

L'aberrazione della luce nel transito di Mercurio sul Sole

Costantino Sigismondi (*ICRA/Sapienza e ITIS G. Ferraris, Roma*)

submitted March 11, 2019; accepted November 11, 2019

Abstract The Explanatory Supplements (p.134-135) about the transit of Mercury and that relativistic effect are explained.

Seguendo gli Explanatory Supplements (p. 134-135) la cui traduzione letterale riporta: "i contatti interni avvengono quando il bordo del pianeta è tangente al cono visuale del Sole da una certa stazione osservativa, ed il cono è spostato [verso Ovest] a causa dell'aberrazione" provo a spiegare quantitativamente la cosa, spostando poi l'attenzione sulla comparazione tra le effemeridi Horizon della NASA, e quelle del programma Excel di Fred Espenak, quelle di calsky.com e quelle di IMCCE di Parigi, per una data posizione dell'osservatore.

Il Sole e l'aberrazione della luce

Noi osserviamo il Sole, al meridiano, muoversi verso Ovest di moto diurno, e verso Est di moto diretto (annuale) rispetto alle stelle fisse. Il moto diurno è effetto della rotazione della Terra su se stessa, mentre quello diretto è il prodotto della rivoluzione annuale della Terra attorno al Sole (di fatto al centro di massa del Sistema Solare).

Questo moto produce un'aberrazione della luce solare di 20.5" verso Ovest.

Per effetto della nostra velocità orbitale media di 29.8 km/s verso Ovest, il Sole ci appare spostarsi di circa 1° al giorno verso Est, ma la sua luce appare provenire da un angolo spostato verso Ovest di $\odot = 57.28^\circ \cdot 3600'' / 29.8 / 299792.5 = 20.497''$

L'aberrazione della luce, scoperta da James Bradley a Greenwich nel 1727, è un fenomeno relativistico, che si può capire in modo soddisfacente immaginando che al posto della luce ci sia la pioggia. Se questa cade in verticale, ma noi camminiamo in avanti, dobbiamo inclinare l'ombrello in avanti di un angolo che dipende dal rapporto delle due velocità: la nostra e quella della

pioggia. E questo è stato fatto, nell'approssimazione di angoli molto piccoli, e convertendo i radianti in gradi e i gradi in secondi d'arco, nell'equazione per l'angolo θ .

Mercurio e l'aberrazione della luce

Abbiamo due casi di transiti planetari, con Mercurio al perielio (Novembre) e con Mercurio all'afelio (Maggio). Nel primo caso Mercurio è più vicino al Sole e più lontano da noi, e ci appare sotto un angolo di 10", mentre nei transiti di Maggio Mercurio è più vicino a noi ed il suo angolo visuale vale 12".

In entrambi i casi si tratta di una quantità molto piccola, come abbiamo potuto vedere durante l'ultimo transito dell'11 Novembre 2019, rispetto al Sole il cui diametro valeva 1930". Ci appare come poco più di un punto su un'immagine di 15 cm di diametro come quella che avevamo proiettato al Centro di Astrofisica Relativistica di Pescara ICRANet con il telescopio rifrattore 100/1000 Antares, senza filtri.

L'orbita di Mercurio è abbastanza eccentrica (è un termine tolemaico, ma serve per descrivere ellissi più o meno schiacciate) da presentare velocità orbitali sensibilmente differenti tra perielio ed afelio, mentre per la Terra possiamo considerare 29.8 km/s una costante. In particolare nei transiti di Maggio Mercurio viaggia più lentamente a 38,86 km/s ed è più vicino a noi, all'inverso per Novembre (a 58,98 km/s). La durata dei transiti però è press'a poco la stessa. Per non appesantire con troppi conti mi riferirò, pertanto, alla velocità media di Mercurio: 47.36 km/s.

Nel transito di Mercurio sul Sole, il pianeta entra da Est ed esce verso Ovest, ciò significa che la sua velocità relativa rispetto alla Terra è di circa 18 km/s verso Ovest. Dunque, per la relatività dei moti, possiamo immaginare che siamo noi ad andare verso Est alla stessa velocità. L'aberrazione della luce sul disco (nero) di Mercurio farà sì che questo ci appaia spostato verso Est (aberrato) di circa 12".

Combinazione delle due aberrazioni

Il Sole è sempre aberrato verso Ovest di 20.5", Mercurio al transito è aberrato verso Est di 12", con una fluttuazione del 25% circa tra perielio ed afelio.

Nelle effemeridi l'aberrazione solare e planetaria è già tenuta in considerazione, per cui automaticamente i risultati sui contatti la includono.

Se non fossero inclusi avremmo delle previsioni che ritarderebbero i contatti fino a 32.5"; poiché la velocità angolare di Mercurio al transito è tale che esso percorre il suo diametro in 3 minuti a Maggio e in 2 minuti a Novembre, il ritardo sarebbe di circa 8 minuti, del tutto misurabile anche con mezzi osservativi "di fortuna", mentre i ritardi/anticipi sono contenuti entro qualche secondo al più.

Confronto tra le effemeridi

Gli Explanatory Supplements servono a spiegare come si calcolano le effemeridi. Noi vogliamo capire quale effemeride è la migliore per poi utilizzare il dato osservativo per ricavare il diametro solare istantaneo.

Tutte le effemeridi dovrebbero usare, per il Sole, un diametro standard, che viene dato dalle *Astrophysical Quantities* pari a 1919.63". È il valore standard ad 1 Unità Astronomica, assunto dall'Unione Astronomica Internazionale, l'IAU, fondata nel 1919. Essendo lo scopo della mia ricerca valutare, mediante i transiti di Mercurio, la variazione rispetto a questo diametro standard, devo conoscere al meglio le previsioni tra i contatti visuali tra questo Sole standard e Mercurio, il cui diametro è fisso, e pari a 5000 km.

La posizione di Mercurio nella sua orbita è pure un dato preciso, che le osservazioni di vari secoli sulla posizione del pianeta ci permettono di definire molto meglio di 1". Infatti già Le Verrier nel 1859 aveva identificato un'anomalia nell'orbita di Mercurio di 42.8" per secolo, in particolare nella longitudine del perielio. La longitudine del perielio è la coordinata lungo l'orbita del pianeta

che ne identifica il punto più vicino al Sole. L'orbita di Mercurio interseca il piano dell'orbita della Terra (eclittica) nei due nodi ascendente e discendente, che hanno una longitudine eclittica (misurata quindi sulla nostra orbita) che si conta dalla posizione dell'equinozio di Primavera pari a $\lambda=0^\circ$.

Ebbene non solo la longitudine dei nodi dell'orbita di Mercurio cambia lentamente con il tempo, ma anche quella del suo perielio, molto più difficile a misurarsi, perché è il risultato di molti calcoli basati su molti dati, affetti ciascuno da un errore di misura dell'ordine di qualche secondo d'arco.

Nelle effemeridi più aggiornate e complete tutti questi dati osservativi contribuiscono a dare una “teoria di Mercurio” ossia un modello del suo moto complicato dovuto al risultato della combinazione delle attrazioni gravitazionali del Sole e dei pianeti, nell'ambito della Relatività Generale. La “teoria di Mercurio” nelle effemeridi rappresenta al meglio che può i dati osservativi disponibili su Mercurio fino ai più recenti. Le effemeridi della NASA/JPL hanno nomi tecnici come DE405, piuttosto che Chapront-Touzé o VSOP87 come quelle sviluppate all'IMCCE di Parigi.

Ogni tanto le effemeridi vengono aggiornate per includere altri dati osservativi ed essere più aderenti ai dati disponibili più precisi.

Il problema è che ciascuna effemeride ha dei pregi e dei difetti, è più aderente a certi dati piuttosto che ad altri, secondo la valutazione dei propri autori, che sono specialisti di Meccanica Celeste e Astrometria. Conoscere le discrepanze tra queste effemeridi per quanto riguarda il transito di Mercurio sul Sole consente di limitare l'incertezza sui modelli con cui andremo a confrontare i dati osservativi.

L'accuratezza potenziale delle effemeridi di oggi è maggiore di quella dei primi anni del 2000, ed ancor di più di quella del 1980, quando Irwin I. Shapiro ridusse i dati dei transiti dei primi tre

secoli di astronomia al telescopio per dedurre il diametro solare. Nel 2002 Sveshnikov rifece la riduzione aggiungendo qualche transito in più e con effemeridi più aggiornate.

Le effemeridi del presente sono più precise di quelle che rappresentano una situazione di 3 secoli fa... rispetto alle quali i dati osservativi disponibili possono accusare (ma non è detto) errori sperimentali maggiori di quelli di oggi.

Referenze

[https://en.wikipedia.org/wiki/VSOP_\(planets\)](https://en.wikipedia.org/wiki/VSOP_(planets))

https://en.wikipedia.org/wiki/Jet_Propulsion_Laboratory_Development_Ephemeris

Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac, Ed. by P. Kenneth Seidelmann, United States Naval Observatory. Nautical Almanac Office, Great Britain. Nautical Almanac Office

University Science Books, (2006). p. 134-135

Appendice: Aberrazione differenziale per i pianeti § 3.257¹

L'aberrazione, a causa della sua dipendenza dai moti relativi e dalle distanze, talvolta ha effetti complicati dove due o più corpi sono in gioco, come, per es. nelle eclissi, nei transiti, e nei fenomeni di sistemi di satelliti, e in alcune occasioni del passato, la determinazione di questi effetti ha presentato un problema intricato.

In un transito di un pianeta sul disco del Sole, ad esempio, i contatti esterni avvengono quando l'osservatore è sulla superficie conica² che circonda il Sole e il pianeta e ha i suoi vertici tra il Sole e il pianeta. Il contatto interno capita quando l'osservatore è sul cono che circonda il pianeta e il Sole avente il suo vertice tra il pianeta e la Terra.

I contatti osservati sono agli istanti in cui le posizioni *apparenti* di

¹ la traduzione in Italiano serve a chiarire il più possibile un testo che, di per sé, non è il massimo della chiarezza. Ho scelto di andare a capo per chiarire meglio le corrispondenze biunivoche tra punti espresse nel testo.

² si tratta di un doppio cono che da una parte ha la base nel disco solare, e dall'altra nel più piccolo disco planetario.

un punto sul lembo del pianeta e un punto sul lembo del Sole sono identiche, cioè il raggio di luce che parte dal Sole e che raggiunge la posizione geometrica dell'osservatore all'istante T del contatto è stato radente al pianeta nel suo percorso. Questo raggio ha lasciato il Sole ad un tempo precedente $T-t_2$ e ha raggiunto il pianeta ad un tempo $(T-t_2)+t_1$.

I coni che circoscrivono sono formati dai raggi radenti; quindi i punti sulla Terra

e il pianeta

che si trovano sulla stessa linea retta su uno dei coni all'istante di un contatto sono rispettivamente:

la posizione geometrica dell'osservatore al tempo T ,

e il punto sul pianeta al tempo $(T-t_2)+t_1$.

Quindi, nelle formule della teoria dei transiti, per ogni valore del tempo T , tutte le quantità dipendenti dal tempo devono essere derivate dai valori delle coordinate geometriche (r , l , n) del pianeta al tempo $(T-t_2)+t_1$

e le coordinate (r' , l' , b') della Terra³ al tempo T .

Analogamente, comparando le posizione osservate degli oggetti nel sistema solare tra di loro, o con stelle di riferimento, al fine di determinare le coordinate di un corpo, gran cura è richiesta nel correggere le osservazioni per l'aberrazione, in accordo con i mezzi di osservazione usati e i metodi di confronto.

Nei sistemi di binarie ad eclisse, una variazione apparente del periodo può essere prodotta dalla variazione del tempo di luce con la distanza dall'osservatore che cambia a causa di un moto orbitale della coppia che si eclissa rispetto ad una terza componente distante (Irwin, 1959).

Referenze

Irwin, John B., *Standard light-time curves*, *Astronomical Journal*, **64**, p. 149 (1959)

³ nel testo originale c'è t , ma ritengo che sia T maiuscola, usata fino ad ora.