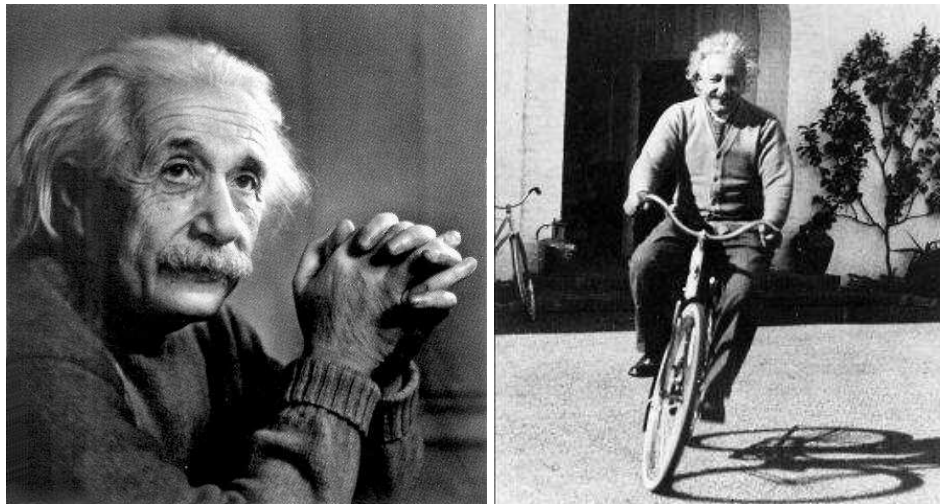


Asignatura de Libre Configuración

Departamento de Física Teórica y del Cosmos

Universidad de Granada

El Significado de la Relatividad



Apuntes de Clase

José Ignacio Illana

www.ugr.es/~jillana/relatividad.html

Versión: 21 Feb 2008

Índice

1	CONSTANCIA DE LA VELOCIDAD DE LA LUZ	3
1.1	Naturaleza y velocidad de la luz	3
1.2	El “éter luminífero”	4
1.3	Primeros experimentos	5
1.3.1	Aberración estelar	5
1.3.2	Arrastre del éter: experimento de Fizeau	5
1.3.3	Preludio del experimento de Michelson-Morley	6
1.4	El experimento de Michelson-Morley	7
1.5	La hipótesis de contracción de Lorentz-Fitzgerald	9
1.6	El experimento de Kennedy-Thorndike	10
1.7	Otros experimentos	10
1.8	El segundo postulado de Einstein	11
2	ESPACIO, TIEMPO Y ESPACIOTIEMPO: DIAGRAMAS DE MINKOWSKI	13
2.1	Introducción: los postulados de la relatividad especial	13
2.2	La definición de tiempo	14
2.2.1	¿Qué se entiende por medir el tiempo?	14
2.2.2	El sistema común de tiempos: relojes sincronizados	14
2.2.3	La relatividad de las medidas del tiempo: dilatación temporal	16
2.3	La definición de espacio	17
2.3.1	¿Qué se entiende por medir una longitud?	17
2.3.2	La relatividad de las medidas espaciales: contracción espacial	17
2.4	Resumen: las transformaciones de Lorentz	18
2.5	El espaciotiempo: diagramas de Minkowski	19

2.5.1	Observador en reposo	19
2.5.2	Observador en movimiento relativo: transformaciones de Lorentz . .	20
2.5.3	El intervalo y la calibración de los ejes	21
2.5.4	Orden temporal: pasado, presente, futuro y causalidad	22
3	RELATIVIDAD: LA MISMA HISTORIA SEGÚN DISTINTOS PROTAGONISTAS	25
3.1	La historia	25
3.2	Análisis de los hechos: diagrama espacio-tiempo	25
3.2.1	Protagonistas: dos observadores inerciales	25
3.2.2	Los puntos de vista: sistemas de referencia espacio-tiempo	26
3.2.3	Distintas varas de medir: calibrado de los ejes	26
3.2.4	Los hechos: líneas de universo	27
3.2.5	Momentos clave: sucesos relevantes	27
3.2.6	Longitudes	27
3.2.7	Secuencia temporal	28
3.2.8	Tiempo que el tren tarda en cruzar la estación	28
3.3	Versiones de lo ocurrido	28
3.3.1	La película según el jefe de estación	28
3.3.2	La película según el maquinista del tren	29
3.4	Conclusiones	30
4	LA PARADOJA DE LOS GEMELOS	31
4.1	La aventura de los gemelos	31
4.2	La paradoja	31
4.3	Solución	32
4.3.1	Diagrama espacio-tiempo	32
4.3.2	El número de felicitaciones por Año Nuevo	33
4.3.3	Interpretación de lo sucedido	34
4.3.4	Algunos comentarios	35
4.4	Comprobación experimental: relojes voladores	36
5	APARIENCIA DE LOS OBJETOS QUE SE MUEVEN A ALTAS VELOCIDADES	37
5.1	Introducción	37

5.2	Mecanismos de distorsión de las imágenes	37
5.2.1	Contracción de Lorentz	37
5.2.2	Rotación aparente	38
5.2.3	Retrasos de la luz	38
5.2.4	Ejemplos	39
5.3	San Jorge y el dragón	44
5.3.1	Historia	44
5.3.2	Sucesos importantes	44
5.3.3	Versión de San Jorge	45
5.3.4	Versión del dragón ... si pudiera contarlo	45
6	EL EFECTO DOPPLER Y EL DESPLAZAMIENTO COSMOLÓGICO AL ROJO	47
6.1	Introducción	47
6.2	Efecto Doppler acústico	47
6.2.1	Fuente y receptor en movimiento respecto al aire	48
6.2.2	Fuente en reposo	48
6.2.3	Receptor en reposo	49
6.3	Efecto Doppler para la luz	49
6.3.1	Fuente y observador se alejan	49
6.3.2	Fuente y observador se acercan	50
6.3.3	Caso general y efecto Doppler transversal	51
6.4	Desplazamiento cosmológico al rojo	51
6.4.1	El parámetro de desplazamiento al rojo	51
6.4.2	La ley de Hubble-Humanson	52
6.4.3	Noticias recientes de las supernovas lejanas	53
7	MOVIMIENTOS ACELERADOS MEDIDOS POR OBSERVADORES INERCIALES	55
7.1	Introducción	55
7.2	Transformaciones de Lorentz para velocidades y aceleraciones	55
7.3	El sistema de referencia de reposo instantáneo	56
7.4	Ejemplo práctico	56
8	ELECTROMAGNETISMO Y RELATIVIDAD ESPECIAL	59

8.1	Introducción	59
8.2	Las ecuaciones de Maxwell y el concepto de campo	60
8.2.1	Las ecuaciones	60
8.2.2	El campo eléctrico y las fuerzas eléctricas	61
8.2.3	El campo magnético y las fuerzas magnéticas	62
8.2.4	La relación entre campos eléctricos y magnéticos	63
8.3	Las ondas electromagnéticas	64
8.4	La velocidad de la luz y el segundo postulado de Einstein	66
8.5	La unificación de la electricidad y el magnetismo	67
8.5.1	Una paradoja del electromagnetismo resuelta por la relatividad	67
9	EL PRINCIPIO DE EQUIVALENCIA DE INERCIA Y GRAVEDAD	71
9.1	Introducción	71
9.2	El principio de equivalencia	71
9.2.1	La relatividad general	72
9.2.2	La igualdad de masa inercial y masa gravitatoria	73
9.2.3	La teoría de la gravitación	75
9.3	Relatividad general y el principio de Mach	77
10	GRAVEDAD Y ESPACIOTIEMPO	79
10.1	Relatividad de las medidas del tiempo	79
10.2	Relatividad de las medidas espaciales	81
10.3	Métrica, curvatura y geodésicas	81
10.3.1	El concepto de métrica	81
10.3.2	La geometría euclídea	82
10.3.3	La geometría de Minkowski	83
10.3.4	Otras geometrías no euclídeas	84
10.4	Las ecuaciones de campo de Einstein	85
10.5	Volviendo al principio de equivalencia	86
11	TESTS DE LA RELATIVIDAD GENERAL	89
11.1	Introducción	89
11.2	La deflexión de la luz y lentes gravitatorias	89

11.3 El avance del perihelio de Mercurio	91
11.4 Ondas gravitatorias	92
11.5 Agujeros negros	93
12 COSMOLOGÍA	95
12.1 Introducción	95
12.2 Modelos de universo	95
12.3 La paradoja de Olbers	100
Ejercicios propuestos	103
Bibliografía	105

