Structură şi Evoluție Stelară - Introducere

Bibliografie:

- **V. Ureche, Universul, vol.II, Ed. Dacia, 1987**
- **R.J. Taylor, The Stars:Their structure and evolution, Cambridge University Press, 1994**
- **L. Kuttner, Astronomy: A Physical Perspective, Cambridge University Press, 1994**

Astrofizica este ramura astronomiei care studiază proprietățile fizice ale corpurilor cereşti.

proprietăți fizice: luminozitate, densitate, temperatură, proprietăți chimice,etc.

corpuri cereşti: stele, galaxii, mediu interstelar

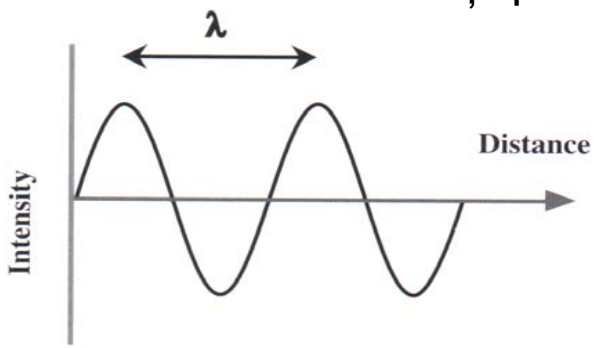
Astrofizica este o ştiință multidisciplinară înglobând domenii precum:

- fizică
- matematică
- mecanică
- electromagnetism
- mecanica statistică şi cuantică
- fizică atomica, nucleară şi moleculară

Observațiile în astrofizica

Principala sursă de informații astrofizice este radiația electromagnetică emisă de corpurile cereşti. Aceasta are caracter de undă (wave). O undă este o perturbație care se propagă în spațiu, de cele mai multe ori transferând energie. Pe când undele mecanice au nevoie de un mediu pentru propagare (valurile pe oceane, undele sonore – se propagă prin oscilația moleculelor) undele electromagnetice (radiația) pot să se propage prin vid.

O undă este caracterizată prin lungimea de undă, λ, şi frecvența, ν. Lungimea de undă este distanța între două puncte ale undei într-un ciclu succesiv, iar frecveța este numărul de oscilații pe secundă.



Acestea sunt legate între ele prin:

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

unde c = 299792.5 km/s $\cong$ 3 x 10^8 m/s este viteza de propagare a undelor electromagnetice în vid.

$[\lambda]_{SI}$= m, $[\nu]_{SI}$= s^{-1} = Hz,

Radiația electromagnetică este emisă în mod discret sub formă de cuante, energia unei cuante fiind dată de:

$$\varepsilon = h \cdot \nu$$

unde h = 6.63 x 10^{-34} Js este constanta lui Planck. Cuantele de energie se măsoară în electron-volți (1 eV = 1.6 x 10^{-19} J)

După cum se observă din tabelul următor doar o anumită parte a spectrului electromagnetic este observabil de la suprafața pământului.Aceste porțiuni poartă numele de fereastra optică (350 nm – 1000 nm) şi fereastra radio (1 cm -20m), pentru aceste ferestre dezvoltându-se aparatură de cercetare optică (lunete, telescoape optice) şi radio (radiotelescoape)

Structură şi Evoluție Stelară - Introducere

Tabelul 1

Spectrul radiațiilor electromagnetice și metodele de cercetare în diferitele domenii ale spectrului

Domeniul spectrului	Lungimile de undă	Trecerea prin atmosfera terestră	Metode de cercetare	Receptori de radiație
Raze γ	<0,01 nm	Absorbție puternică: N, O, N_2, O_2, O_3 și alte molecule din atmosferă	Metode extra-atmosferice (sateliți artificiali, rachete cosmice)	Numărători de fotoni, camere de ionizare, emulsii foto, luminofoare
Raze X (Roentgen)	0,01—10 nm			
Radiații ultraviolete	10—390 nm	Adsorbție puternică: O_3, O_2, N_2	Metode extra-atmosferice. Parțial de la sol	Numărători, camere, emulsii foto, parțial fotocatozi
Radiații vizibile (lumina)	390—760 nm (violet) (roșu)	Absorbție slabă	De la sol (lunete, telescoape)	Ochiul, placa fotografică, celula fotoelectrică, fotomultiplicatorul
Radiații infraroșii	0,76—15 μ (infraroșul apropiat)	Benzi dese de absorbție: H_2O, CO_2 și alte molecule	Parțial de la sol. Din aerostate	Bolometre, termocuple, fotorezistențe, plăci fotografice speciale, fotomultiplicatori speciali
	15μ—1 mm (infraroșul îndepărtat)	Absorbție moleculară puternică	Din aerostate	
Unde radio	1 mm—20 m	Trec prin atmosferă la lungimile de undă: 1 mm; 4,5 mm; 8 mm și între 1 cm—20 m	De la sol (radiotelescoape)	Receptori radio foarte sensibili
	>20 m	Absorbție și reflexie în ionosferă	Nu sînt accesibile de la sol. Din sateliți artificiali și rachete cosmice s-au înregistrat unde radio ale unor surse cosmice cu λ≫ 20 m.	

În funcție de domeniile spectrului electromagnetic s-au dezvoltat:

Radioastronomia

- undele radio sunt emise în general de obiecte "reci"(gaz interstelar, nori de praf)
- descoperiri: radiația relictă, pulsarii
- necesitatea unor radiotelescoape (sau baterii de radiotelescoape foarte mari)

Astronomia în infraroşu

- observații din baloane, avioane, sateliți
- studiul planetelor
- studiul obiectelor "reci"

Astronomia optică

- astronomia clasică (lunete, telescoape)
- telescopul spațial Hubble (evitarea atmosferei)

Astronomia în UV, raze X, raze γ

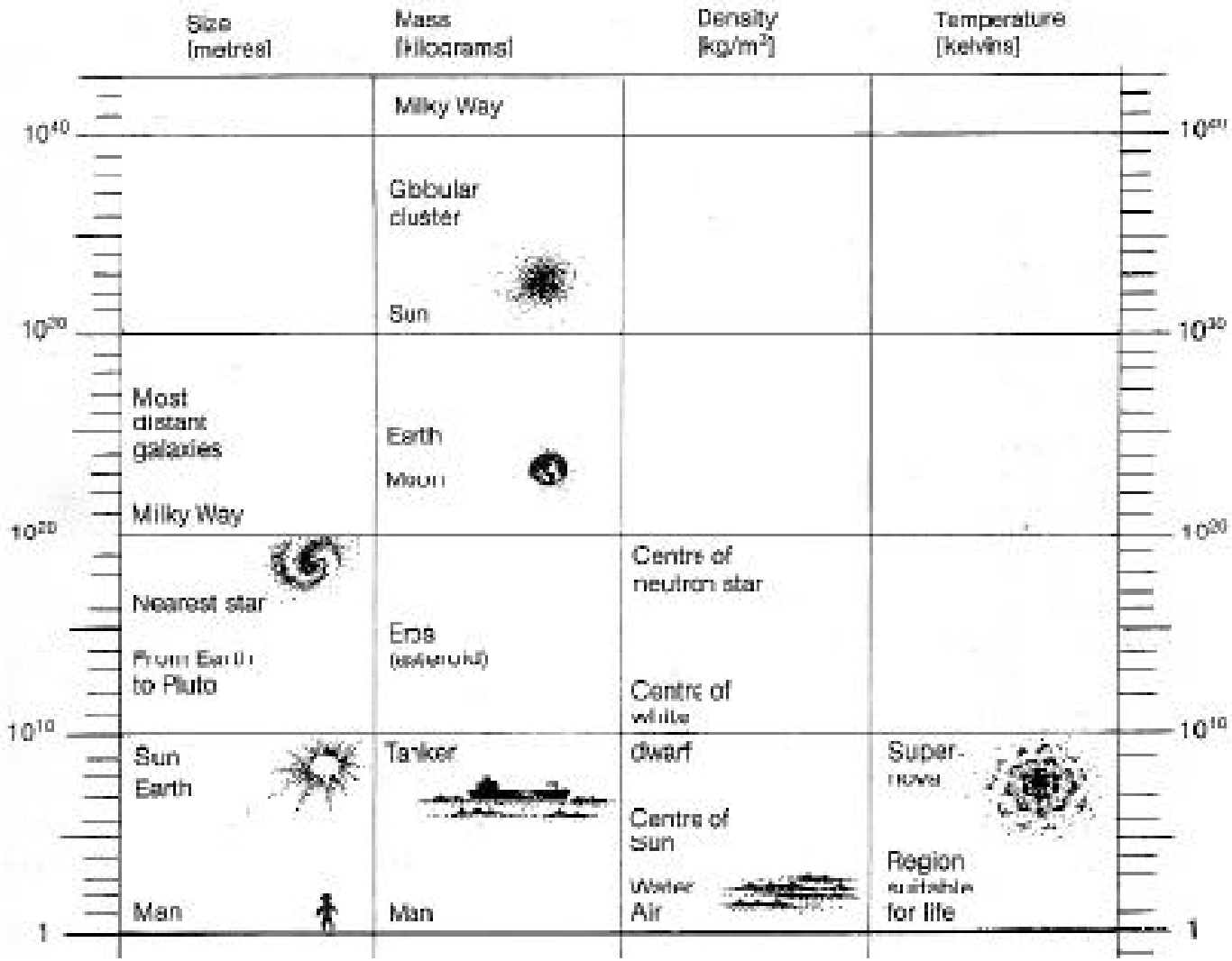
- studiul proceselor ce implică cantități mari de energie(găuri negre, procese explozive)

Astrofizica teoretică

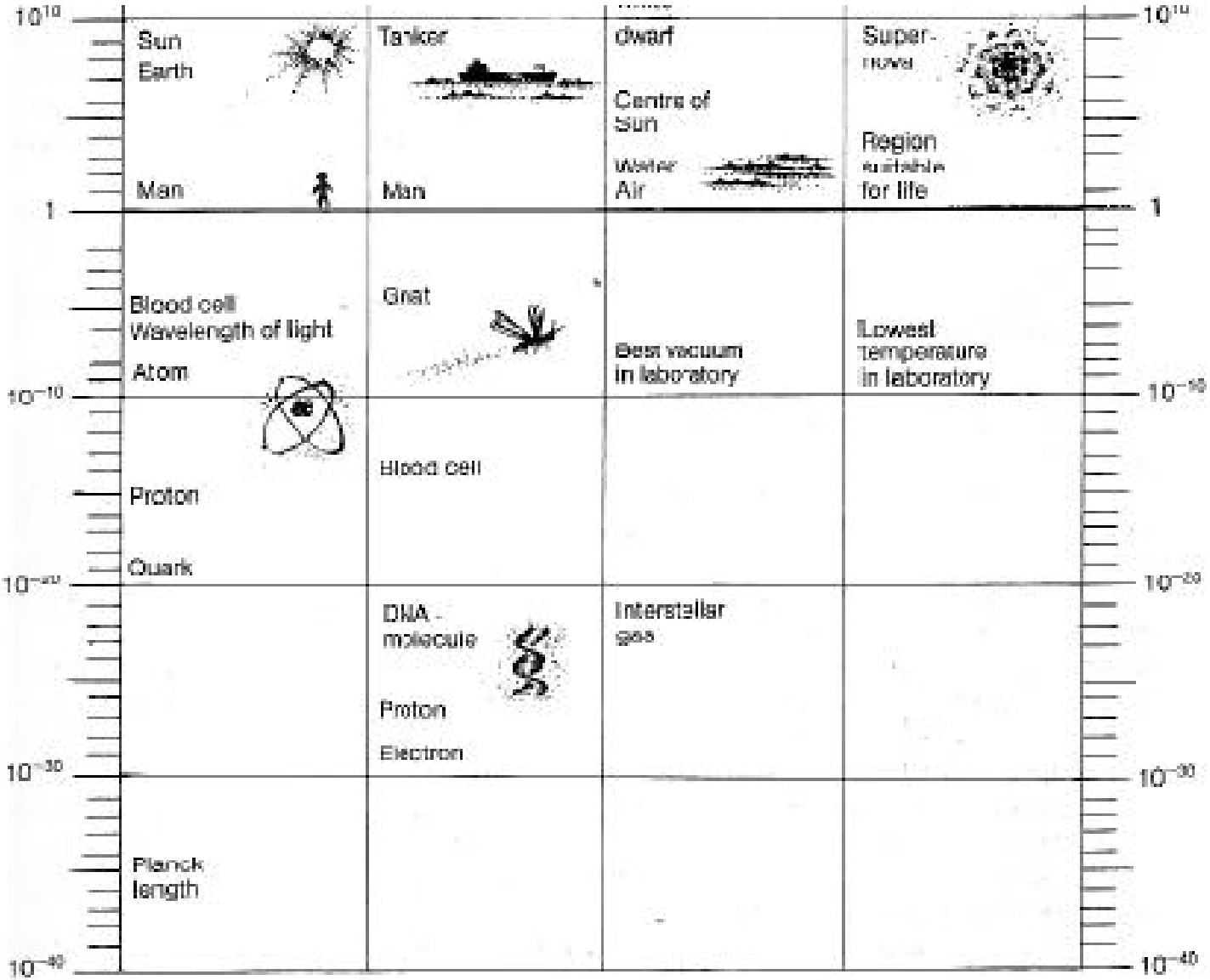
Astrofizica teoretică foloseşte o largă varietate de modele şi metode matematice precum şi metode numerice pentru a valida observațiile astronomice sau pentru a explica fenomenele fizice. Include dinamica şi evoluția stelară, formarea galaxiilor, relativitate, cosmologie, etc.

Procesul fizic	Metoda experimentală	Modelul teoretic	Explică/Prezice
Gravitația	Radiotelescoapele	Teoria gravitației	Formarea sistemelor stelare
Fuziunea nucleară	Spectroscopia	Evoluția stelară	Strălucirea stelelor, formarea metalelor
Big Bang	Telescopul Hubble	Expansiunea universului	Vârsta universului
Colapsul gravitațional	Astronomia în raze X	Teoria relativității	Găurile negre

Structură şi Evoluție Stelară - Introducere



Structură şi Evoluție Stelară - Introducere



Scara Universului

Mărimile (masă, distanță, timp, temperatură) ce caracterizează obiectele astronomice sunt în general enorme sau au variații între limite mult mai mari decât cele care pot fi obținute în laboratoarele terestre.

Ex:

- cea mai mare densitate
  - pe Pământ : Osmiu (22500 kg/m^3)
  - stele neutronice: (~10^{18} kg/m^3)

- cea mai mică densitate
  - cel mai bun vid obținut pe Pământ (10^{-9} kg/m^3)
  - spațiul interstelar (10^{-21} kg/m^3)

Scala Universului (continuare)

Ex:

- timpul necesar parcurgerii distanței de către lumină

Observator	Obiect	Timpul	Observații
Pământ	Luna	1.3 ”	distanța Luna-Pământ este 384,399 km
	Soarele	8 ’	
	Pluto	5 h 30 ‘	cea mai îndepărtată planetă
	Proxima Centauri	4 y	cea mai apropiată stea
	Centrul Galaxiei	20,000 y	
	Norul lui Magelan	150,000 y	Omul din Neanderthal trăia pe Pământ, cea mai apropiată galaxie
	Andromeda	2,000,000 y	A apărut Homo Habilis
	Quasarii		Soarele nu era născut când a fost emisă radiația

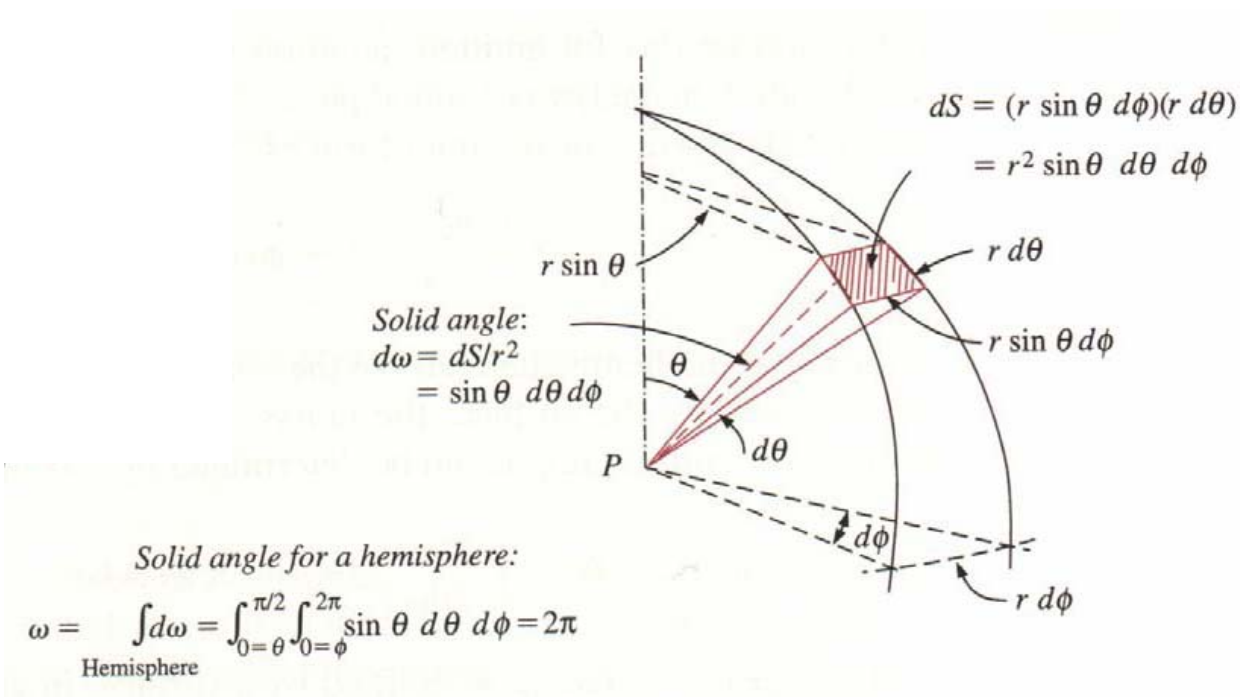
Intensitate. Flux. Intensitate medie pe discul aparent

Unghi solid: considerăm un con cu înălțimea *d* şi aria bazei *A.* Numim unghi solid mărimea:

$$\omega = A / d^2 \,,\ [\omega]_{SI} = \text{sr (sterradian)}$$

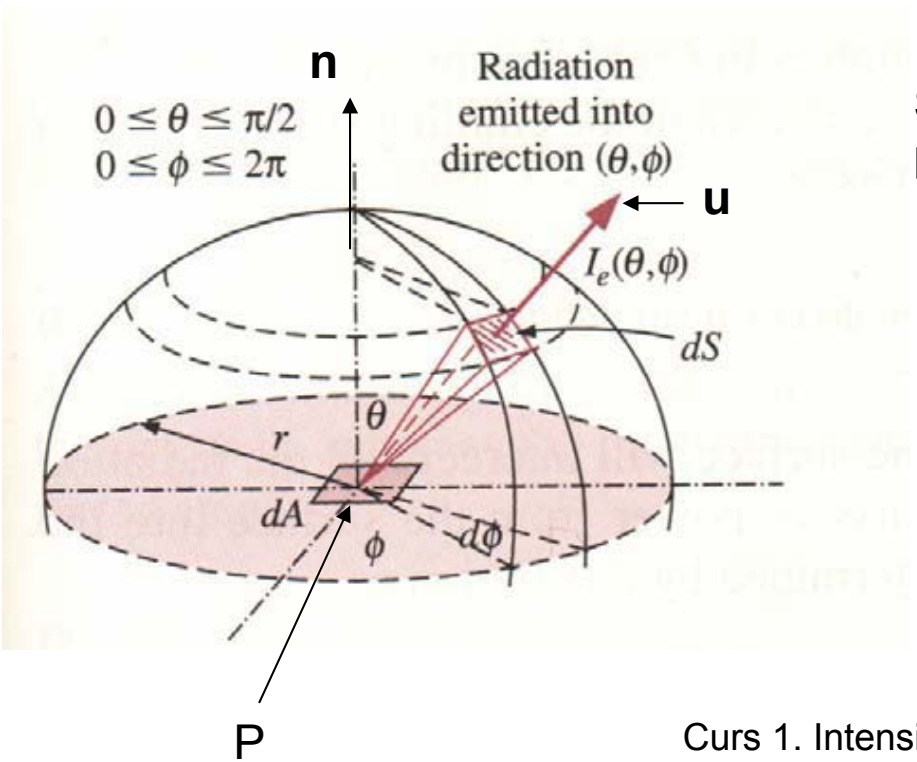
Obs: 1. Un sr corespunde unei arii de mărime 1 aflată la distanța 1.

2. Deoarece aria unei sfere este $4\pi R^2$, iar raza este R, atunci unghiul solid pentru o sferă este de 4π



Considerăm un element de arie *dA* în jurul punctului P, pe suprafața unui astru, **n** fiind normala la suprafață. Prind *dA* trec radiații de toate lungimile de undă, în toate direcțiile. Considerăm o direcție de versor **u**(θ, ϕ). Experimental se dovedeşte că energia radiațiilor cu frecvența în intervalul [ν,ν+$d\nu$], care trec prin elementul de arie *dA*, în interiorul unui trunchi de con de unghi solid $d\omega$, având ca şi axă pe **u,** generatoarea sprijinidu-se pe frontiera elementului de arie *dA*, în intervalul de timp *dt* este:

$$d\varepsilon_\nu \approx dA\cos\theta\, d\omega\, d\nu\, dt \qquad (1)$$



Sau considerându-se un coeficient de proporționalitate:

$$d\varepsilon_\nu = I_\nu dA\cos\theta\, d\omega\, d\nu\, dt \qquad (2)$$

unde I_ν depinde de proprietățile fizice ale materiei care radiază şi se numeşte <u>intensitate specifică</u>

Din (2) avem: $$I_\nu = \frac{d\varepsilon_\nu}{dA\cos\theta\, d\omega\, d\nu\, dt} \qquad [I_\nu]_{SI} = W/m^2 \cdot sr \cdot Hz$$

Sau refăcând raționamentul în raport cu lungimea de undă, λ:

$$I_\lambda = \frac{d\varepsilon_\lambda}{dA\cos\theta\, d\omega\, d\lambda\, dt} \qquad [I_\lambda]_{SI} = W/m^2 \cdot sr \cdot \mu$$

(2)

Se observă că I_λ depinde de punct şi de direcție, adică:

$$I_\lambda = I_\lambda(x, y, z, \theta, \phi)$$

Dacă I_λ nu depinde de punct câmpul de radiație se numeşte <u>omogen:</u>

$$I_\lambda = I_\lambda(\theta, \phi)$$

Dacă I_λ nu depinde de direcția **u** câmpul de radiație se numeşte <u>izotrop</u>. In general intensitatea nu este izotropă, dar se poate considera:

$$I_\lambda = I_\lambda(\theta)$$

Definiție: Cantitatea de energie transportată de radiație prin unitatea de suprafață a astrului, în unitatea de timp, într-un interval $d\lambda$ în interiorul unui unghi solid $d\omega$ se numeşte flux specific elementar

$$d\mathcal{F}_\lambda = \frac{d\varepsilon_\lambda}{dA d\lambda\, dt} \quad \text{sau din (2)} \quad d\mathcal{F}_\lambda = I_\lambda \cos\theta\, d\omega \qquad (3)$$

Stiind ca (vezi pagina 10)

$$d\omega = \sin\theta\, d\theta d\phi \qquad (4)$$

şi integrând (3) după toate direcțiile ce trec printr-un punct dat, adică pe domeniul:

$$\Omega = \{(\theta,\varphi) | 0 \le \theta \le \pi, \theta \le \phi \le 2\pi\} \qquad (5)$$

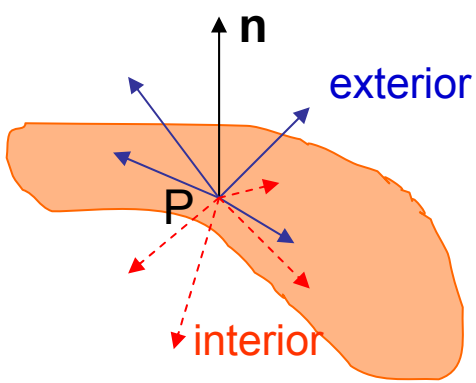
obținem fluxul specific:

$$\mathcal{F}_\lambda = \int I_\lambda \cos\theta\, d\omega = \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} I_\lambda \cos\theta \sin\theta\, d\theta d\phi \qquad [\mathcal{F}_\lambda]_{SI} = W/m^2\mu$$

$$\Omega \overset{not.}{=} 4\pi \qquad (6)$$

În funcție de direcțiile “exterioare” sau “interioare” fluxul $\mathcal{F}_\lambda$ dat de (6) se poate scrie:

$$\mathcal{F}_\lambda = \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\frac{\pi}{2}} I_\lambda \cos\theta \sin\theta \, d\theta \, d\phi + \underbrace{\int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=\frac{\pi}{2}}^{\pi} I_\lambda \cos\theta \sin\theta \, d\theta \, d\phi}_{-\mathcal{F}_\lambda^-} = \mathcal{F}_\lambda^+ - \mathcal{F}_\lambda^- \qquad (7)$$



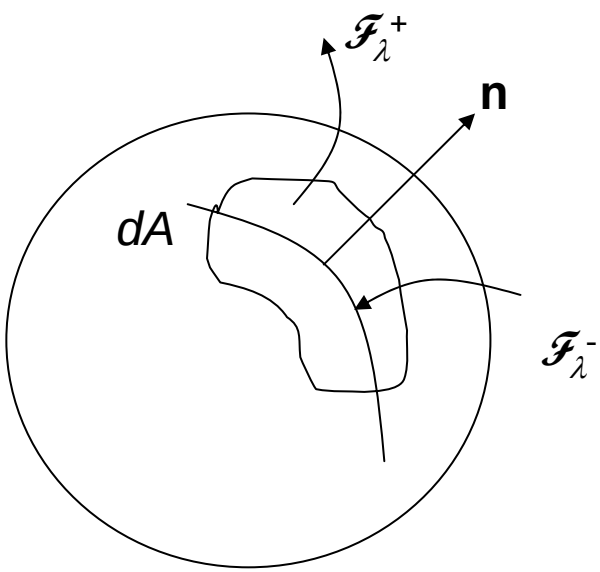
Flux specific spre exterior

Flux specific spre interior

Obs1: Într-un câmp de radiație izotrop: $\mathcal{F}_\lambda = 0$

Obs2: La suprafața unui astru se poate considera $\mathcal{F}_\lambda^- = 0$

şi avem $$\mathcal{F}_\lambda = \mathcal{F}_\lambda^+ \overset{def}{=} H_\lambda \qquad (8)$$



Marimea H_λ senumeşte flux specific spre exterior sau flux emergent. Dacă:

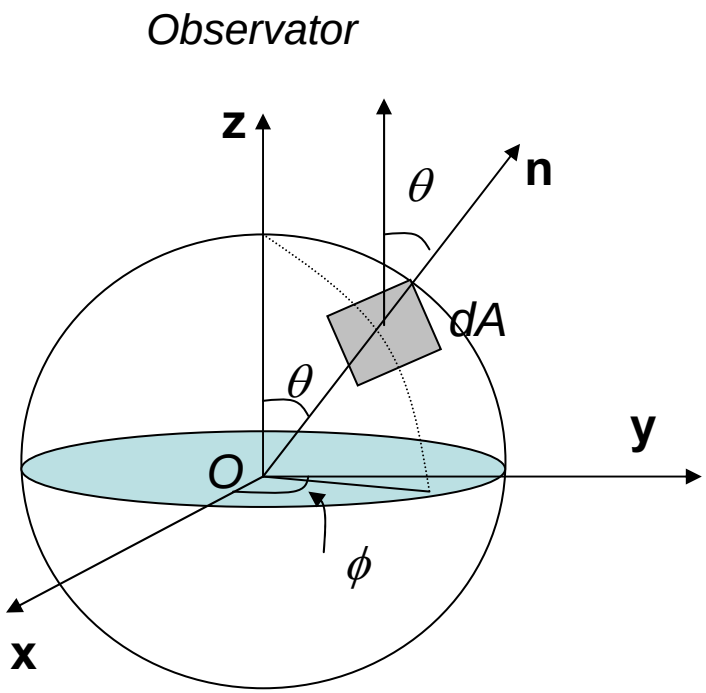
$$I_\lambda = I_\lambda(\theta)$$

Din (7) şi (8) avem:

$$H_\lambda = 2\pi \int_0^{\frac{\pi}{2}} I_\lambda(\theta) \cos\theta \sin\theta \, d\theta \qquad (9)$$

iar dacă radiația este izotropă (nu depinde nici de θ) din (9) avem: $$H_\lambda = \pi I_\lambda \qquad (10)$$

Considerăm un sistem rectangular *Oxyz* cu originea *O* în centrul astrului cu axa *Oz* îndreptată spre observator. Considerăm un element de arie *dA* cu normala **n** care face unghiul θ cu *Oz.* Proiecția arie *dA* într-un plan perpendicular pe raza vizuală va fi *dA*cosθ.



Definim intensitatea specifică medie pe discul astrului :

$$\bar{I}_\lambda = \frac{\int_\Sigma I_\lambda \cos\theta dA}{\int_\Sigma \cos\theta dA} \qquad (11)$$

Unde Σ este emisfera vizibilă astrului, considerat sferic. Ştiind ca elementul de suprafață în coordonate sferice este dat de:

$$dA = R^2 \sin\theta \, d\theta \, d\phi \qquad (12)$$

$$\left(0 \le \theta \le \pi/2, \quad 0 \le \phi \le 2\pi\right)$$

avem:

$$\bar{I}_\lambda = 2\int_0^{\frac{\pi}{2}} I_\lambda(\theta)\cos\theta\sin\theta\, d\theta \qquad (13)$$

Din (9) şi (13) obținem:

$$H_\lambda = \pi\, \bar{I}_\lambda \qquad (14)$$

Până în acest moment mărimile au fost calculate pentru o lungime de undă specifică. Pentru a onține mărimile totale, integrale, trebuie să integrăm pe întreg spectrul. Astfel avem:

- intensitatea integrală

$$I = \int_0^{\infty} I_\lambda d\lambda \qquad (15)$$

• fluxul integral spre exterior

$$H = \int_0^\infty H_\lambda d\lambda \underset{(14)}{=} \int_0^\infty \pi \bar{I}_\lambda d\lambda = \pi \int_0^\infty F_\lambda d\lambda = \pi \bar{I} = \pi F \qquad (16)$$

unde F_λ este <u>fluxul specific mediu</u> spre exterior:

$$F_\lambda = \frac{\int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi/2} I_\lambda \cos\theta \sin\theta d\theta d\phi}{\int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi/2} \cos\theta \sin\theta d\theta d\phi} \underset{(11)}{=} \bar{I}_\lambda \qquad (17)$$

Din (14) şi (17) avem: $$H_\lambda = \pi F_\lambda \qquad (18)$$

Avem de asemenea:

$$\bar{I} = \int_0^\infty \bar{I}_\lambda d\lambda \underset{(18)}{=} \int_0^\infty F_\lambda d\lambda = F \qquad (19)$$