

ÓPTICA

INDICE TEMÁTICO

GENERALIDADES SOBRE ÓPTICA	1
La luz como fluido	1
La luz como onda	2
El éter	2
La luz como onda electromagnética	2
La luz como onda y partícula	3
La materia y la onda	3
Las imágenes de la física moderna	3
El principio de incertidumbre o indeterminación	5
Una explicación aproximada del principio de indeterminación	7
El ojo y la visión	10
Constitución del ojo	11
La refracción de la luz y la teoría del camino más rápido	12
La velocidad de la luz	13
Luz y electromagnetismo	14
Ondas electromagnéticas	15
Experiencia de Hertz	16
La velocidad de la luz, constante absoluta	16
El modelo electromagnético en la física	17
Modelo de Galileo y Modelo de Einstein.	18
La curvatura del espacio	20
PERTURBACIONES Y ONDAS	22
Perturbación	22
Propagación de las perturbaciones	22
Difusión	22
Propagación ondulatoria	23
ONDAS	23
Efecto Doppler-Fizeau	24
Efecto Doppler-Fizeau para la luz	25
Corrimiento al rojo	26
Perturbaciones elásticas	26
Mecanismo de propagación de las perturbaciones elásticas	28

Principio de Huygens	28
Difracción producida por una ranura	30
Reflexión de las ondas	30
Movimiento oscilatorio de un punto	31
Ecuación del movimiento oscilatorio	31
Ángulo de fase	32
Ecuación de la onda	32
Refracción de las ondas	33
INTERFERENCIA Y DIFRACCIÓN	34
Interferencia producida por dos rendijas	34
Experiencias con una cuba de ondas	35
Construcción de una cuba de ondas	35
Experiencias con la cuba de ondas	35
Experiencia de Young	36
Efecto de obstáculos a la propagación de ondas	37
DIFRACCIÓN	37
Difracción creada por orificios y ranuras	37
Color y longitud de onda	39
Temas complementarios	40
Espectros	40
Rayas de Fraunhofer	41
Redes de difracción	41
Espectros de redes y de prismas	44
Redes de reflexión	44
Dispersión y poder separador de una red	45
Interferencia creada por películas delgadas	46
Interferometría de Michelson	47
Experimento de Michelson y Morley	48
Resultado del experimento de Michelson y Morley	49
La física electromagnética después de Michelson y la Teoría de la Relatividad de Einstein	50
Polarización de las ondas	52
Polarización de la luz	52
Polarización de la luz por reflexión en dieléctricos	53
Luz polarizada natural	54

ÓPTICA GEOMÉTRICA	55
Generalidades	55
Reversibilidad de los caminos ópticos	55
REFLEXIÓN DE LA LUZ	56
Espejos planos	56
Reflexión en espejos planos que forman un ángulo diedro	57
Aplicación de propiedades de espejos planos colocados en ángulo	57
Reflexión en superficies de forma cualquiera	59
Espejos esféricos de pequeña curvatura	59
Espejos cóncavos	59
Foco principal. Distancia focal	60
Focos secundarios. Plano focal	61
Espejos de gran curvatura - Aberración de esfericidad	61
Carácter, tamaño y posición de las imágenes en espejos esféricos	62
Generalización del estudio de la formación de imágenes en espejos cóncavos esféricos de pequeña curvatura - Mapping	63
Espejos convexos	64
Espejos parabólicos	67
REFRACCIÓN DE LA LUZ	69
Descripción del fenómeno y leyes	69
Reflexión total	71
Refracción en lámina de caras paralelas	72
Refracción en láminas de caras no paralelas (cuñas y prismas)	73
Fórmulas del prisma	73
Estudio de la variación de la desviación .	
Condición de desviación mínima	73
Cálculo de la desviación en un prisma	75
LENTE	77
Tipos de lentes	77
Efecto de las lentes	78
Lentes delgadas	79
Distancia focal de una lente delgada en función de la curvatura de sus caras y del índice de refracción del material.	79

Formación de imágenes en lentes	82
Fórmulas de las lentes	83
Lentes escalonadas de Fresnel	85
INSTRUMENTOS ÓPTICOS	86
Lupa o microscopio simple	86
Proyector de imágenes	87
Microscopio compuesto	88
Anteojo astronómico, o de Kepler	90
Consideraciones sobre objetivos y oculares usados en instrumentos ópticos	92
Anteojo "holandés" o de Galileo	96
Telescopios reflectores	97
Óptica adaptativa	100
NOCIONES DE LUMINOTECNIA	101
Generalidades	101
Ley de Weber-Fechner	101
Fuentes de luz	102
Magnitudes y unidades fundamentales	102
TABLA DE ILUMINACION RECOMENDADA SEGÚN ACTIVIDADES	104
El flujo conservativo	105
Variación de la iluminación con la distancia y con el ángulo de incidencia de los rayos	105
Variación de la iluminación con la distancia	106
Medida de la Iluminación	107
Rendimiento de las luminarias	109
RADIACIÓN TÉRMICA	112
La densidad de energía espectral	115
Fotones	119
INTERACCIÓN ENTRE RADIACIÓN Y MATERIA	122
Luz coherente	123
El láser	123
Equivalencia entre masa y energía	125
La masa electromagnética	126
El principio de conservación de masa-energía	127
Variación de la masa con la velocidad	128

ÓPTICA

ÍNDICE ALFABÉTICO

aberración cromática nula	
en un telescopio reflector	Véase telescopio reflector
aberración cromática	93
aberración de esfericidad	61, 93, 96
aberraciones de las lentes	93
abertura de un objetivo	94
absorción negativa	123
absorción	55, 122
acomodación del cristalino	84
acoplamiento observador-sistema	8
actuadores individuales (espejos de telescopios)	99
agitación térmica	113
aluminizado (espejo)	72, 98
amarillo (luz de color)	94
amplificación de la radiación	122
amplitud decreciente	27
amplitud	27
ángulo de fase	32
ángulo de incidencia	56
ángulo de reflexión	56
ángulo diedro	57
ángulo sólido	102
anillos de interferencia	47
anteojo astronómico	90
aplanético	10
arrastré de luz por el éter	47
atmósferas ópticamente no vacías	54
aumento de la lupa	86
aumento de un telescopio reflector	97
aumento del anteojo de Galileo	96
aumento del microscopio compuesto	88
aumento del telescopio de Képler	91
aumento lineal 87.	Véase proyector
banda visible	101
bandas	Véase espectros

bastones	11
bicóncava	77
biconvexa	77
bola de billar	56
Boltzmann	116, 117
bombeo de energía	123
Bosque Alegre (telescopio reflector)	99
brillo	105
cadmio, sulfuro	Véase fotorresistor
caída de una piedra sobre el agua	28
calor y luz	112
cámaras fotográficas (diafragma)	95
cambio de signo de fase	Véase reflexión de las ondas
campo eléctrico	125
campo magnético de una carga en movimiento	126
candela	103
cantidad de movimiento	125
Carácter, tamaño y posición de las imágenes en espejos esféricos de pequeña curvatura	62
carbón	112
carga del electrón	126
carga en movimiento	126
carga superficial	125
casquete esférico	59, 64
cáustica	Véase aberración de esfericidad
cavidad radiante	117, 120
cavidad	113
Central de Atucha	127
centro de la superficie reflectora	59
centro de la lente	79
circulación de un vector	15
Colectivo 132, experiencias a bordo del	19
colonia de osciladores	114
color de la luz y temperatura	112
color y longitud de onda	39
color	70
computadora (corrección de imágenes de telescopios)	100
condensador	87.
conos	11

continuos	Véase espectros	
contracción de Lorentz		50
convección (en el interior del tubo de un telescopio)		98
convención de signos	Véase fórmulas de las lentes	
cornea		11
coroides		11
corpúsculo luminoso de Newton		120
corpúsculos luminosos		55
corrección de defectos de imágenes (computadora)		99
corrección de la aberración cromática		93
corrimiento de franjas - Véase resultado del experimento de Michelson		
costo de una lente		94
crystal		93
crystalino (características dimensionales y ópticas)		84
crystalino (ojo)		84, 95
cuanto de acción		3, 7
cuanto		119
cuarzo		52
cuba de ondas (experiencias)		35
cuenco esférico		98
cuerda de guitarra y polarización		52
cuerda vibrante		52
cuerpo de revolución		77
cuerpo gris		114
cuerpo negro		114
cuña		73
curva acampanada		117
curva de distribución		116
curvatura de las caras de una lente		81
curvatura del espacio		20
De Broglie		3
Descartes		66, 84, 88
deslumbramiento		105
desplazamiento del rayo	Véase lámina de caras paralelas	
desviación en un prisma		73
desviación mínima		74
diafragma		94
diafragmado		10
diámetro de una lente		80

diapositiva	88
diedro	Véase lámina de caras no paralelas
difracción	30, 38
difusión	22
dioptría	86
dispersión angular de una red	45
dispersión	122
distancia de visión nítida	86
distancia focal	60
distancia geométrica	19
distribución de energía de partículas	117
divergente (ocular)	Véase Anteojo de Galileo
doble ranura	Véase doble rendija, cuba de ondas
doble rendija	34
ecuación de la onda	32
efecto Compton	122
efecto Doppler-Fizeau	24
efecto fotoeléctrico	108
efecto fotovoltaico	108
Einstein	3, 18, 120, 127 - Véase Teoría de la Relatividad
eje principal	59, 79
emisividad	114
emisor monocromático	113
energía de un campo electromagnético	117
envolvente	28
ergonomía	101
esclerótica	11
esfera generadora del espejo	59
espacio imagen	63
espacio objeto	63
espacio y tiempo	17
espectro electromagnético	112
espectros de redes y de prismas	44
espectros	40
espejo esférico cóncavo	59
espejo esférico	97
espejos convexos	64
espejos de gran curvatura	61
espejos parabólicos	67

espejos planos colocados en ángulo	57
espejos planos	56, 57
estímulo visual	101
estructura dual materia-onda	3
éter	2
Euclides	18
experiencia de Hertz	16
experimento de Michelson y Morley	48
Explorer (sonda espacial)	
faro costero	Véase lentes escalonadas
faros de automóviles	68
faros	105
filamento incandescente	102
filtro corrector	109
filtro esmerilado monocromador	47
física electromagnética	50
Fizeau	14
flecha	Véase profundidad del plato
flujo de un vector	15
flujo luminoso	102
fluorescencia 1	22
foco (relación de abertura)	94
foco imagen	79
foco objeto	79
foco principal	60
foco virtual en lentes divergentes	81
focos conjugados (lentes)	84
focos conjugados.	66
Focos secundarios	61
formación de imágenes en lentes	82
fórmula de Planck	119
fórmulas de las lentes	80, 83
fórmulas de los espejos esféricos	65
fosforescencia	122
fotocátodo	108
fotocelda	108
fotografía (focos normalizados)	95
fotografía del sol	67
fotómetros absolutos, respuesta de	109

fotómetros	108
fotones	3, 4, 120, 121
fotorresistor	109
Fourier	31
fóvea	105
frente de onda	29
fuentes extensas (Interferómetro de Michelson)	47
fuentes luminosas	102
fuentes patrón	107
fuentes térmicas	109
fuentes	56
fuerzas gravitacionales y ondas transversales	52
Galileo, anteojo de	96
Galileo, modelo de	18
galvanómetro	108
gas de osciladores	117
geodésica	21
grafito	112
gravitones	4
Heisenberg	5
helio – neón (láser de)	124
Hertz	16
hojitas de afeitar (para fabricar doble rendija)	36
holandés, anteojo	96
hollín	112, 115
homogeneización de la radiación en una cavidad	113
horario (sentido)	73
Hubble (telescopio espacial)	99
humor acuoso	11
humor vítreo	11
Huygens	28
iluminación	104
iluminación, medida de la	107
imagen (brillo o luminosidad)	94
imagen del sol	67
imagen real	55
imagen virtual	55
imagen	55
inclinación de los rayos	104

infrarroja, radiación	112
instrumentos baratos	95
instrumentos elaborados	95
intensidad de una fuente	103
intensidad de una luminaria	103
intensidad del rayo	69
intensidad media esférica	106
intensidad y amplitud, relación entre	38
interacción entre radiación y materia	122
interfase entre dos medios	69
interferómetro de Michelson	47
intervalo cronotrópico	19
inversión de la imagen	91
inversión del medio	123
iris (ojo)	11, 95
Júpiter, satélites	13
Kepler	Véase anteojo astronómico
Kirchhoff	29
lámina de caras no paralelas	73
lámina de caras paralelas	72
lámpara de cuarzo-halógeno incandescente	110
lámpara de gas de mercurio alta presión	110
lámpara de vapor de sodio de alta presión	110
lámpara de vapor de sodio de baja presión	110
lámpara incandescente	106, 109, 110
largo del anteojo de Galileo	97
láseres de estado sólido	125
lente delgada (distancia focal)	79
lentes (efecto de las)	78
lentes (tipos de)	77
lentes adosadas	93
lentes compuestas	93
lentes convergentes – formación de imágenes	82
lentes delgadas	79
lentes divergentes	83
lentes escalonadas de Fresnel	85
lentes	77
leptones	3
ley de Brewster	53

ley de distribución de Maxwell	117
ley de distribución de Planck	118
ley de la quinta potencia	116
ley de Snell	69
ley de Stephan	116, 120
ley de Weber-Fechner	101
ley del desplazamiento	121
leyes estadísticas de los gases de Maxwell	119
longitud de onda y color	Véase color
Lorentz	19, 50, 129
Lorentz, teoría del electrón de	127
lumen	102
luminaria para la vía pública	104
luminaria	102, 103.
luminotecnia	101
Lummer y Prigsheim	114
lupa o microscopio simple	86
lupas de tamaño página	85
luz amarilla de sodio	37
luz baja	Véase faros de automóviles
luz blanca	39
luz coherente	123
Luz como fluido	1, 102
luz como onda electromagnética	2
luz como onda	2
luz larga	Véase faros de automóviles
luz polarizada natural	54
luz policromática	39
luz reflejada (en lentes)	96
luz reflejada por objetivos con películas antirreflejo	94
Luz y electromagnetismo	14
Luz y gravedad	20
mapping (transformación del espacio)	63
máquina fotográfica y proyector de imágenes	88
más denso	70
masa del electrón	126
masa electromagnética	126
masa en reposo	129
masa longitudinal	130

masa transversal	130
materia y onda	3
Mauna Kea (telescopio reflector compuesto)	100
Maxwell	15, 118, 119
Maxwell, ecuaciones de la electricidad	14
medio menos denso	70
medios aisladores y polarización	53
medir	6
menisco (ejemplo)	77, 81
mesones	4
metales alcalinos	Véase efecto fotoeléctrico
métrica del espacio	18
metro	17
microscopio compuesto	88
Michelson y Morley	48
Michelson	16, 47
mirar	6
modelo corpuscular de Newton	55
modelo de Einstein	18
modelo electromagnético	19
modelo de Galileo	18
Monte Palomar (telescopio reflector)	99
movimiento oscilatorio en un punto	31
naturaleza electromagnética de la luz y polarización	53
Newton	18, 55
Newton	Véase telescopio reflector
normal	56
nube electrónica	108
objetivo (diámetro del)	95
objetivos	92, 93
objeto	55
observación de fenómenos	18
observador	57
obstáculos a la propagación de ondas	37
ocular (en relación al ojo del observador)	95
oculares	92
ojo (constitución del)	11
ojo normal (problema de aplicación)	84
onda electromagnética	125

onda estacionaria	124
onda transversal	53
ondas regresivas	30
ondas secundarias	29
operadores	6
óptica adaptativa	100
óptica geométrica	55
ORIFICIOS	37
osciladores elementales	114
pantalla	106
parábola (propiedades de la)	67
paraboloide	67
partículas materiales y luz	55
patrón	107
película delgada antireflejo	94
películas delgadas, interferencia creada por pelotón de ciclistas	46 39
pequeña curvatura (espejo cóncavo)	97
pérdida de luz por reflexión	93
Pérdidas de energía	34
Perturbación	22
perturbaciones atmosféricas (imágenes de telescopios)	99
Perturbaciones y ondas	23
Pitágoras	18
Planck	116, 118
Planck	3
plano de dibujo	57
plano de reflexión	57
plano focal en una lente	79
Plano focal	61
plantilla sobre una cuerda (polarización)	52
platino Véase fotocelda.	Véase candela
playa de estacionamiento	110
Plutón, fotos de	13
Poaroid-Land	52
población invertida	122
poder separador de una red	45
polarización de la luz por reflexión en dieléctricos	53

polarización de la luz	52
polarizadores cruzados	54
potencia de una lente	86
potencia electromagnética total	Véase Ley de Stephan
preparación microscópica	89
preparación	89
presión de radiación	6, 117, 120, 125
principio de conservación de la energía	71
principio de conservación único: el de la masa-energía	127
principio de Huygens	28, 33
principio de indeterminación	7
principio de reversibilidad de los caminos ópticos	74
prisma	73
prismas y lentes	78
prismas de reflexión total	72, 92
prismáticos	92
profundidad de campo	94
promedio estadístico	113
propagación de perturbaciones	22
propagación del calor	23
propiedades del espacio	21
proyector de imágenes	87
punto ciego (del ojo)	11
punto luminoso (difracción)	38
pupila (ojo)	95
pupila	11
quanta	3
quarks	3
radiación blanca	70
radiación de bombeo	123
radiación electromagnética	113
radiación homogénea	114
radiación isotrópica	114
radiación térmica	112
radiación y temperatura	112
radiaciones gamma	15, 112
radiadores elementales	119
radio del electrón	126
radiómetro	115

radios de curvatura de las caras de una lente	79
ranura	30
rayas de Fraunhofer	41
rayas	Véase espectros
rayo reflejado	34
rayos (marcha en lentes delgadas)	79
rayos gamma	122
rayos	55
realimentación entre dos fenómenos	15
redes de difracción	41
redes de reflexión	44
reflejos en imágenes fotográficas	54
reflexión de ondas	30
reflexión en superficies de forma cualquiera	59
reflexión que acompaña a la refracción	69
reflexión total	71
reflexión y refracción de campos	53
reflexión	55
refracción de la luz y el camino más rápido	12
refracción de la luz	69
refracción de las ondas	33
refracción simple	69
relación de abertura	94
relación de velocidades $\beta=v/c$	49
relatividad general	20
relatividad	19
relojes y tiempo	20
rendimiento lumínico de una fuente	102, 109
resonancia	124
respuesta de la vista	101
respuesta logarítmica	Véase Ley de Weber-Fechner
resultado del experimento de Michelson-Morley	49
retina	11
reversibilidad de los caminos ópticos	55
rigidez de un espejo tallado	98
Römer	13
sectores (diafragma de)	Véase diafragma
sensación luminosa	101
sensación	101

sentido horario y antihorario	73
serie geométrica	Véase ley de distribución de Planck
simetría (condición de)	Véase desviación en un prisma
simetría (imagen/objeto)	56
Snell, ley de	33
sólido fotométrico	104
spin	4
Stephan	116
tamaño aparente	87
tamaño de la imagen en la retina	85
telescopio refractor	97
telescopio	67
telescopios acodados	Véase prismáticos
Telescopios reflectores	97
teoría cinética de los gases).	117
teoría cuántica	120
teoría de la Relatividad de Einstein	50
Teoría de la Relatividad	127
termodinámica y radiación	117
tiempo absoluto	19
tiempo electromagnético	19
transformación del espacio por espejos convexos	65
transformación del espacio por lentes divergentes	83
transformación del espacio producido por lentes	82
transmisión	55
transparentes (medios)	34
tubo acodado de un prismático	92
tubo del microscopio	89
tubo fluorescente	102, 109, 110
turmalina	52, 54
ultravioleta, radiación	112
umbral de estímulo	101
umbral de una vista normal	104
vapor de mercurio	109
Variación de la masa con la velocidad	128
velocidad de fase de las ondas	33, 40
velocidad de grupo de las ondas	33, 40
velocidad de la luz de color	39
Velocidad de la luz	13, 16

velocidad de traslación de la tierra	49
velocidad de una perturbación	27
ventana en una cavidad	113
vidrio (tallado de espejos)	98
vidrio común (dispersión de los colores)	93
viento de éter	Véase Experimento de Michelson
visión nítida	84
Weber-Fechner	Véase Ley de
Wien	116
Young	36
Zelenchukskaya (telescopio reflector)	98