

L'effetto di oscuramento al bordo nelle atmosfere stellari

Luigi Costantini

A.A. 2021/2022

Long abstract

L'effetto di oscuramento al bordo consiste in una diminuzione dell'intensità luminosa tra centro del disco e bordo stellare. Per poter trattare le atmosfere stellari, è necessario introdurre il concetto di intensità specifica monocromatica, ossia dell'energia trasportata dalla radiazione per unità di tempo, superficie, angolo solido e frequenza; tale grandezza, in generale, dipenderà dalla posizione, dalla direzione di propagazione e dal tempo. A differenza del vuoto, dove c'è invarianza dell'intensità specifica lungo un raggio, in un mezzo la presenza di fenomeni di assorbimento ed emissione modificherà il valore di tale grandezza: l'equazione generale che permette di ricavare l'intensità specifica monocromatica è l'equazione del trasporto. In ambiti stellari è possibile riscrivere l'equazione del trasporto nell'approssimazione di atmosfera a piani paralleli e di invarianza temporale: la soluzione di tale equazione sarà dunque dipendente dalla posizione, espressa tramite profondità ottica, e dall'angolo di emersione del raggio dalla superficie. La dipendenza della soluzione trovata dai coefficienti di assorbimento ed emissione monocromatici, racchiusi in un termine detto "di sorgente", impedisce una soluzione analitica del problema. Una notevole semplificazione è possibile grazie all'introduzione dell'approssimazione di atmosfera grigia, secondo cui le proprietà di assorbimento delle atmosfere stellari non dipendono dalla frequenza. In questo caso possiamo ricavare i momenti di ordine zero ed uno dell'equazione del trasporto, i quali dipenderanno dal flusso della radiazione. Nell'ipotesi di equilibrio radiativo, ossia in assenza di pozzi o sorgenti di energia, il flusso sarà costante, e questo consente di arrivare ad una semplificazione dei momenti di ordine zero ed uno dell'equazione del trasporto. Si rende a questo punto utile un'ulteriore approssimazione, detta di Eddington, che consiste nell'assumere come valida la condizione di equilibrio termodinamico locale in ogni regione della stella. Sappiamo tuttavia che, mentre l'approssimazione è corretta negli interni stellari, con l'avvicinarsi alla superficie la condizione di equilibrio termodinamico locale risulta invalidata. Grazie all'approssimazione di Eddington è possibile trovare una dipendenza dell'intensità specifica monocromatica dall'angolo di emersione del raggio luminoso rispetto alla superficie stellare. Tale equazione prevede un andamento dell'intensità specifica lineare con

il coseno dell'angolo di emissione dei fotoni rispetto alla superficie, con una riduzione al bordo del 40% rispetto al centro del disco stellare. È tuttavia possibile ottenere un modello più accurato non introducendo l'approssimazione di Eddington: tale soluzione, nelle zone prossime al bordo, si discosta dalla previsione ottenuta imponendo la condizione di equilibrio termodinamico locale. Pur considerando questa correzione, l'andamento dei dati sperimentali raccolti a partire dal disco solare non è correttamente riprodotto dal modello teorico: la ragione di questa deviazione risiede nel fatto che le atmosfere stellari non sono grigie, e dunque nelle zone prossime al bordo il cammino ottico medio dei fotoni è fortemente dipendente dalla frequenza.