

Stelle e pianeti artificiali per esperimenti di ottica ondulatoria al telescopio

Costantino Sigismondi

(ICRA/Sapienza Università di Roma and ITIS G. Ferraris)

Abstract

Pointing a laser beam on a diaphragm of 1mm at 1m of distance can be obtained a diffraction pattern of about 2cm at 6m. The diaphragm reduces the angular opening of the beam to 200". The diffraction pattern angular opening results of 700", but the point-like nature of the source is far from being obtained with the diaphragm. An artificial star is obtained by using a metal sphere of 5mm, located at 50m of distance from us. When the sphere is illuminated in a cloudy day, the reflected light comes from all surface, yielding a source of 20" (artificial planet) while when the day is clear the light comes only from the Sun and the dimension of the reflected image is 2.5/100mm, and its angular dimension becomes 0.1" (artificial star). Observing with a telescope these sources it is possible to see stellar diffraction patterns in daytime, suitable for school lessons. The artificial planet does not show diffraction. The distinction between Uranus, Neptune and background stars can be successfully seen with a 76mm objective telescope: their angular dimensions, 3", are big enough to not have Airy rings, visible on same magnitude stars.

Introduzione

La diffrazione della luce permette ai raggi luminosi di aggirare gli ostacoli e perdere la loro collimazione nell'entrare nell'obbiettivo di un telescopio. Una sorgente puntiforme posta a distanza infinita dall'obbiettivo manda raggi paralleli all'asse ottico, e le regole dell'ottica geometrica mostrano come questi raggi vengano focalizzati in un solo punto, detto fuoco. La diffrazione rompe questo parallelismo generando una deflessione $\theta \approx \lambda/D^1$ che per un telescopio di $D=76\text{mm}$ in luce visibile, con $\lambda=520\text{ nm}$, vale $\theta \approx 7 \cdot 10^{-3}$ radianti cioè $\theta=0.4''$.

1 La formula esatta $\theta=1.22\lambda/D$ per il raggio del disco centrale di Airy.

Diffrazione e diametro angolare apparente

Una stella ha un diametro angolare molto inferiore al raggio del disco centrale di Airy $\theta=0.4''$,² ma la diffrazione genera un dischetto di queste dimensioni angolari, attorno a cui si può osservare anche un sottile primo anello di diffrazione di raggio doppio, ed altri anelli via via più deboli, se il telescopio è molto ben collimato e le condizioni osservative perfette.

Urano o Nettuno hanno un diametro angolare geometrico attorno a $3''$, 7 volte il disco di Airy per un telescopio di 76mm di apertura, non si osservano più i dischi di diffrazione.

Per il principio di sovrapposizione ogni punto del disco planetario produce una sua figura di diffrazione; il risultato della combinazione di tutti i dischi con relativi anelli è un disco di diametro $0.8''$ maggiore di quello geometrico del pianeta, ma la zona nera tra disco e primo anello che si potrebbe osservare al bordo del pianeta è ricoperta dagli anelli generati dai punti immediatamente interni al bordo planetario. Questo fa sì che gli anelli spariscano, e l'informazione sull'estensione angolare del pianeta maggiore di quella di una stella di pari magnitudine è evidente dalla mancanza dei dischi di Airy. Si può dimostrare graficamente che gli anelli di Airy si perdono per diametri angolari della sorgente $\theta > \lambda/D$.

-
- 2 La stella brillante più vicina, *Rigel Kent* o alfa Centauri, a 4.3 anni luce da noi, è poco più distante di 1 Parsec, da cui la distanza Terra-Sole, 1 UA, appare sotto un angolo di $1''$. Geometricamente la tangente di $1''$, pari ad $1/3600^\circ$, è pari al rapporto $1/206265=1\text{UA}/1\text{pc}$. Il diametro angolare medio del Sole è pari a $32'$ o $1920''$, alla distanza di alfa Centauri apparirebbe sotto un angolo di $0.007''$. Solo la stella supergigante *Betelgeuse* arriva ad un diametro angolare di $\theta=0.047''$, misurato con l'interferometro di 3m da Michelson e Pease al telescopio di Mt Wilson nel 1920. (Dorrit Hoffleit, *Bright Stars Catalogue*, Yale University Observatory, 1982, p. 391, e C. A. Chant, J. of the Royal Astron. Soc. of Canada, Vol. 15, 1921, p.133). La diffrazione da telescopi di diametro inferiore a 2m è maggiore del diametro angolare delle stelle.

I casi di Urano e Nettuno e dei satelliti di Giove e Saturno

Urano e Nettuno³ hanno diametri angolari tra 2" e 3" e sono perciò adatti per verificare la loro natura "planetaria" dall'assenza delle figure di Airy. Anche i quattro satelliti Galileiani e Titano di Saturno, Cerere e Vesta, tutti visibili anche con un telescopio di 76mm, sono corpi di diametro sufficientemente grande per verificare questa proprietà. Titano e Ganimede hanno $\theta=0.7''$ e $1.3''$, Cerere e Vesta $\theta=0.5''$ e $0.3''$.

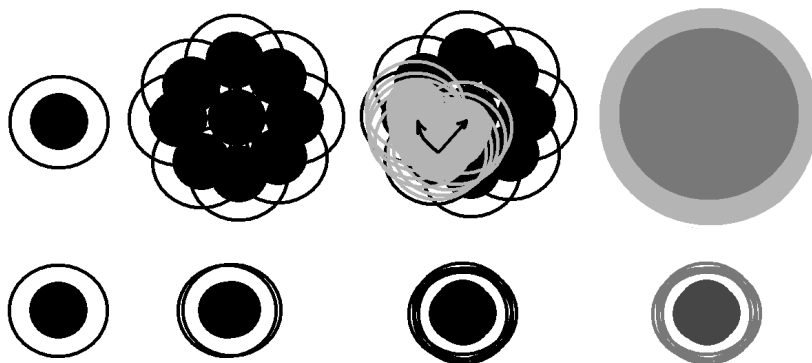


Figura 1. A sinistra la Point-spread function, PSF, di un'apertura circolare, ossia la figura di diffrazione di una sorgente puntiforme vista attraverso l'obbiettivo circolare di un telescopio. Si è rappresentato solo il primo anello di diffrazione; il diametro del disco centrale di Airy vale $\theta \sim \lambda/D$. Sopra, da sinistra a destra si vede il risultato progressivo della sovrapposizione di PSF elementari per ciascun punto di una sorgente S1 di diametro angolare $\theta = \lambda/D$. Sotto la sorgente S2 ha un diametro angolare $\theta = 0.1\lambda/D$. S1 appare come un disco sfumato ai bordi largo 4 volte il diametro geometrico originale $\theta = 4\lambda/D$, nel caso di S2 gli anelli di diffrazione restano visibili; per un telescopio di 76mm di obbiettivo a $\lambda = 520 \text{ nm}$ $\theta = 0.1\lambda/D = 0.04''$. La stella Betelgeuse dal diametro angolare $\theta = 0.047''$ mostra gli anelli di diffrazione, mentre Titano $\theta = 0.7''$ no.

3 Osservati a Lanciano con un Newton 76/700 a 175x: sono identici alle stelle di uguale luminosità, tranne che per l'assenza di anelli di Airy.

Stelle artificiali per collimare i telescopi

Usando delle palline di acciaio di 5 mm di diametro a 50 metri di distanza, nel caso di cielo sereno, con cielo azzurro, l'immagine sulla sfera riflettente del Sole ha dimensioni $2.5/100$ mm, cioè $R/100$, dove R è il raggio della sferetta e $\theta \sim 1/100$ è l'angolo in radianti sotto cui si vede il Sole da Terra.

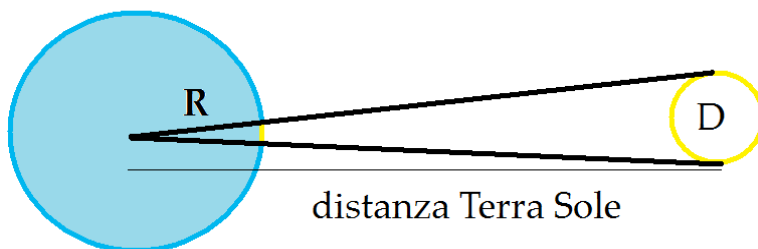


Fig. 2 La dimensione dell'immagine del Sole sulla sferetta di acciaio.

Nel caso di cielo nuvoloso, la luce del Sole è sparpagliata su tutto il cielo, e la sferetta riflette il cielo su tutta la sua superficie, dunque l'immagine luminosa è larga 5mm.

Nel caso con Sole l'immagine vista da 50m sottende un angolo di $\theta \sim 2.5/100/50000 \text{ rad} = 0.1''$, mentre con le nubi $\theta \sim 5/50000 \text{ rad} = 20''$. Così abbiamo una sorgente puntiforme quasi stellare, la "stella artificiale", che mostra la sua PSF ed una estesa di tipo planetario, con $\theta \sim 20''$, senza gli anelli di diffrazione. La collimazione dei telescopi stelle artificiali sfrutta la simmetria delle figure di diffrazione.

Conclusioni

L'osservazione degli anelli di diffrazione da sorgente puntiforme attraverso un obbiettivo di diametro dato è un'esperienza di ottica ondulatoria cruciale in Astronomia. Urano, Nettuno e i satelliti Galileiani e Titano non li mostrano per la loro dimensione angolare rilevante, rispetto alle stelle.