



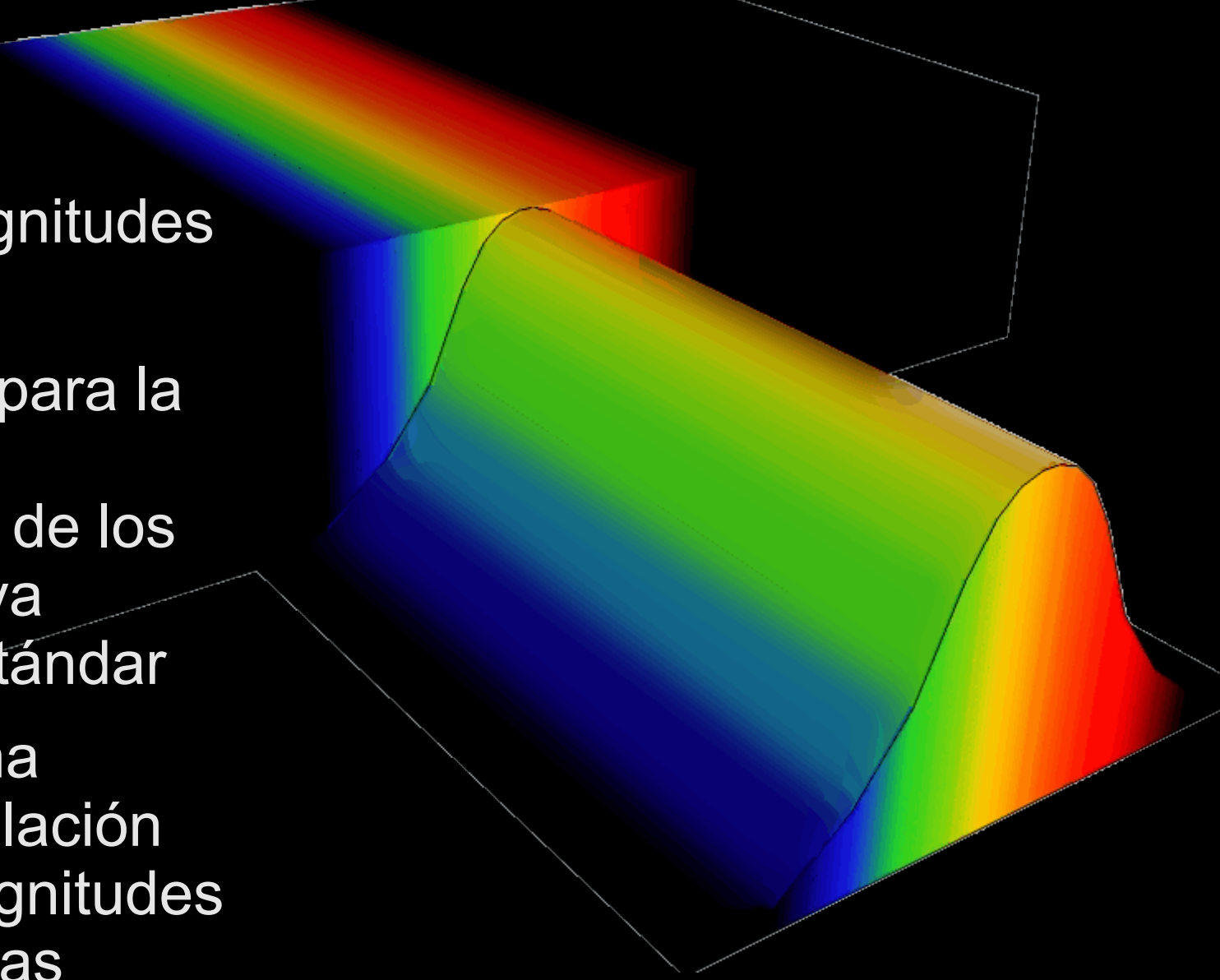
Física de la Luz



Magnitudes fotométricas

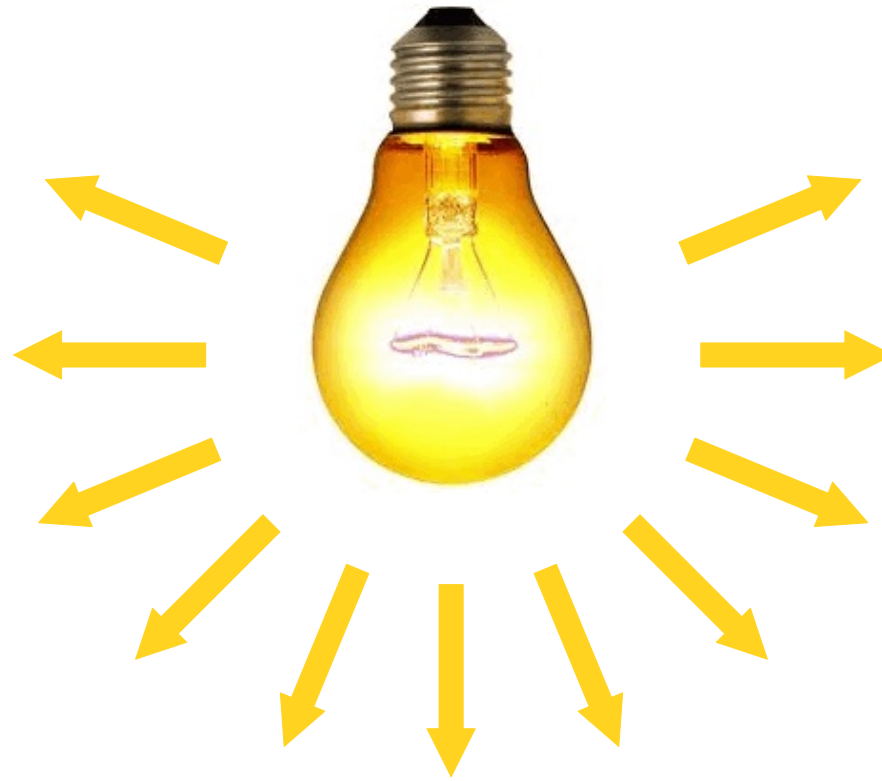
Magnitudes fotométricas

- Todas las magnitudes fotométricas
 - se definen para la respuesta combinada de los conos: curva fotópica estándar
 - guardan una estrecha relación con las magnitudes radiométricas



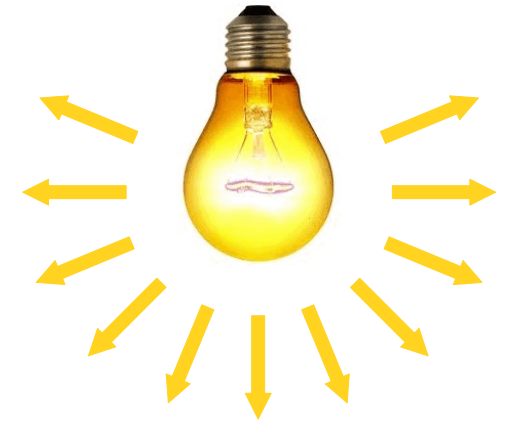
Magnitudes fotométricas

Flujo luminoso



Magnitudes fotométricas

Flujo luminoso

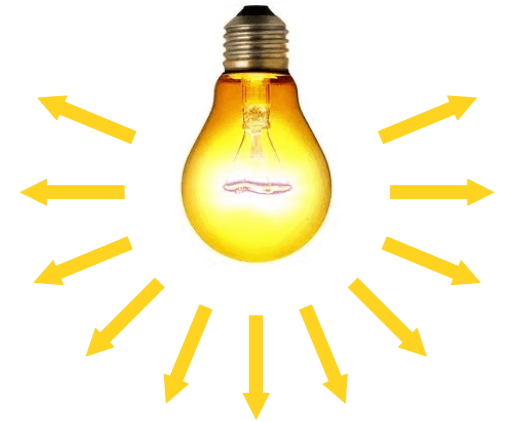


DEF: **El Flujo Luminoso (Φ)** es la parte del flujo radiante en el espectro visible (380 a 780 nm), ponderada por la curva de respuesta fotópica del ojo

- Se mide el Lúmenes [lm]
- Un **Lumen** = flujo luminoso de una radiación monocromática de $\lambda = 555$ nm, cuyo flujo radiante es de (1/683) W

Magnitudes fotométricas

Flujo luminoso



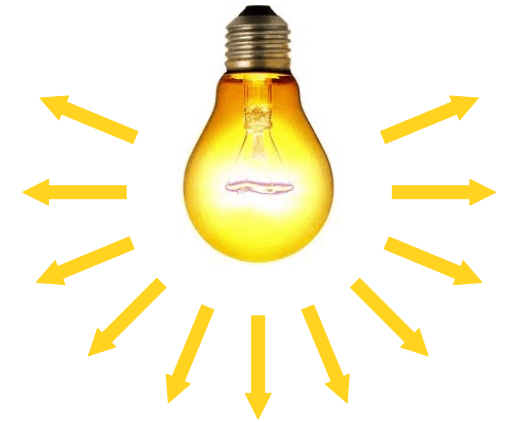
- Entonces un flujo radiante de 1 W proporcionaría un máximo de 683 lm si toda su radiación fuera monocromática en los 555 nm
- Queda definida así la relación entre potencia radiante y flujo luminoso

$$683 * V(\lambda)$$

es la expresión por la que se debe multiplicar cada componente del flujo radiante

Magnitudes fotométricas

Flujo luminoso



- Para hallar el flujo luminoso hay que integrar el flujo radiante en el espectro, en la práctica sumar los componentes

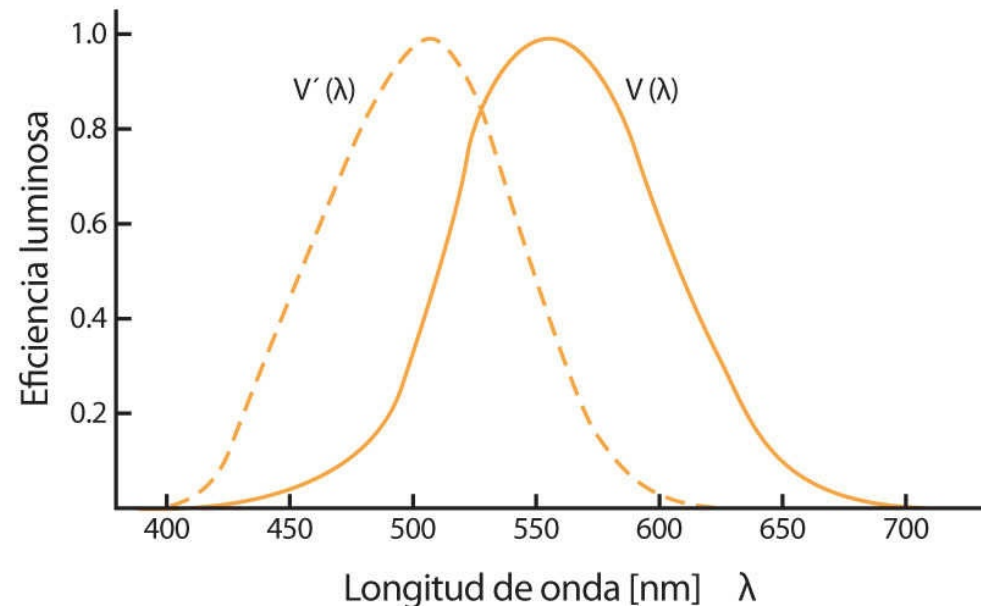
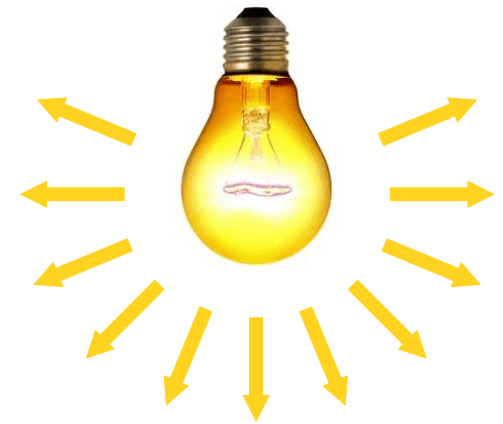
$$\Phi = 683 \sum_{\lambda=380}^{780} P(\lambda)V(\lambda)\Delta\lambda$$

puesto que tanto $P(\lambda)$ como $V(\lambda)$ se tienen como sucesión de valores discretos cada $\Delta\lambda$

Magnitudes fotométricas

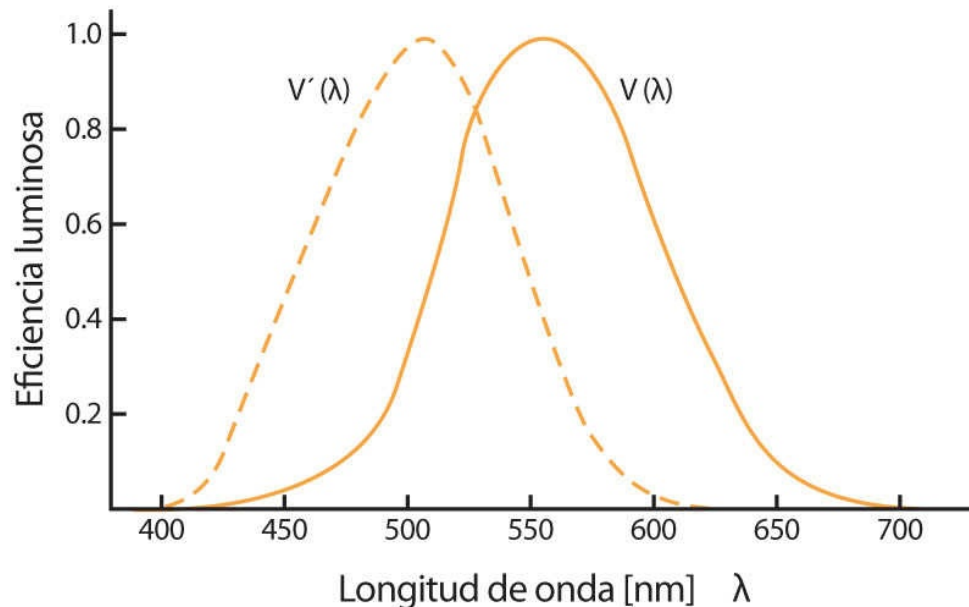
Flujo luminoso

- Otra forma es usar un instrumento con un filtro analógico que emule el ojo
 - Luxómetro + esfera integradora
- Lo mismo es posible con $V'(\lambda)$
 - Lúmenes escotópicos
 - Luxómetro escotópico



Magnitudes fotométricas

Curvas de respuesta
fotópica y escotópica



Wavelength (nm)	V(λ)	V'(λ)	Wavelength (nm)	V(λ)	V'(λ)
360	3.917E-06		585	8.163E-01	8.990E-02
365	6.965E-06		590	7.570E-01	6.550E-02
370	1.239E-05		595	6.949E-01	4.690E-02
375	2.202E-05		600	6.310E-01	3.315E-02
380	3.900E-05	5.890E-04	605	5.668E-01	2.312E-02
385	6.400E-05	1.108E-03	610	5.030E-01	1.593E-02
390	1.200E-04	2.209E-03	615	4.412E-01	1.088E-02
395	2.170E-04	4.530E-03	620	3.810E-01	7.370E-03
400	3.960E-04	9.290E-03	625	3.210E-01	4.970E-03
405	6.400E-04	1.852E-03	630	2.650E-01	3.335E-03
410	1.210E-03	3.484E-02	635	2.170E-01	2.235E-03
415	2.180E-03	6.040E-02	640	1.750E-01	1.497E-03
420	4.000E-03	9.660E-02	645	1.382E-01	1.005E-03
425	7.300E-03	1.436E-01	650	1.070E-01	6.770E-04
430	1.160E-02	1.998E-01	655	8.160E-02	4.590E-04
435	1.684E-02	2.625E-01	660	6.100E-02	3.129E-04
440	2.300E-02	3.281E-01	665	4.458E-02	2.146E-04
445	2.980E-02	3.931E-01	670	3.200E-02	1.480E-04
450	3.800E-02	4.550E-01	675	2.320E-02	1.026E-04
455	4.800E-02	5.130E-01	680	1.700E-02	7.150E-05
460	6.000E-02	5.670E-01	685	1.192E-02	5.010E-05
465	7.390E-02	6.200E-01	690	8.210E-03	3.533E-05
470	9.098E-02	6.760E-01	695	5.723E-03	2.501E-05
475	1.126E-01	7.340E-01	700	4.102E-03	1.780E-05
480	1.390E-01	7.930E-01	705	2.929E-03	1.273E-05
485	1.693E-01	8.510E-01	710	2.091E-03	9.140E-06
490	2.080E-01	9.040E-01	715	1.484E-03	6.600E-06
495	2.586E-01	9.490E-01	720	1.047E-03	4.780E-06
500	3.230E-01	9.820E-01	725	7.400E-04	3.482E-06
505	4.073E-01	9.980E-01	730	5.200E-04	2.546E-06
510	5.030E-01	9.970E-01	735	3.611E-04	1.870E-06
515	6.082E-01	9.750E-01	740	2.492E-04	1.379E-06
520	7.100E-01	9.350E-01	745	1.719E-04	1.022E-06
525	7.932E-01	8.800E-01	750	1.200E-04	7.600E-07
530	8.620E-01	8.110E-01	755	8.480E-05	5.670E-07
535	9.149E-01	7.330E-01	760	6.000E-05	4.250E-07
540	9.540E-01	6.500E-01	765	4.240E-05	3.196E-07
545	9.803E-01	5.640E-01	770	3.000E-05	2.413E-07
550	9.950E-01	4.810E-01	775	2.120E-05	1.829E-07
555	1.000E+00	4.020E-01	780	1.499E-05	1.390E-07
560	9.950E-01	3.288E-01	785	1.060E-05	
565	9.786E-01	2.639E-01	790	7.466E-06	
570	9.520E-01	2.076E-01	795	5.258E-06	
575	9.154E-01	1.602E-01	800	3.703E-06	
580	8.700E-01	1.212E-01			



Ejercicio



Ejercicio⁽⁴⁾

- Una fuente emite un flujo radiante total de 5 W concentrado en dos bandas de frecuencia correspondientes al rojo y al azul
 - 650 nm : emite 3 W
 - 450 nm : emite 2 W
- Hallar el flujo luminoso emitido, y la eficacia lumínica de la fuente en lm/W
- Comparar con igual potencia pero toda en 555 nm

De la tabla anterior...

Wavelength (nm)	$V(\lambda)$	$V'(\lambda)$
445	2.980E-02	3.931E-01
450	3.800E-02	4.550E-01
455	4.800E-02	5.130E-01
645	1.382E-01	1.005E-03
650	1.070E-01	6.770E-04
655	8.160E-02	4.590E-04



Resolución

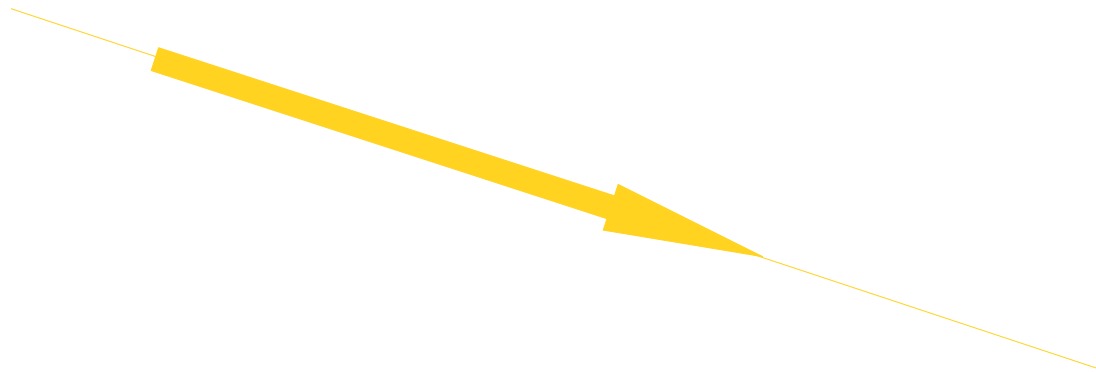
- $650 \text{ nm}: 3 W$
- $450 \text{ nm}: 2 W$

De la tabla anterior...

Wavelength (nm)	$V(\lambda)$	$V'(\lambda)$
445	2.980E-02	3.931E-01
450	3.800E-02	4.550E-01
455	4.800E-02	5.130E-01
645	1.382E-01	1.005E-03
650	1.070E-01	6.770E-04
655	8.160E-02	4.590E-04

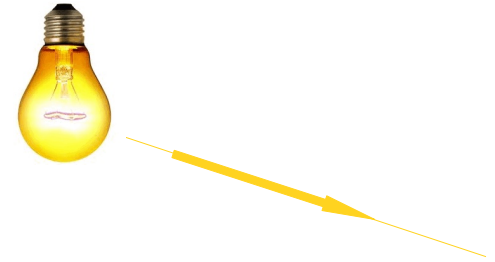
Magnitudes fotométricas

Intensidad luminosa



Magnitudes fotométricas

Intensidad luminosa



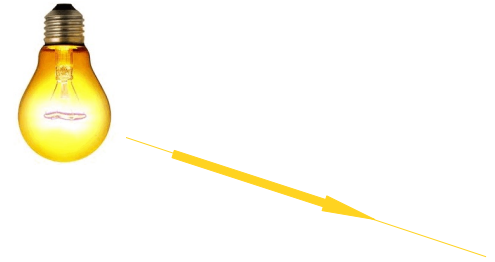
DEF. : **La Intensidad Luminosa (I)** es el flujo luminoso emitido en un pequeño cono que contiene una dirección dada dividido por el ángulo sólido del cono

- $I = d\Phi / d\Omega$
- Se mide en Candelas [cd]
- Una **Candela** = un lumen por estereorradián

$$1 \text{ cd} = 1 \text{ lm/sr}$$

Magnitudes fotométricas

Intensidad luminosa



- Análoga a la Intensidad radiante
 - la misma relación que el Flujo luminoso con el Flujo radiante → la curva de respuesta fotópica
 - también es una magnitud vectorial
- Es la unidad mas antigua
 - vela común ~ 1 cd

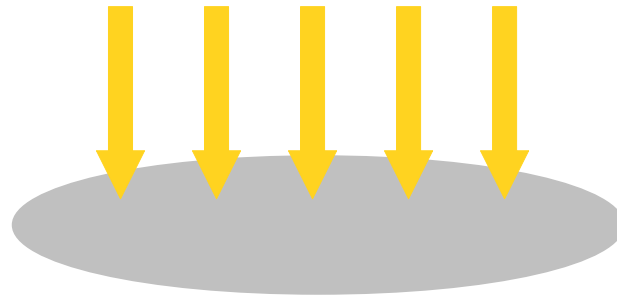
Ejercicio⁽⁵⁾ (para después de clase)

Dada una lámpara LED que emite un flujo de 850 lm con igual intensidad en todas direcciones, hallar dicho valor de intensidad luminosa.

Comparar con la intensidad de una vela común.

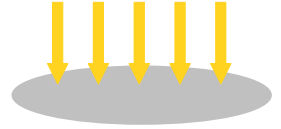
Magnitudes fotométricas

Iluminancia



Magnitudes fotométricas

Illuminancia



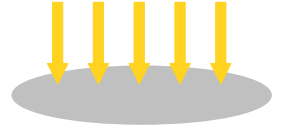
DEF. : La **Illuminancia** (E) se define como el flujo luminoso que incide sobre una unidad de superficie

- $E = d\Phi / dS$
- Se mide en Luxes [lx]
- Un **Lux** = un lumen por metro cuadrado

$$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$$

Magnitudes fotométricas

Iluminancia

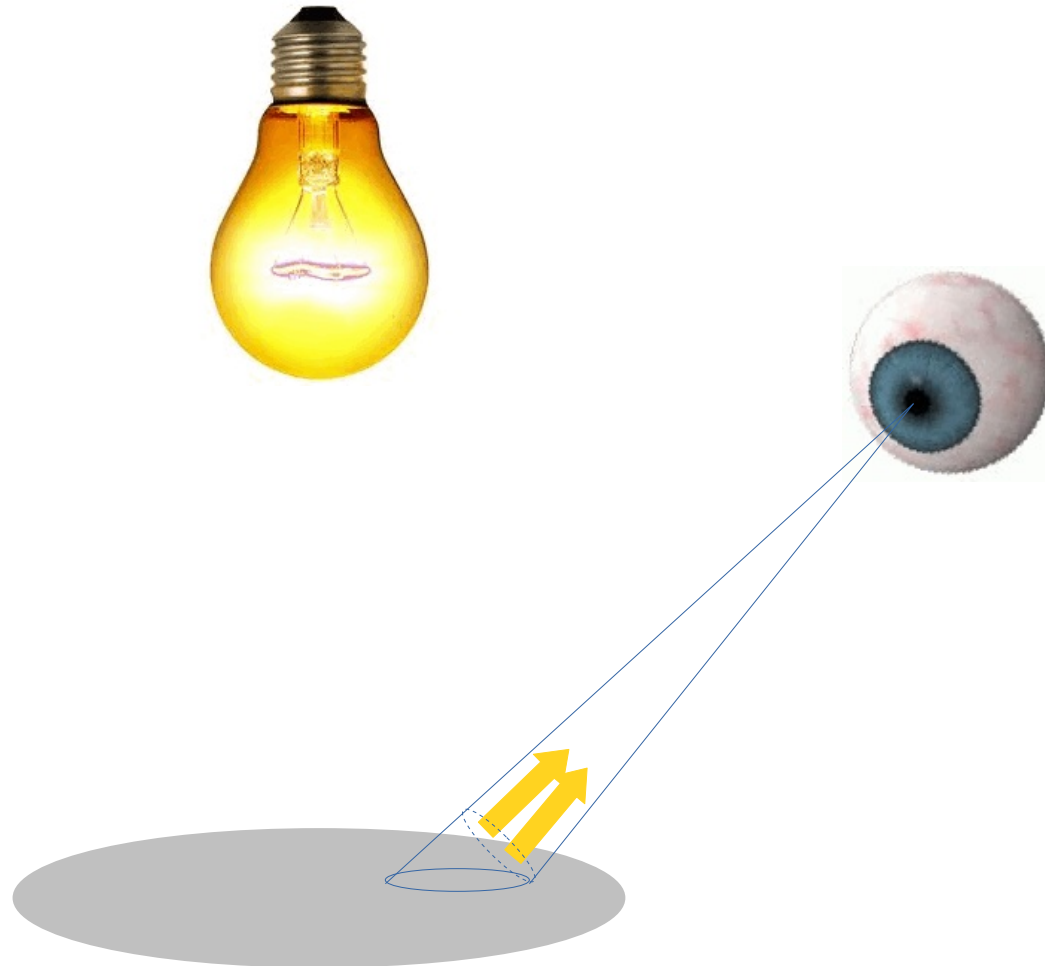


- Análoga a la Irradiancia
- Se la llama también **nivel de iluminación**
- Referida siempre a un plano determinado, a una de sus caras
- Independiente de las propiedades físicas de la superficie sobre la que se mide
- Es lo que miden los luxómetros



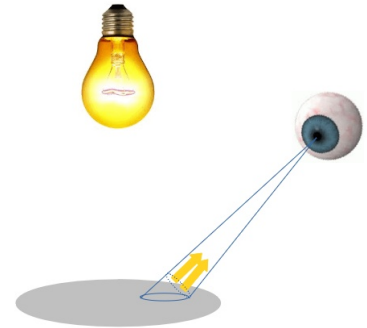
Magnitudes fotométricas

Luminancia



Magnitudes fotométricas

Luminancia



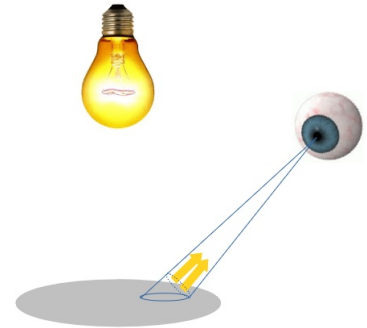
DEF. : La **Luminancia** (L) en un punto de la superficie de una fuente emisora, en una dirección α dada, es igual al diferencial de intensidad luminosa de ese punto (dI) en esa dirección, por unidad de diferencial de área de la fuente (dS), proyectada en esa dirección

- $L_{(\alpha)} = dI_{(\alpha)} / dS'$
 - dS' es el diferencial de superficie dS proyectada sobre el plano normal a la dirección α

observar que dS no tiene por que ser una superficie plana

Magnitudes fotométricas

Luminancia



- $L_{(\alpha)} = dI_{(\alpha)} / dS'$

así definida es la **luminancia puntual**

- Si se cumple que la intensidad para la dirección α es la misma en todos los puntos de la fuente
 - es posible considerar la **luminancia extendida**

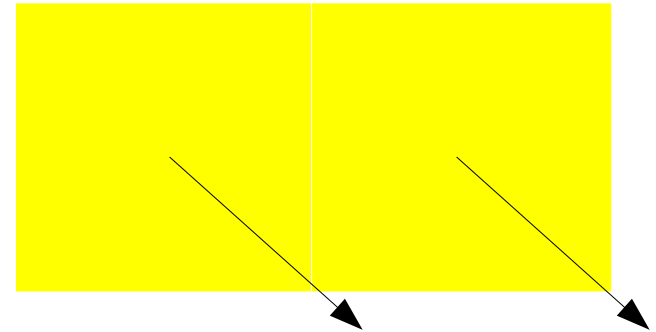
$$L_{(\alpha)} = I_{(\alpha)} / S'$$

- para toda la superficie proyectada de la fuente
- La luminancia se mide en Candelas por metro cuadrado [cd/m^2]

Magnitudes fotométricas

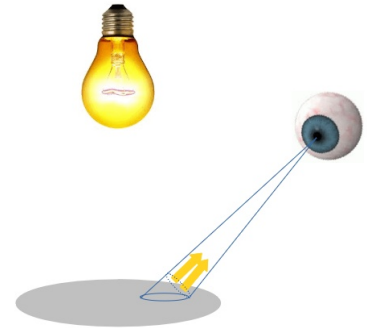
Luminancia

- Ejemplo
 - fuente formada por 2 elementos
 - $1 \text{ m}^2 \text{ c/u}$
 - 1 cd c/u
 - entonces
 - cada elemento 1 cd/m^2
 - como la intensidad es igual en ambos elementos
 - la luminancia extendida es igual a la puntual
 - $2 \text{ cd} / 2 \text{ m}^2 = 1 \text{ cd/m}^2$



Magnitudes fotométricas

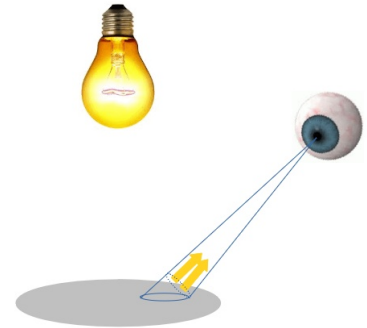
Luminancia



- Análoga a la Radiancia
- Caracteriza la fuente o superficie emisora en una dirección dada y es una **magnitud** de singular importancia pues es la **que aprecia el ojo**
- Aplicable a cualquier superficie que emite (*ej.: monitor*) o que refleja (*ej.: una ruta*) luz
- Cuantifica la claridad (o brillo) de una superficie
- A diferencia de la iluminancia, no puede aumentarse con un sistema óptico

Magnitudes fotométricas

Luminancia



- Se mide con un luminancímetro, que puede ser
 - de un punto
 - de matriz de puntos

*igual que un termómetro IR
vs. una cámara termográfica*

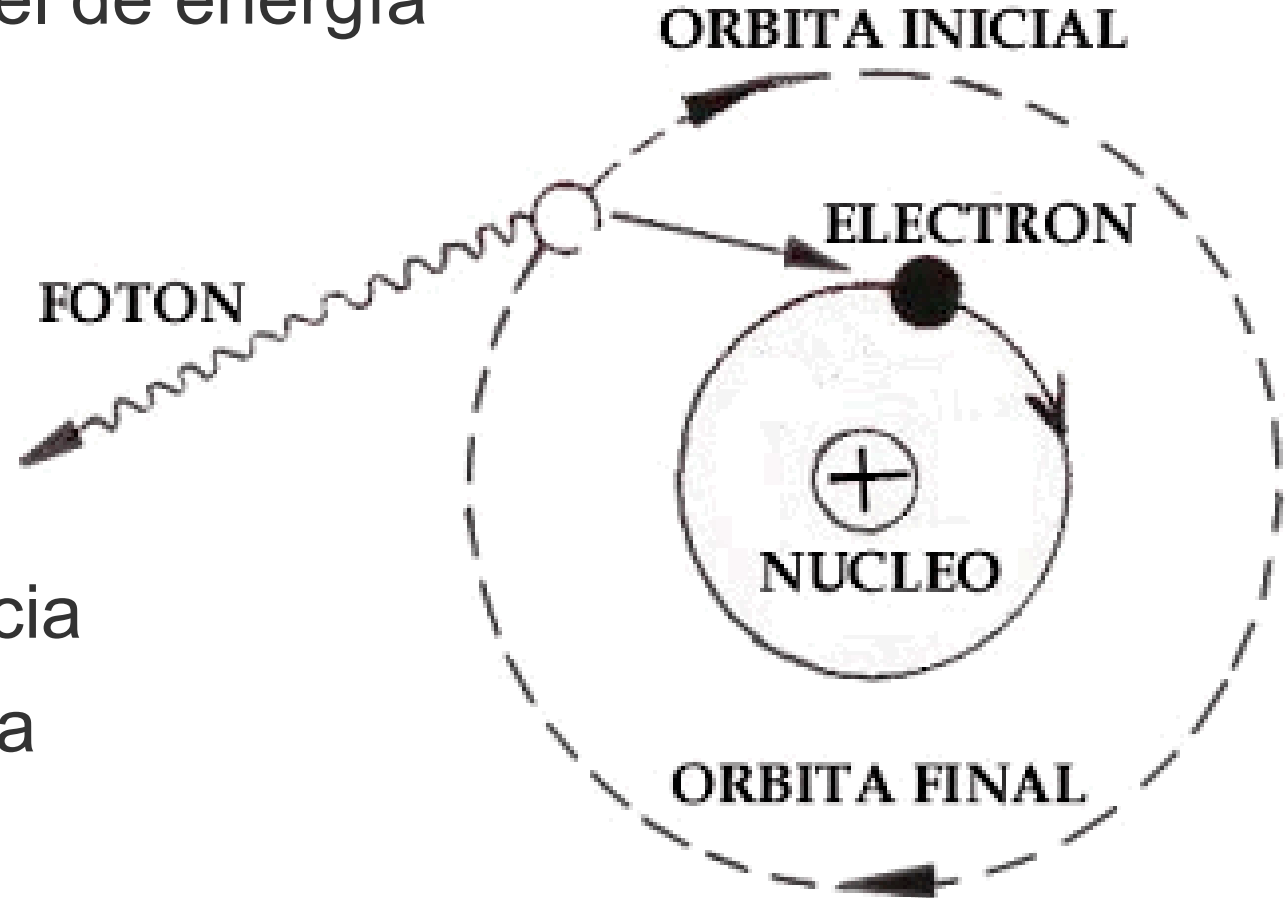




Generación de la Luz

Generación de la Luz

- Ocurre cuando un e^- de valencia retorna a un nivel de energía mas bajo
- En todas las formas de generación de luz
 - Incandescencia
 - Luminiscencia



Generación de la Luz

- **Incandescencia y Luminiscencia**
- Según que causa que el e^- cambie a una órbita de mas energía
 - si es la vibración asociada a la temperatura
 - Incandescencia
 - si es el choque de otra partícula
 - Luminiscencia
- Ambos fenómenos se dan juntos
 - cuando se clasifica en uno u otro, en realidad se considera el que prevalece

Generación de la Luz

Incandescencia

- La radiación óptica se genera cuando el material supera los 600 °C
- Siempre es algo menor a la emisión teórica del cuerpo negro, ya visto
- Ejemplos
 - Lámpara incandescente
 - Pyroluminiscencia (fuego)
 - Candoluminiscencia (lámpara a mantilla)
 - Arco de carbón

las dos últimas combinan incandescencia y luiminiscencia

Generación de la Luz Luminiscencia

- Fotoluminiscencia
 - un fotón excita al e^- de valencia
- Ejemplos
 - Descarga en gases
 - Fluorescencia
 - Fosforescencia
 - Laser

Generación de la Luz

Luminiscencia

- Electroluminiscencia
 - un e^- externo excita al e^- de valencia
- Ejemplos
 - Lámparas electroluminiscentes, de arco capacitivo
 - LED
 - Cátodoluminiscencia

Generación de la Luz

Luminiscencia

- Otros
 - *galvanoluminiscencia*
 - *cristaloluminiscencia*
 - *oxiluminiscencia*
 - *termoluminiscencia*
 - *triboluminiscencia*
 - *sonoluminiscencia*
 - *radioluminiscencia*
 - *etc.*

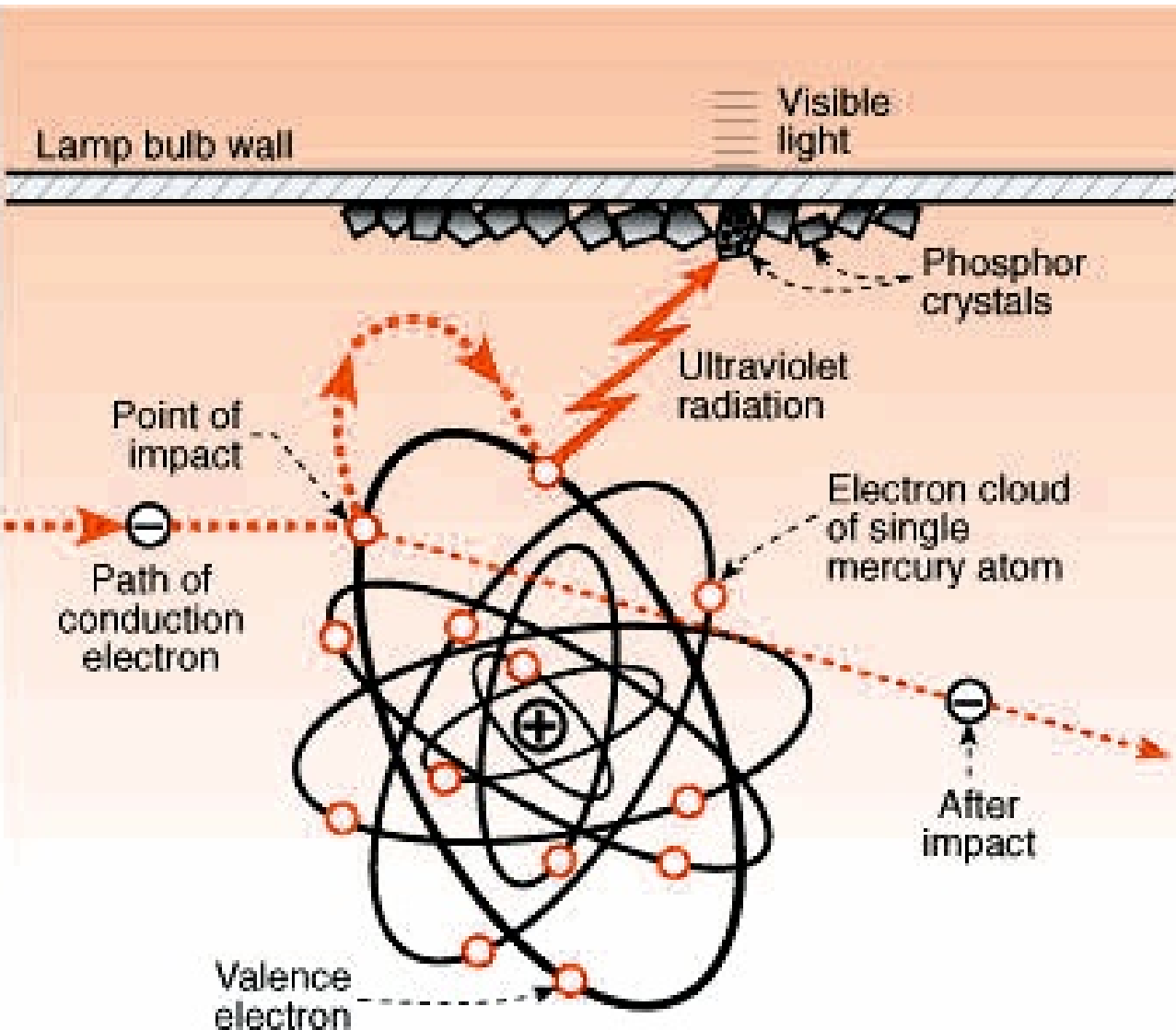
Ejercicio⁽⁶⁾ (para después de clase)

Estudiar alguna de estas u otras formas menos conocidas de luminiscencia.

Preparar breve exposición para clases próximas.

Generación de la Luz

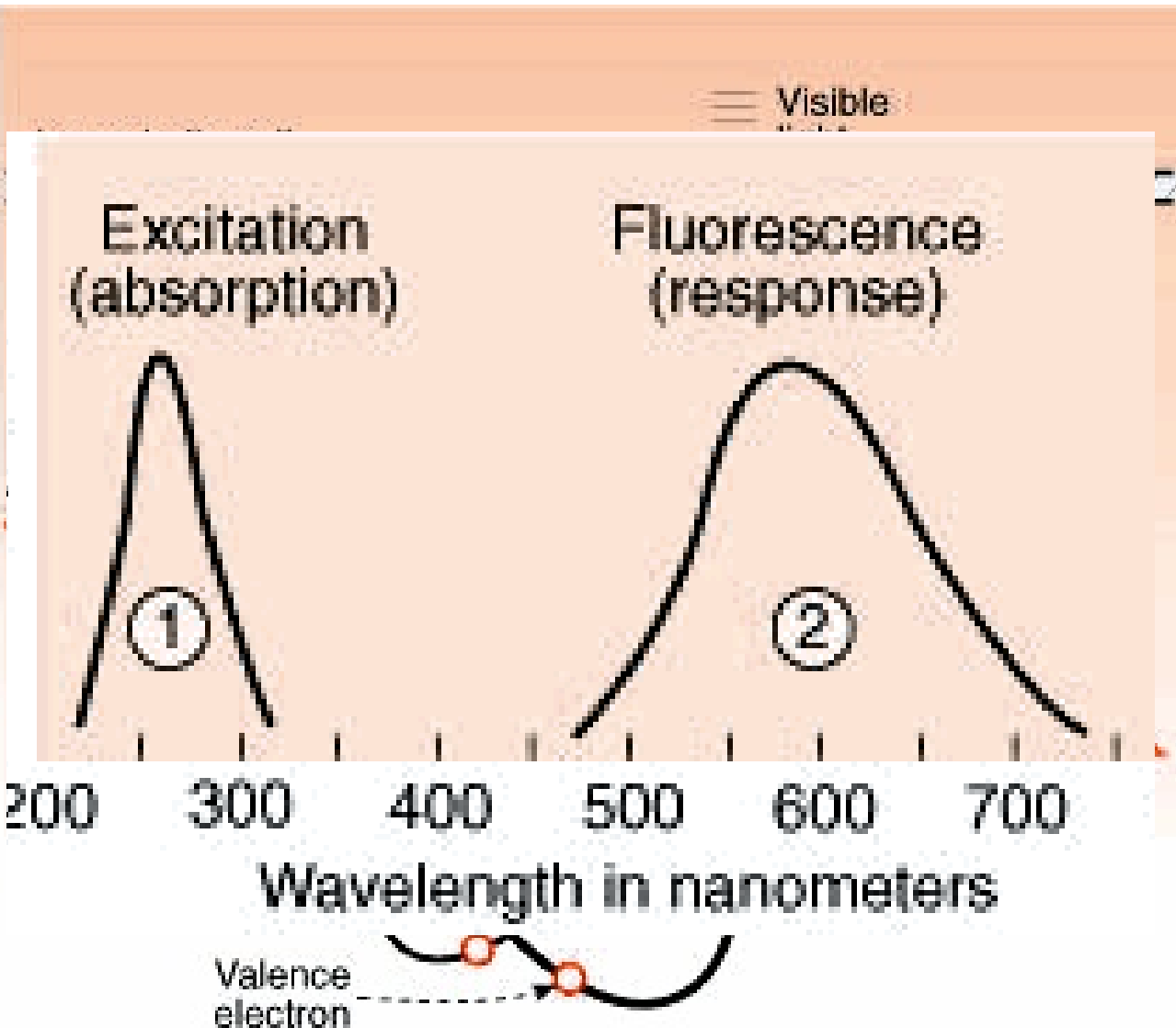
Luminiscencia



- Ejemplo de fotoluminiscencia
- Un e^- externo choca a un e^- de un átomo de mercurio, y éste pasa a un nivel de mas energía
- Al retornar emite un fotón de radiación UV

Generación de la Luz

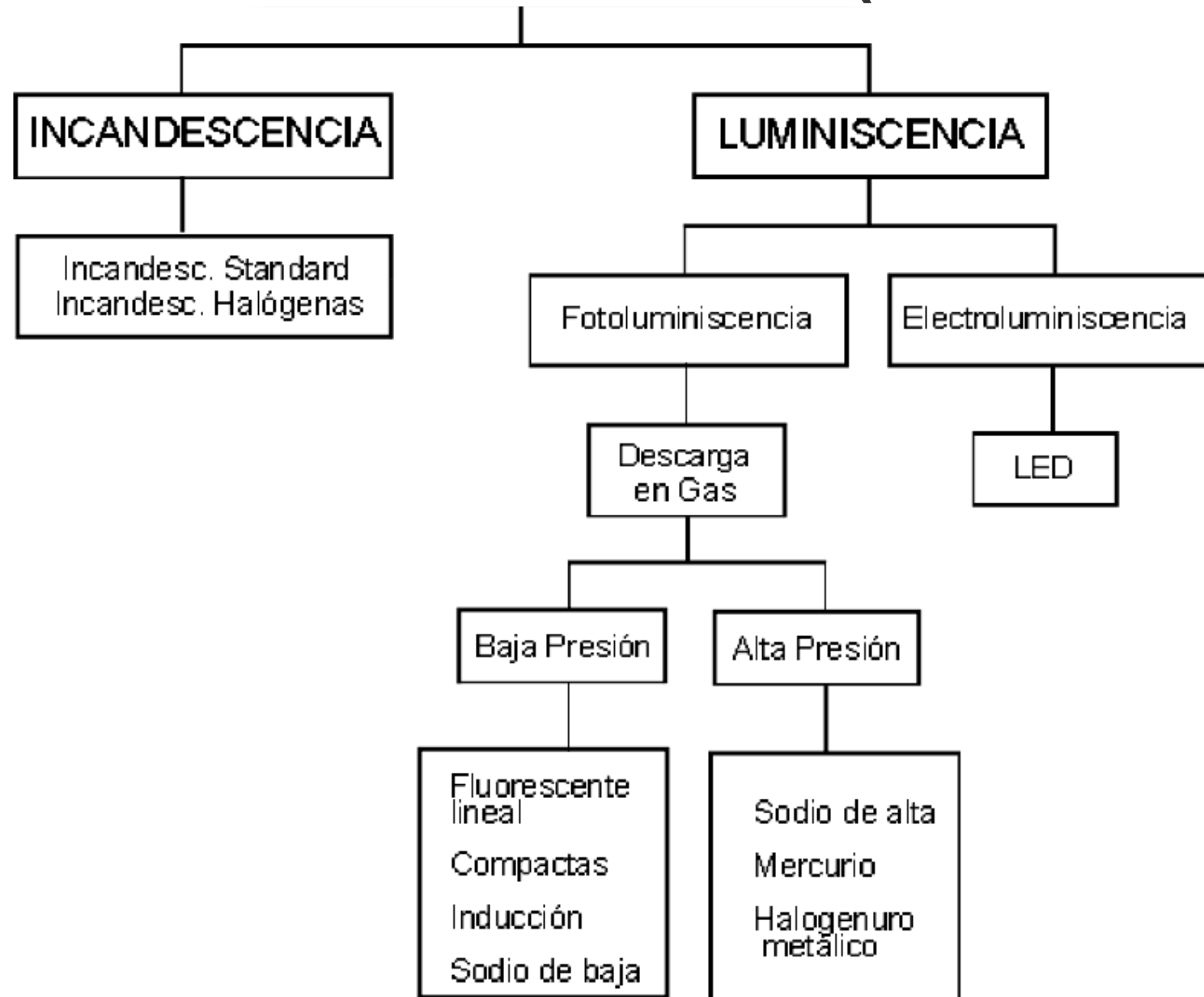
Luminiscencia



- El fotón excita un e^- de los cristales de fósforo
- Al retornar se emite un fotón de radiación visible
- Espectro de la conversión UV a visible

Generación de la Luz

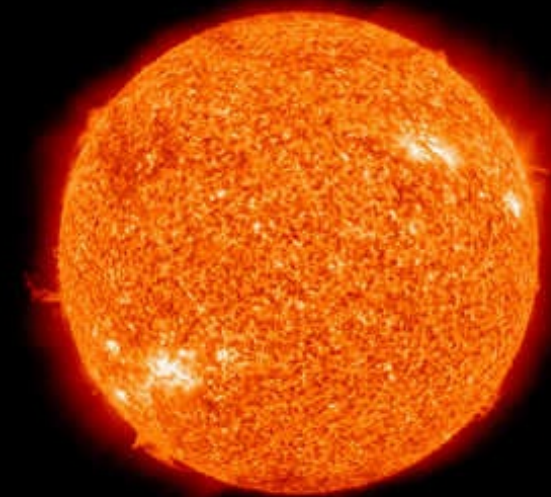
Fuentes artificiales (eléctricas)



Generación de la Luz

Fuentes naturales

- **Luz solar**
- ~6500 K
- 1350 W/m² alcanzan la órbita terrestre
- $\frac{3}{4}$ llega a la superficie terrestre
- 1.6 Gcd/m²
- 10 klx a 100 klx



Generación de la Luz

Fuentes naturales

- **Bóveda celeste**
- Las moléculas en la atmósfera dispersan buena parte de la luz solar
- La dispersión para partículas pequeñas varía con λ
 - celeste al mediodía
 - rojizo al amanecer y atardecer
- Para partículas grandes es igual $\forall \lambda$
 - las nubes se ven blancas
- Llega a la superficie en forma de radiación difusa

Generación de la Luz

Fuentes naturales



- **Luz de luna**
- Refleja luz solar
 - muy baja reflexividad
 - 1.6 Gcd/m^2 llegan $\sim 2.5 \text{ kcd/m}^2$
- 4100 K, muy variable según condiciones atmosféricas
- Máximo 0.1 lx

Generación de la Luz

Fuentes naturales

- **Descargas atmosféricas**
- Rápida transferencia de cargas eléctricas
 - excitan átomos en la atmósfera
- Espectro: el de una descarga eléctrica en aire
 - bandas Nitrógeno
 - ocasionalmente bandas Hidrógeno (disociación de agua)

Generación de la Luz

Fuentes naturales

- **Auroras polares**

- En las regiones polares, campo magnético terrestre mas débil



- Jets de e^- afectan órbitas de valencia de Oxígeno y Nitrógeno
 - se generan chorros de luz verde con tintes del blanco al rojo

Generación de la Luz

Fuentes naturales



- **Bioluminiscencia**
- Forma natural de luz química
- Producida por seres vivos
- Compuestos químicos producen luz al oxidarse

Generación de la Luz

Fuentes naturales

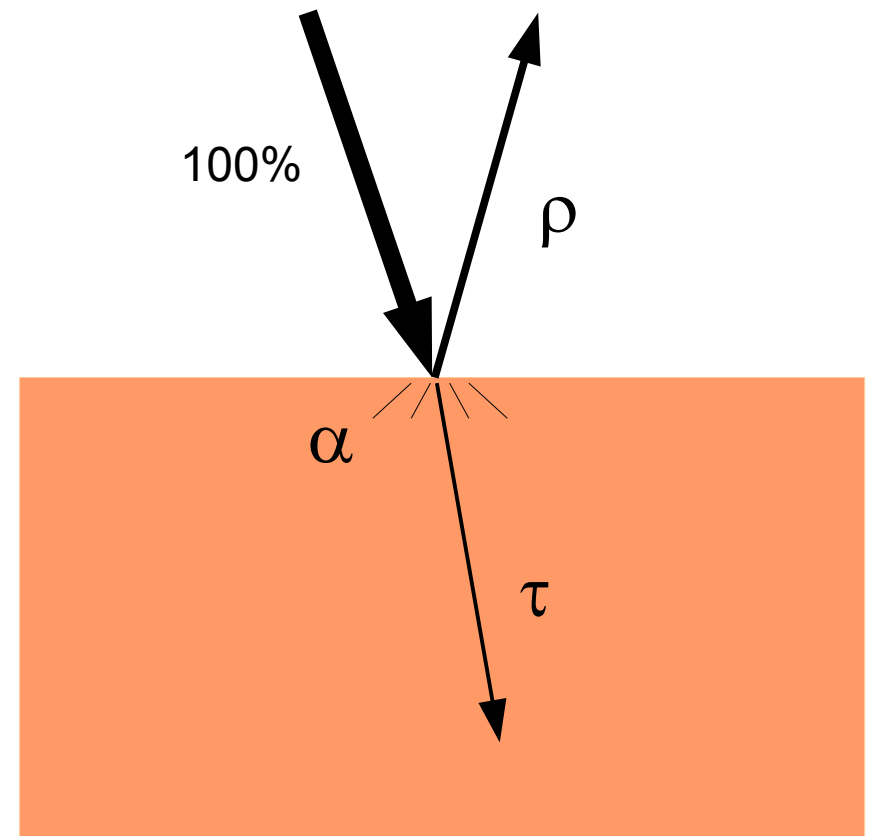
- Otras fuentes
 - Estrellas y objetos celestes
 - Asteroides que se queman al entrar a la atmósfera
 - Centellas
 - Erupciones volcánicas (lava)
 - Fuego
 - etc.



Manipulación de la Luz

Manipulación de la Luz

- Materiales
 - opacos
 - traslúcidos
 - espejos
- Se definen coeficientes
 - absorción: $\alpha(\lambda)$
 - transmisión: $\tau(\lambda)$
 - reflexión: $\rho(\lambda)$



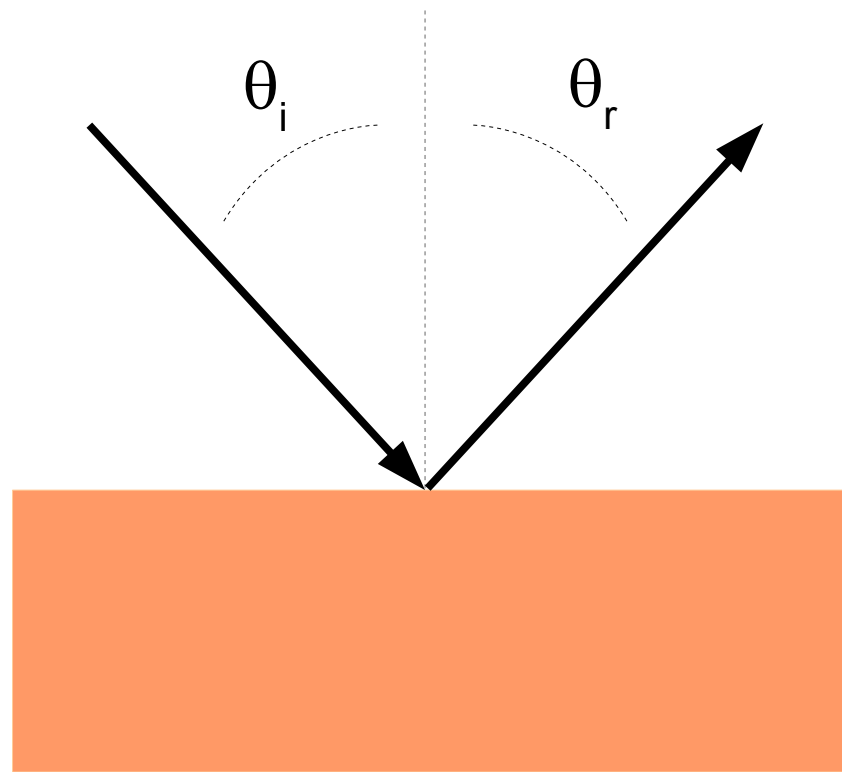
Manipulación de la Luz

- Absorción
 - calor
- Veamos como ocurren los otros efectos

Reflexión de la Luz

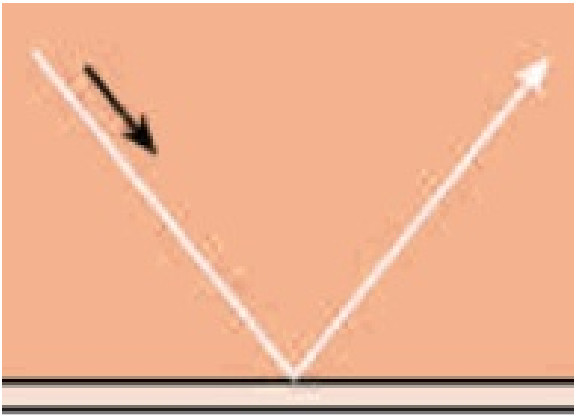
Manipulación de la Luz

- **Reflexión (especular)**
- ángulo de incidencia = ángulo de reflexión
- superficies pulidas

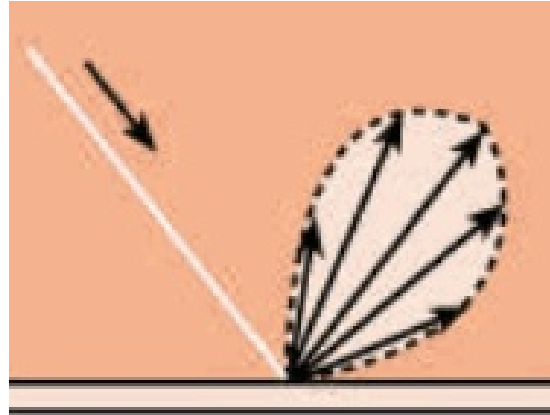


Manipulación de la Luz

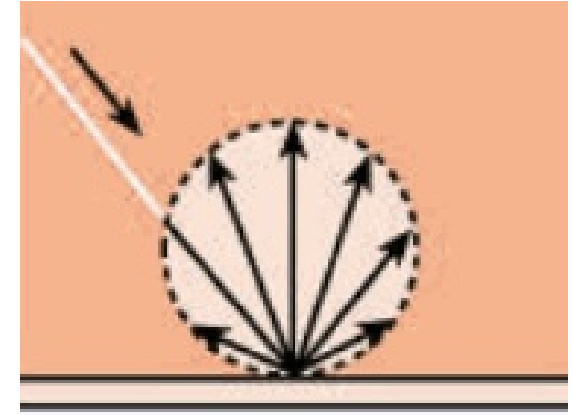
- **Reflexión difusa**
- Superficie irregular, no pulida



Reflexión especular
(superficie pulida)



Reflexión dispersa
(superficie rústica)



Reflexión difusa
(superficie mate)

- Superficies reales: una combinación de estas

Manipulación de la Luz

- **Espejos**

- Planos
- Cóncavos
- Convexos

