básico de la relatividad restringida es que las leyes de la física son las mismas en todos los marcos de referencia. Sea cual fuere la velocidad a la que una partícula o una nave espacial se está moviendo, ciertos procesos resultan invariantes. Uno de ellos es la velocidad de la luz. La masa y la carga eléctrica son constantes - éstas forman parte de nuestra existencia básica, resultando entonces las leyes de conservación ya que éstas deben de conservarse. El espaciotiempo cambia dentro del marco de referencia a fin de mantener iguales dichas constantes. A medida que aumenta la energía dentro de un marco de referencia, la distancia en el espaciotiempo disminuye⁴.

La causa de la invariancia es la naturaleza del espaciotiempo. La relatividad restringida nos brinda los resultados de lo que sucede cuando aceleramos una partícula o una nave espacial (marco de referencia) a valores cercanos a la velocidad de la luz:

$$\gamma = 1 / \sqrt{1 - (v/c)^2} \quad (1)$$

Esta es la contracción de Lorentz-Fitzgerald, una sencilla fórmula pitagórica. Véase la Figura 1-2. Se elaboró para el campo de la electrodinámica y la relatividad restringida recurre a esta contracción para obtener explicaciones.

γ es la letra griega gama, v es la velocidad del marco de referencia, digamos una partícula, y c es la velocidad de la luz, aproximadamente 300,000 kilómetros por segundo.

Sea X la hipotenusa de un triángulo rectángulo. Supongamos que uno de los lados sea X multiplicado por v/c; y sea X' el tercer lado del triángulo.

Entonces, $X' = X$ multiplicada por $\sqrt{1 - (v/c)^2}$.

Si dividimos la ecuación (1) por $\sqrt{1 - (v/c)^2}$, obtenemos el valor de gama.

Si $v = .87 c$, entonces
 $(v/c)^2 = .76$ $1 - .76 = .24$ y $\sqrt{.24} =$ alrededor de .5

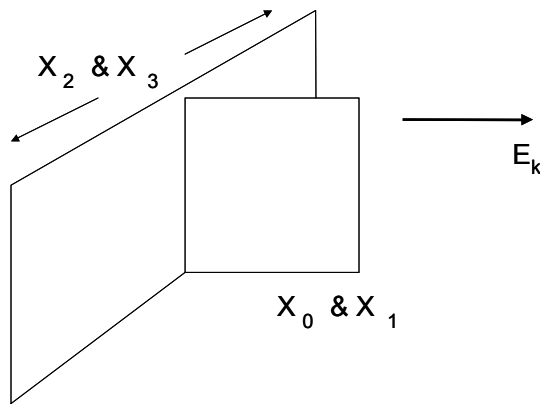
$X' = X$ multiplicada por $\sqrt{1 - (v/c)^2} = X$ multiplicada por .5

⁴ C. del T.: Cuando se observa dicha distancia desde otro marco de referencia que posea una densidad de energía diferente al primero.

La distancia, tal como se observa desde fuera del marco de referencia, se encogerá hasta .5 de su valor original. Al parámetro de tiempo se lo trata de la misma manera. t' , o sea el tiempo experimentado por la persona que viaja a $.87 c$, = t , el tiempo experimentado por la persona que permanece inmóvil, multiplicado por $\sqrt{1-(v/c)^2}$. El tiempo que transcurra para el observador acelerado es la mitad de aquel experimentado por el observador que se mueve a baja velocidad.

Si una varilla de medición tiene una longitud de un metro y la aceleramos hasta que alcance el 87% de la velocidad de la luz, se volverá más corta para quienes la observan desde nuestro marco de referencia de baja densidad de energía. Parecerá tener sólo .5 metros de longitud. Si viajásemos junto a la varilla (un "marco de referencia acompañante") y utilizásemos la varilla para medir la velocidad de la luz obtendríamos un valor que sería el mismo que obtendríamos si nos mantuviéramos inmóviles. Estaríamos acelerados y nuestros cuerpos, nave, etc., se encogería en la misma proporción que cualquier instrumento de medición.

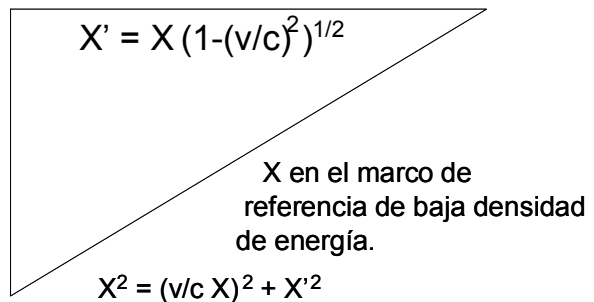
Figura 1-2 La contracción de Lorentz-Fitzgerald



A medida que una partícula, aumenta su energía cinética. deviene "más corta en la dirección del viaje- en lo espacial o en lo temporal.

X' se refiere a X_0 y X_1
 X' está en el marco de referencia de densidad de alta energía.

La matemática para hallar el $X(v/c)$ tamaño de una dimensión - una longitud o el tiempo - es simplemente la de un triángulo, como se muestra a la derecha.

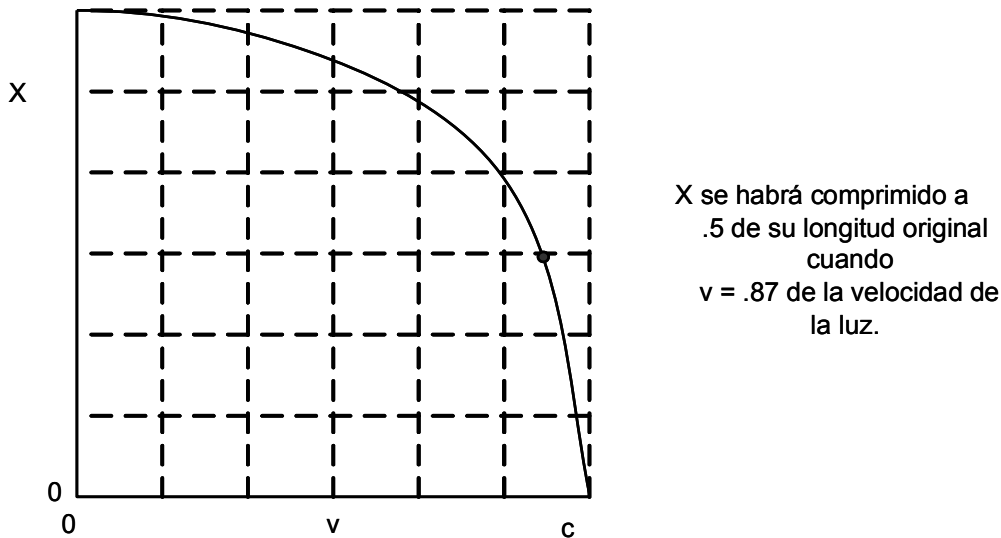


El Marco de Referencia de Densidad de Alta Energía es el marco acelerado. El Marco de referencia de baja densidad de energía es el marco el "normal", no acelerado y en reposo.

Véase la Figura 1-3 donde se ha representado una gráfica de la disminución en distancia con respecto a la velocidad, tal como se observaría desde un marco de referencia de una baja densidad de energía junto. El marco de referencia con alta densidad de energía se comprime; esto es común tanto a la relatividad restringida como a la relatividad general.

Debido a la compresión del espaciotiempo de un sistema de alta densidad de energía, la velocidad de la luz medida será igual para cualquier observador. Los efectos de un campo gravitacional son similares. La gravitación cambia la geometría del espaciotiempo local y, en consecuencia, produce efectos relativistas.

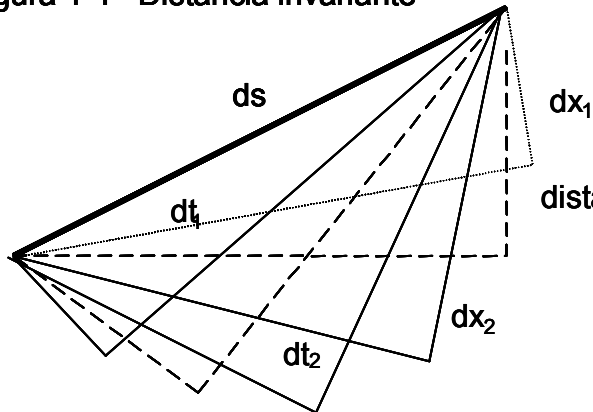
Figura 1-3 Gráfica de la Energía de Tensión en función de la Compresión debida a la velocidad.



Distancia invariante

Estos cambios no pueden observarse desde adentro del marco de referencia del observador, y por lo tanto utilizamos modelos matemáticos y experimentos para develar la naturaleza verdadera del espaciotiempo. Al utilizar el concepto de marcos de referencia de densidad de energía, evitamos caer en confusiones. El marco de alta densidad de energía (una partícula de alta velocidad o el espacio próximo a un agujero negro) experimenta una contracción tanto en espacio como en tiempo. El espaciotiempo o variedad (*manifold*) que se utiliza en relatividad restringida es el de Minkowski. En el espaciotiempo de Minkowski existe la distancia invariante. La distancia entre dos eventos está compuesta por tiempo y por espacio. Un observador muy lejano puede que observe un destello de luz mucho después de otro. Un observador que viaja a una alta velocidad puede que tenga su tiempo dilatado. Sean cuales fueren las distancias o las velocidades relativas, la distancia invariante siempre será medida como siendo la misma en cualquier marco de referencia. Debido a este descubrimiento, se definió el concepto de espaciotiempo. El tiempo y el espacio forman parte de la misma variedad (*manifold*) de cuatro dimensiones; se trata de un espacio plano (no hay campos gravitacionales), pero no es euclidiano. En la Figura 1-4 se observa un ejemplo. La hipotenusa de un triángulo es invariante cuando se trazan varios ángulos rectos. La distancia invariante en relatividad restringida sustrae tiempo de las distancias espaciales (o viceversa). El espaciotiempo de la relatividad restringida se denomina espaciotiempo de Minkowski, o también la métrica de Minkowski. Es plano, pero posee una métrica, a diferencia del espacio newtoniano.

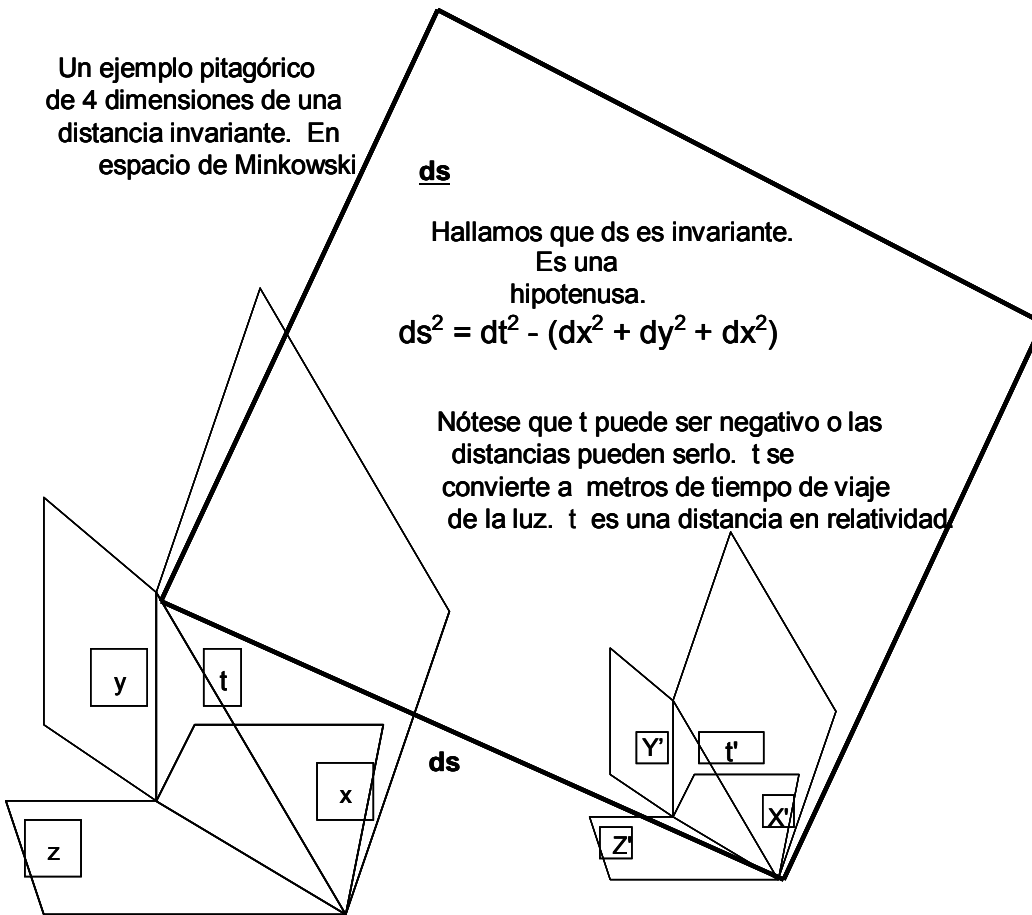
Figura 1-4 Distancia invariante



Esto es un ejemplo de una distancia invariante, ds , en una simple situación pitagórica.

La distancia ds se describe aquí como una distancia de 2 dimensiones con dy and dz suprimidas. En 4 dimensiones, la distancia entre dos eventos, A y B, es una constante. Mientras que dt y dx varían, la suma de sus cuadrados no lo hace.

Un ejemplo pitagórico de 4 dimensiones de una distancia invariante. En espacio de Minkowski



Los tensores producen el mismo efecto para objetos multidimensionales.

La variable del tiempo en la Figura 1-4 puede escribirse de dos maneras diferentes, ya sea como t , o como ct . Como ct significa que el tiempo en segundos se ha multiplicado por la velocidad de la luz, a fin de que la ecuación sea correcta. Si dos segundos de viaje a la velocidad de la luz separan dos eventos, entonces t en la fórmula es en realidad 2 segundos \times 300,000 kilómetros/segundo = 600,000 kilómetros. En relatividad, el tiempo se mide en metros de viaje de un fotón. Todos los tiempos se transforman en distancias. Cuando uno ve escrito el parámetro t , se comprende que en realidad se trata de ct .

El tiempo adecuado es el tiempo (distancia que viaja la luz durante una duración) que se mide desde adentro del marco móvil de referencia. Será diferente para el observador ubicado en la Tierra y el rayo cósmico que se aproxima a la atmósfera de la Tierra. En relatividad restringida, se aplica en la contracción de Lorentz.

En relatividad general es más frecuente utilizar τ , tau, que significa el tiempo adecuado. Este tiempo adecuado es el tiempo (distancia) tal como se mide en el marco de referencia de la partícula en movimiento o del campo gravitatorio - el marco de referencia de alta densidad de energía. El tiempo que se mide desde una posición relativamente estacionaria no es aplicable a la partícula de alta velocidad.

La transformación que utiliza la fórmula de contracción de Lorentz-Fitzgerald puede aplicarse a posición, momento, tiempo, energía, o momento angular.

La fórmula de Newton para el momento era $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$. La fórmula de Einstein de relatividad restringida es $\mathbf{p} = \gamma m\mathbf{v}$, con $\gamma = 1/\sqrt{1-v^2/c^2}$. Dado que $\gamma = 1$ cuando $v = 0$, esto da como resultado la fórmula de Newton en el "límite débil", o en el espacio euclidiano a bajas velocidades.

Principio de correspondencia

El principio de correspondencia establece que cualquier teoría general avanzada debe de reproducir los mismos resultados que la teoría anterior más específica. En particular, la relatividad de Einstein debía producir las bien conocidas y establecidas teorías de Newton a la vez que explicaba nuevos fenómenos. Aún cuando la fórmula de contracción funcionaba para altas velocidades, debía predecir los mismos resultados que Newton para bajas velocidades. Cuando Einstein desarrolló la relatividad general, la relatividad restringida debía de poder derivarse de ella.

Las ecuaciones de Evans son nuevas para la relatividad general. Para que se les considere válidas, debe de ser posible derivar de las mismas todas las ecuaciones conocidas de la física. Para justificar la afirmación de que se trata de una teoría unificada, debe de ser posible derivar claramente tanto la relatividad general como la mecánica cuántica. Para que las ecuaciones posean un valor espectacular, deben de poder explicar más, e incluso cambiar la comprensión de las teorías ya establecidas.

No es posible alcanzar una completa apreciación de la física sin las matemáticas. Muchas de las explicaciones en el campo de la física son muy difíciles de explicar en palabras, pero resultan muy sencillas en matemáticas. De hecho, en las ecuaciones de Evans, la física es geometría diferencial. Esta teoría completaría la visión de Einstein.

Vectores

Los vectores con forma de flecha son líneas que apuntan desde un evento hacia otro. Poseen un valor numérico y una dirección. En relatividad, se utilizan vectores de cuatro dimensiones. Nos dan la distancia entre dos puntos. “ Δt ” significa "delta t", que representa la diferencia en el tiempo.

Podemos utilizar como ejemplo el movimiento de un automóvil. El automóvil viaja a 100 kilómetros por hora. El valor de Δt es de una hora, Δx es igual a 100 kilómetros. Estos valores son escalares. Al dar también la dirección, digamos hacia el norte, tenemos una velocidad que es un vector. Por lo tanto, un escalar sólo suministra una magnitud, en tanto que el vector suministra tanto una magnitud como una dirección.

También vemos algunas veces “ dt ”, que significa "diferencia entre el tiempo uno y el tiempo dos", y “ ∂t ”, que significa lo mismo cuando hay dos variables involucradas. Un vector no es un escalar debido a que posee dirección y magnitud. Un escalar es simplemente un número.

En la física existen muchas formas abreviadas, pero una vez que se comprende la definición, se desmitifica una porción muy significativa de esta disciplina.

\mathbf{A} es el símbolo para un vector denominado A . Podría ser, por ejemplo, la velocidad del automóvil A , en tanto que otro vector, \mathbf{B} , representa la velocidad del automóvil B . Típicamente, un vector se representa con una **letra minúscula en negrita**. Un tensor, en cambio, puede representarse tanto mediante una letra en negrita mayúscula como minúscula, de manera que uno debe estar atento al contexto.

Para un resumen de las clases de productos de vectores y matrices, véase el Glosario bajo “Productos”.

$\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}$ es el producto punto⁵, y geoméricamente significa que multiplicamos el valor de la proyección de \mathbf{a} sobre \mathbf{b} multiplicado por \mathbf{b} para obtener un número escalar. Típicamente, se trata de una distancia invariante y, por lo general, no se incluye el punto.

El producto punto se denomina un producto interior en cuatro dimensiones.

$\mathbf{a} \times \mathbf{b}$ se denomina el producto cruz⁶. Si \mathbf{a} y \mathbf{b} son vectores que forman dos dimensiones, el producto vectorial entre ellos da como resultado un vector en una tercera dimensión⁷. Generalizando a cuatro dimensiones, si \mathbf{A} y \mathbf{B} son vectores en el volumen xyz , entonces el vector $\mathbf{C} = \mathbf{A} \times \mathbf{B}$ será perpendicular u "ortogonal" al volumen xyz . En relatividad restringida, un caso semejante es el tiempo. En relatividad general, se trata de una dimensión espacial. Mientras que la relatividad restringida representa a la cuarta

⁵ C. del T.: También denominado producto escalar.

⁶ C. del T.: También denominado producto vectorial.

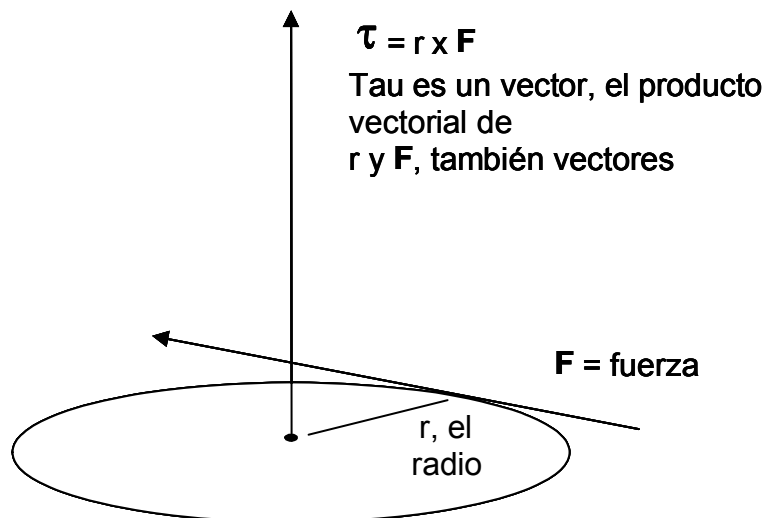
⁷ C. del T.: Y que, obviamente, resulta perpendicular al plano formado por los dos vectores multiplicados.

dimensión como el parámetro tiempo, la relatividad general la trata de igual modo o como una dimensión espacial.

El producto cuña sería como un producto cruz en cuatro dimensiones. En el Capítulo 4 se le describe con más detalle, junto con más información acerca de los vectores.

Los cálculos de una fuerza de palanca constituyen un ejemplo de productos cruz⁸. El valor resultante τ ⁹, la palanca, es la fuerza que gira. Se representa mediante un vector que apunta directamente hacia arriba. La Figura 1-5 muestra una representación del vector palanca. Apunta en la tercera dimensión aún cuando las acciones parecen estar limitadas sólo a las otras dos dimensiones. Al principio esto nos puede resultar extraño, ya que el vector del momento se encuentra ubicado en las dos dimensiones del círculo. Sin embargo, para que la palanca pueda traducirse a otras entidades en el plano de giro, su vector debe hallarse fuera de éstas.

Figura 1-5 Palanca como ejemplo de un producto cruz o vectorial



Imaginemos un trompo que gira sobre una mesa. Existe un momento angular proveniente de la masa que gira en cierta dirección. El valor del momento se calcularía utilizando el producto cruz, o vectorial.

En relatividad, los índices expresados con letras griegas indican las cuatro dimensiones - 0,1,2,3 , como a menudo se les etiqueta, comprendiéndose que se trata de los parámetros t, x, y, z. Una letra romana indica los tres índices espaciales o dimensiones. Estas son las convenciones.

⁸ Para una buena demostración en movimiento del producto cruz o vectorial en tres dimensiones, véase el curso interactivo en JAVA <http://www.phy.syr.edu/courses/java-suite/crosspro.html>

⁹ τ se utiliza para representar tanto al tiempo adecuado como a la palanca (*N. del T.: Se utiliza la misma letra porque la palanca se traduce como torque en idioma inglés*). El contexto distingue entre ambos.

Los tensores y la tétrada utilizan una matemática similar a la empleada con los vectores.

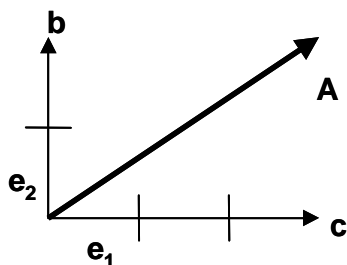
El producto vectorial de r y F es la palanca. Se encuentra en un espacio vectorial y puede moverse a otra ubicación para ver los resultados. Los tensores se comportan en una forma similar. Cuando se mueve un tensor de un marco de referencia a otro, las distancias (y otros valores) calculados permanecerán invariantes.

Discutiremos la tétrada en capítulos posteriores. La tétrada, que como veremos constituye un elemento fundamental en las ecuaciones de Evans, posee un índice en letras latinas y un índice en letras griegas. La "a" de la tétrada se refiere al espacio tangencial euclidiano y representa en forma genérica a las variables t, x, y, z en nuestra distancia invariante. El índice " \square " se refiere a las cuatro dimensiones del universo. La tétrada es una matriz formada por vectores.

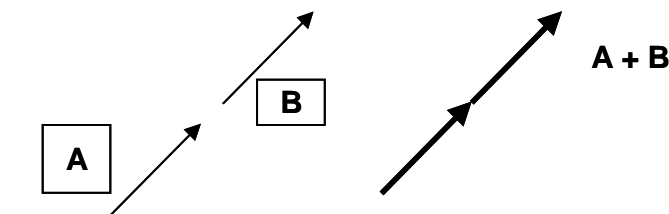
La Figura 1-6 nos muestra la idea básica de los vectores, en tanto que la Figura 1-7 nos muestra más acerca de los vectores base, e .

Figura 1-6 Vectores

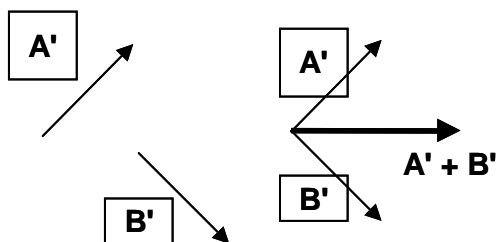
Vector y Vectores Base, e



El vector A con componentes b y c , que son vectores rectangulares que suman A . Los dos componentes tienen longitud unitaria e , para fines de medición. e_1 y e_2 no tienen necesariamente la misma longitud.



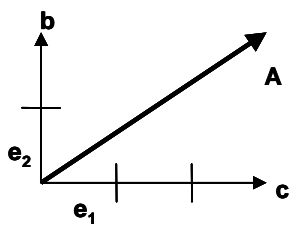
El sumar A y B da un vector del doble de longitud y que posee la misma dirección.



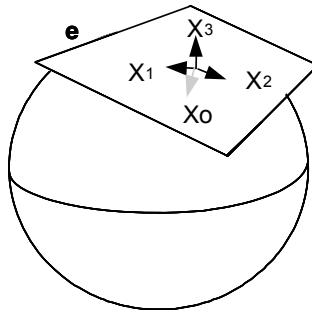
El sumar A' y B' da un vector que se muestra a la izquierda. Cambia de dirección y su longitud es una función de los vectores originales.

¹⁰ C. del T.: Aun cuando el resultado no es otro vector de cuatro dimensiones.

Figura 1-7 Vectores Base, e

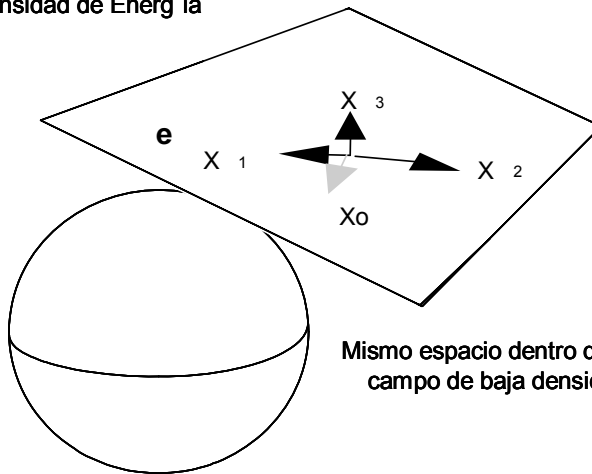
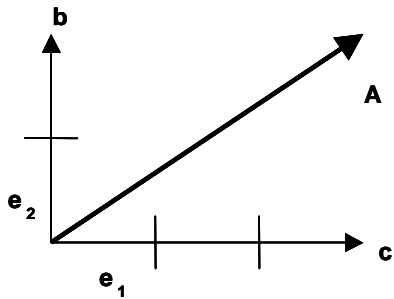


Marco de Referencia Uno - Alta Densidad de Energía ía



Espacio curvo con un punto de vector -4 y un plano tangencial.

Marco de Referencia Dos - Baja Densidad de Energía ía



Mismo espacio dentro de un campo de baja densidad de energía ía

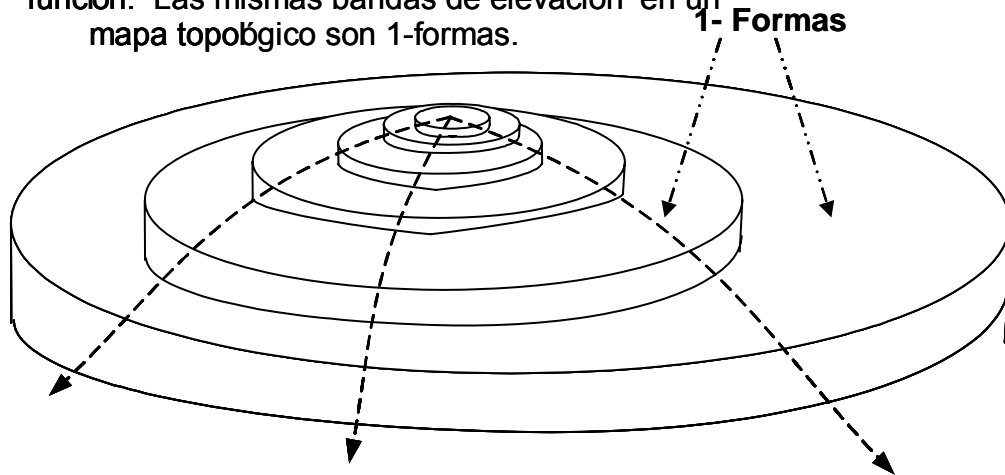
Los vectores base son medidores. Pueden ser movidos de un marco de referencia a otro. Los vectores normales no pueden ser movidos sin perder sus proporciones. Los vectores en el nuevo marco de referencia se forman a partir de las bases. Todas las proporciones serán correctas.

Existe otro tipo de vector que se utiliza extensivamente en relatividad general – la *1-forma*. Se presenta en la Figura 1-8 y en el Glosario puede encontrarse más información. Todos los vectores presentes en un patrón complicado y que tienen el mismo valor, son como una *1-forma*. Dado que son valores discretos, son también como eigenvalores, o valores cuantizados. Más sobre este tema, en los próximos capítulos.

En relatividad y en teoría cuántica, se utilizan vectores para analizar propiedades del espaciotiempo, las masas, eventos y el estado de cualquier partícula. Se utilizan e interpretan en forma diferente, pero la matemática es siempre la misma.

Figura 1-8 Ejemplo de 1-forma

Una 1-forma define los valores constantes de una función. Las mismas bandas de elevación en un mapa topográfico son 1-formas.



Un vector puede existir en sí mismo. Esto le transforma en un “objeto geométrico”. No debe de referirse necesariamente a un espacio vectorial en particular, o puede colocársele en cualquier espacio. Suponemos que hay espacios matemáticos en nuestra imaginación. Las coordenadas, en cambio, siempre se refieren a un espacio específico, como la región cercana a un agujero negro o a un átomo. Los vectores pueden definir tales coordenadas.

La métrica

La métrica en relatividad restringida es la métrica de Minkowski. Una métrica es un mapa en un espaciotiempo que define la distancia y también algunas funciones matemáticas del espaciotiempo, tales como la simple suma y multiplicación. Si uno mira alrededor en la región en la que uno se encuentra, existe una métrica. Es la realidad dentro de la cual uno se encuentra, y se trata de un simple mapeo. Establecer una distancia desde cada punto a cada otro punto.

En relatividad, la métrica se designa, típicamente, como $\eta_{\square\square} = (-1, 1, 1, 1)$ y se la multiplica por distancias. En algunas ocasiones aparece como $(+1, -1, -1, -1)$ Por ejemplo, (dt^2, dx^2, dy^2, dz^2) nos da el cuadrado de las distancias entre dos puntos en cuatro dimensiones. Entonces, $\eta_{\square\square}(dt^2, dx^2, dy^2, dz^2) = -dt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2$. La distancia invariante es ds , donde

$$ds^2 = -dt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2 \quad (2)$$

Por otro lado, si permitimos que dx represente tanto a dx como a dy y a dz combinados, entonces obtenemos que $ds^2 = dx^2 - dt^2$.

Esta distancia se denomina algunas veces el "elemento lineal". En relatividad - tanto restringida como general - la métrica del espaciotiempo se define como ya se explicó más arriba. Cuando se calculan varias cantidades, tales como distancias o momento o energía, etc., debe considerarse a la métrica. El movimiento a través del tiempo cambia las cantidades, de la misma forma en que lo hace el movimiento a través del espacio.

Veremos el empleo de la ecuación $g(\mathbf{a}, \mathbf{b})$ o simplemente g . Se trata del tensor de la métrica y es una función de dos vectores. Todo lo que significa es el producto punto (o más precisamente el producto interior) de los dos vectores combinados con la métrica del espaciotiempo. El resultado es una distancia de cuatro dimensiones, tal como se muestra en la Figura 1-9, donde se utiliza en la figura geometría curvilínea de Riemann en lugar de la geometría euclidiana. (Véase el Glosario bajo *Tensor de la Métrica*).

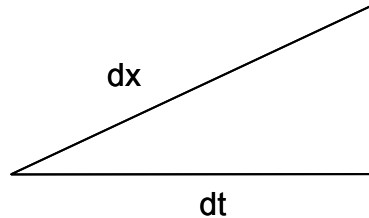
La naturaleza de la métrica se vuelve muy importante a medida que uno se traslada hacia la relatividad general y la teoría del campo unificado. La métrica de la teoría cuántica es la misma que se utiliza en relatividad restringida. Es un buen modelo matemático para realizar aproximaciones, pero no es la métrica de nuestro verdadero universo. No puede describirse con ella la gravitación. De la misma manera, la geometría

de Riemann describe curvaturas gravitacionales, pero no permite el giro de la métrica. Para ello, se requiere de la geometría de Cartan.

Figura 1-9 La métrica y la distancia invariante, ds

$$ds^2 = dx^2 - dt^2$$

dx representa dx, dy, dz ,
la distancia tridimensional.



ds , es la distancia invariante

dx es la distancia entre
dos eventos, p.ej. dos destellos
de luz.

dt es el tiempo transcurrido
entre ambos eventos.

Sea cual fuere la compresión del
espaciotiempo del marco de refe-
rencia de cualquier observador, el cálculo
de ds es el mismo. Las distancias
espaciales y temporales serán diferentes
en marcos de referencia con diferente
densidad energética; sin embargo, la
diferencia es siempre la misma.

Resumen

La relatividad restringida nos mostró que el espacio y el tiempo forman parte de la misma construcción física, el espaciotiempo. El espaciotiempo es una construcción física real, en tanto que los marcos de referencia constituyen la descripción matemática.

El espaciotiempo de una partícula o de cualquier marco de referencia se expande y se comprime con su densidad de energía, a medida que varía su velocidad. La velocidad de la luz (cualquier onda electromagnética) en el vacío es una constante, sea cual fuere el marco de referencia a partir del cual se efectuaron las mediciones. Ello se debe a la métrica de la variedad (o manifold) del espaciotiempo.

El ejemplo de la palanca nos muestra vectores en dos dimensiones que generan un vector en una tercera dimensión. A partir de este ejemplo podemos generalizar a vectores en "espacios vectoriales" utilizados para describir acciones en nuestro universo.

La naturaleza del espaciotiempo es el concepto esencial que presenta Evans. De la misma manera en que el espaciotiempo de Minkowski sustituyó al espaciotiempo newtoniano, y Riemann sustituyó a Minkowski, así el espaciotiempo de Evans (la variedad o manifold de la geometría diferencial) sustituye a Riemann. La geometría diferencial permite que la métrica se curve y que gire. Estos dos fenómenos deben formar parte del espaciotiempo mismo. No es posible que el espaciotiempo posea sólo curvaturas y que extrañamente se haya olvidado de la torsión.