



Società Italiana
di Fisica

107° Congresso Nazionale
Società Italiana di Fisica

Galilei e il Sole:

la nascita dell'*imaging* astronomico e la descrizione del moto delle macchie solari

Samuele STRAULINO, Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Firenze

Giuseppe MOLESINI, *già* Istituto Nazionale di Ottica, CNR

Alberto RIGHINI, *già* Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Firenze

Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua (1612).

Galileo descrive per la prima volta le macchie solari, già osservate dal 1610-11.

Aggiungo [...] l'osservazione d'alcune macchiette oscure, che si scorgono nel corpo Solare: le quali, mutando positura in quello, porgono grand'argomento, ò che 'l Sole si rivolga in sé stesso, ò che forse altre Stelle, nella guisa di Venere, e di Mercurio, se gli volgano intorno, invisibili in altri tempi per le piccole digressioni, e minori di quella di Mercurio, e solo visibili, quando s'interpongono tra 'l Sole, e l'occhio nostro, ò pur danno segno, che sia vero e questo e quello; la certezza delle quali cose non debbe dispregzarsi, ò trascurarsi.

Annomi finalmente le continuate osservazioni accertato, tali macchie esser materie contigue alla superficie del corpo solare, e quivi continuamente prodursene molte, e poi dissolversi, altre in più brevi ed altre in più lunghi tempi, ed esser dalla conversione del Sole in sé stesso, che in un mese Lunare in circa finisce il suo periodo, portate in giro; accidente per sé grandissimo, e maggiore per le sue conseguenze.

La seconda parte del testo, identificata con un carattere di stampa diverso, è stata aggiunta nella seconda edizione, pubblicata nell'autunno dello stesso anno.

Lettera a Maffeo Barberini in Bologna (2 giugno 1612)

Credo che haverà inteso il romore che va a torno in proposito delle macchie oscure che continuamente si scorgono et osservano con l'occhiale nel corpo del sole; e perché di costì mi viene scritto che huomini di molta stima di cotesta città se ne burlano come di paradosso et assurdo gravissimo, mi è parso di toccare brevemente a V. S. Ill.^{ma} quanto passa circa a questo negozio.

Sono circa a diciotto mesi, che riguardando con l'occhiale nel corpo del sole, quando era vicino al suo tramontare, scorsi in esso alcune macchie assai oscure; e ritornando più volte alla medesima osservazione, mi accorsi come quelle andavano mutando sito, e che non sempre si vedevano le medesime, o nel medesimo ordine disposte, e che tal volta ve n'eron molte, altra volta poche, e tal ora nessuna. Feci ad alcuni mia amici vedere tale stravaganza, e pur l'anno passato in Roma le mostrai a molti prelati et altri huomini di lettere; di lì fu sparso il grido per diverse parti d'Europa [...].

Nel marzo 1612 l'astronomo Cristoph Scheiner, tramite Markus Welser, invia a Galileo tre lettere sulle macchie solari con lo pseudonimo "Apelles latens post tabulam"), a cui Galileo risponde allo stesso modo con tre lettere, poi raccolte nell'*Istoria*.



Cristoph Scheiner

*Apelles latens post tabulam,
vel si mauis,
Ulysses sub Aiakis clypeo.*

ISTORIA
E DIMOSTRAZIONI
INTORNO ALLE MACCHIE SOLARI
E LORO ACCIDENTI
COMPRESSE IN TRE LETTERE SCRITTE
ALL'ILLVSTRISSIMO SIGNOR
MARCO VELSERI LINCEO
DVVMVIRO D'AVGVSTA
CONSIGLIERO DI SVA MAESTA CESAREA
DAL SIGNOR
GALILEO GALILEI LINCEO
*Nobil Fiorentino, Filosofo, e Matematico Primario del Sereniss.
D. COSIMO II. GRAN DVCA DI TOSCANA.*
Si aggiungono nel fine le Lettere, e Disquisizioni del finto Apelle.



IN ROMA, Appresso Giacomo Mascardi. MDCXIII.
CON LICENZA DE' SUPERIORI.

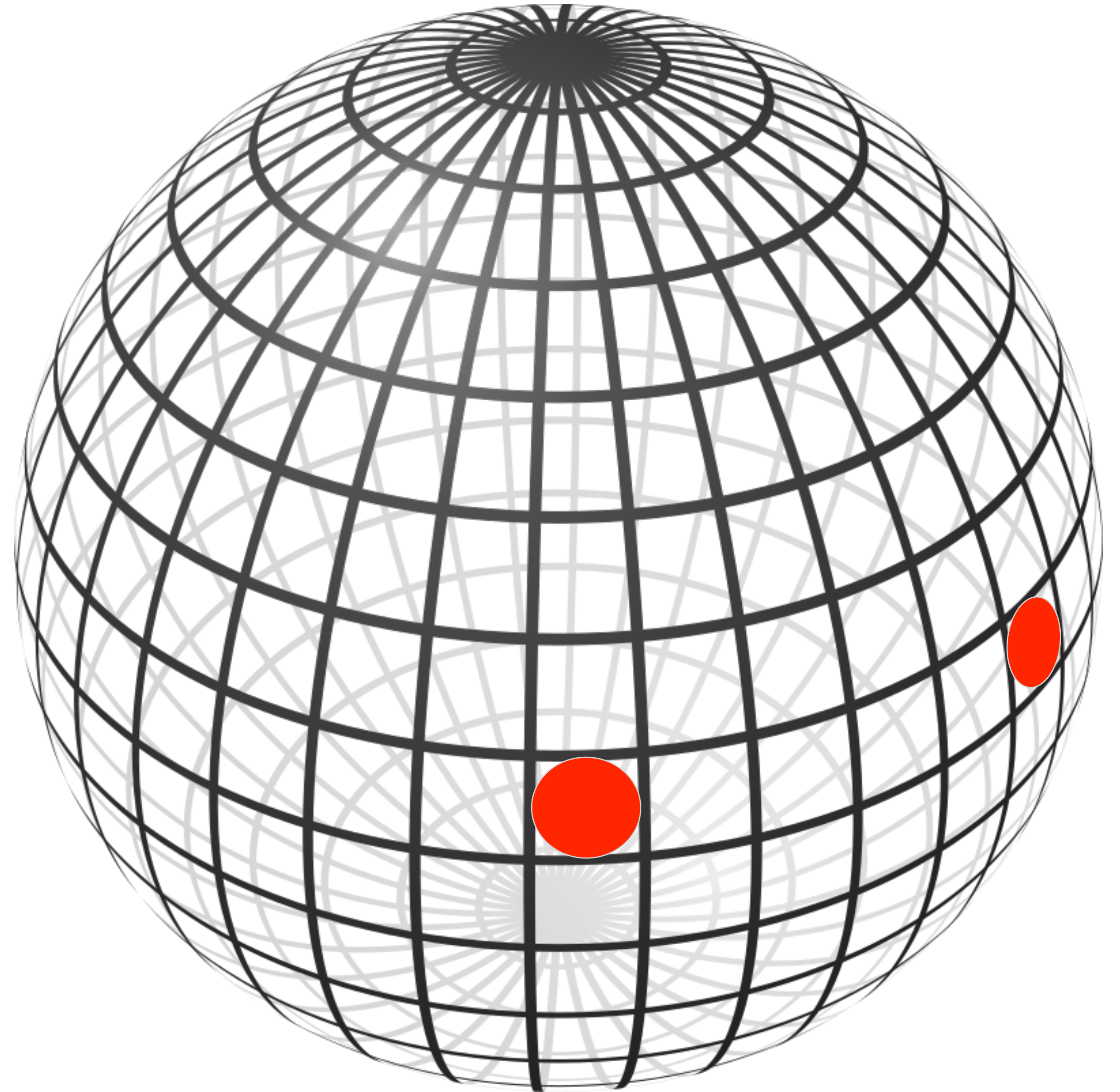
Le tre lettere di Galileo a Scheiner

- 1** (4/5/1612) - Galileo afferma **“di saper più tosto quello, che le macchie solari non sono, che quello, che elleno veramente siano”**. Osservate negli ultimi 18 mesi, **“non restano fisse nel corpo solare, ma appariscono muoversi in relazion di esso”**. Nega che le macchie siano più scure della superficie della Luna: infatti la Luna piena, posta per assurdo accanto al Sole, risulterebbe invisibile. Apelle sostiene che le macchie siano “stelle” poco lontane dal corpo solare, che gli ruotano attorno: infatti le macchie hanno aspetti diversi ogni mese. Inoltre afferma che le macchie si assottigliano ai bordi del disco solare perché osserviamo le loro “fasi”. Galileo spiega che le macchie hanno aspetti diversi perché non sono permanenti. La differenza di velocità delle macchie fra il centro del Sole e il bordo, dice G., conferma che si tratta di macchie contigue, altrimenti la differenza di velocità sarebbe impercettibile. **“Dalle cose dette si può raccorre, come a queste macchie mal convenga il nome di stelle, poiché le stelle o siano fisse, o siano erranti, mostrano di mantener sempre la loro figura, e questa essere sferica”**.

- 2** (14/8/1612) - Galileo invia a Scheiner i disegni delle sue osservazioni: **“Et acciò che V. S. habbia esempi di tutti i particolari, gli mando i disegni di 35 giorni, cominciando dal secondo di Giugno”**. Descrive il modo di disegnare le macchie appreso da Benedetto Castelli. Conclude che il cielo non è inalterabile: **“Ecco finalmente scoperto in quella parte del Cielo, che meritamente la più pura e sincera stimar si deve, dico in faccia del Sole stesso, prodursi continuamente, e in brevi tempi dissolversi innumerabile moltitudine di materie oscure, dense, e caliginose”**, come Aristotele stesso avrebbe potuto constatare dalle osservazioni.

- 3** (1/12/1612) - Galileo evidenzia alcuni errori del suo interlocutore: le macchie non possono essere congiunzioni di Mercurio o di Venere: non corrispondono né i tempi, né le dimensioni. **“Bisognava osservare la grandezza di Venere veduta di giorno, e non di notte, quando la capellatura de’ suoi raggi la rappresenta dieci, o più volte maggiore [...]”**. Divagazioni su Luna, Satelliti di Giove e Saturno, che sembra aver perduto i due compagni in precedenza osservati.

Galileo ritiene che le macchie siano contigue alla superficie solare e spiega il mutamento della loro forma ai bordi con un effetto prospettico, come mostrato in figura.



Seconda lettera al Sig. Marco Velseri (14 agosto 1612)

[Descrivo il] modo del disegnar le macchie con somma giustezza, ritrovato [...] da un mio Discepolo Monaco Cassinense nominato D. Benedetto de i Castelli, famiglia nobile di Brescia, huomo d'ingegno eccellente, e come conviene libero nel filosofare; e il modo è questo: devesi drizzare il Telescopio verso il Sole, come se altri lo volesse rimirare, e aggiustatolo, e fermatolo, espongasì una carta bianca, e piana incontro al vetro concavo, lontano da esso vetro quattro, o cinque palmi; perché sopra essa caderà la specie circolare del Disco del Sole, con tutte le macchie che in esso si ritrovano ordinate, e disposte con la medesima simmetria a capello, che nel Sole son situate; e quanto più la carta si allontanerà dal cannone, tanto tale immagine verrà maggiore, e le macchie meglio si figureranno, e senz'alcuna offesa si vedranno tutte sino a molte piccole [...]. E per disegnarle giuste, io descrivo prima sopra la carta un cerchio della grandezza, che più mi piace, e poi accostando, o rimuovendo la carta dal cannone, trovo il giusto sito, dove l'immagine del Sole si allarga alla misura del descritto cerchio; il quale mi serve anco per norma, e regola di tener il piano del foglio retto, e non inclinato al cono luminoso de i raggi solari ch'escono del Telescopio, perché quando e' fosse obliquo, la sezione viene ovata, e non circolare [...]; ritrovata che si è tal positura, con un pennello si va notando sopra le macchie stesse, le figure, grandezze, e siti loro [...]. E per veder le macchie distintissime, e terminate, è ben inscurir la stanza serrando ogni finestra [...].

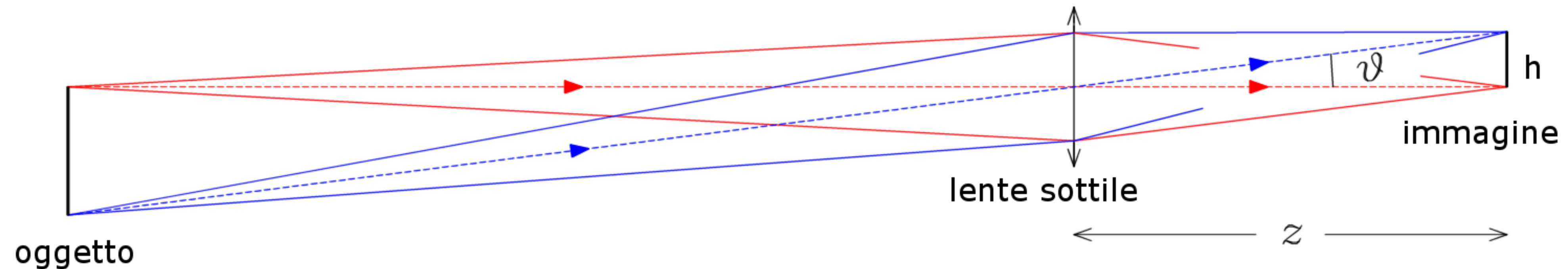
Seconda lettera al Sig. Marco Velsari (14 agosto 1612)

[Descrivo il] modo del disegnar le macchie con somma giustezza, ritrovato [...] da un mio Discepolo Monaco Cassinense nominato D. Benedetto de i Castelli, famiglia nobile di Brescia, huomo d'ingegno eccellente, e come conviene libero nel filosofare; e il modo è questo: devesi drizzare il Telescopio verso il Sole, come se altri lo volesse rimirare, e aggiustatolo, e fermatolo, espongasì una carta bianca, e piana incontro al vetro concavo, lontano da esso vetro quattro, o cinque palmi; perché sopra essa caderà la specie circolare del Disco del Sole, con tutte le macchie che in esso si ritrovano ordinate, e disposte con la medesima simmetria a capello, che nel Sole son situate; e quanto più la carta si allontanerà dal cannone, tanto tale immagine verrà maggiore, e le macchie meglio si figureranno, e senz'alcuna offesa si vedranno tutte sino a molte piccole [...]. E per disegnarle giuste, io descrivo prima sopra la carta un cerchio della grandezza, che più mi piace, e poi accostando, o rimuovendo la carta dal cannone, trovo il giusto sito, dove l'immagine del Sole si allarga alla misura del descritto cerchio; il quale mi serve anco per norma, e regola di tener il piano del foglio retto, e non inclinato al cono luminoso de i raggi solari ch'escono del Telescopio, perché quando e' fosse obliquo, la sezione viene ovata, e non circolare [...]; ritrovata che si è tal positura, con un pennello si va notando sopra le macchie stesse, le figure, grandezze, e siti loro [...]. E per veder le macchie distintissime, e terminate, è ben inscurir la stanza serrando ogni finestra [...].

L'OSSERVAZIONE PER PROIEZIONE È SICURA.

ALTRI MODI DI OSSERVARE IL SOLE POSSONO RISULTARE PERICOLOSI PER LA VISTA !

Formazione dell'immagine da parte di una lente sottile convergente

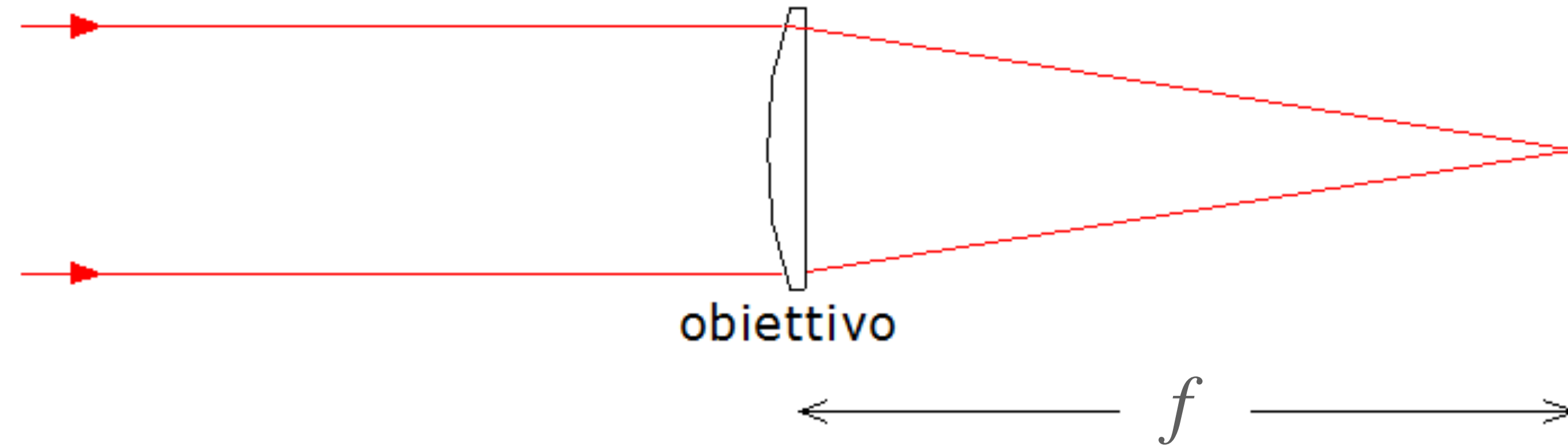


$$h = z \cdot \vartheta \quad (z \simeq f \text{ per un oggetto all'infinito})$$

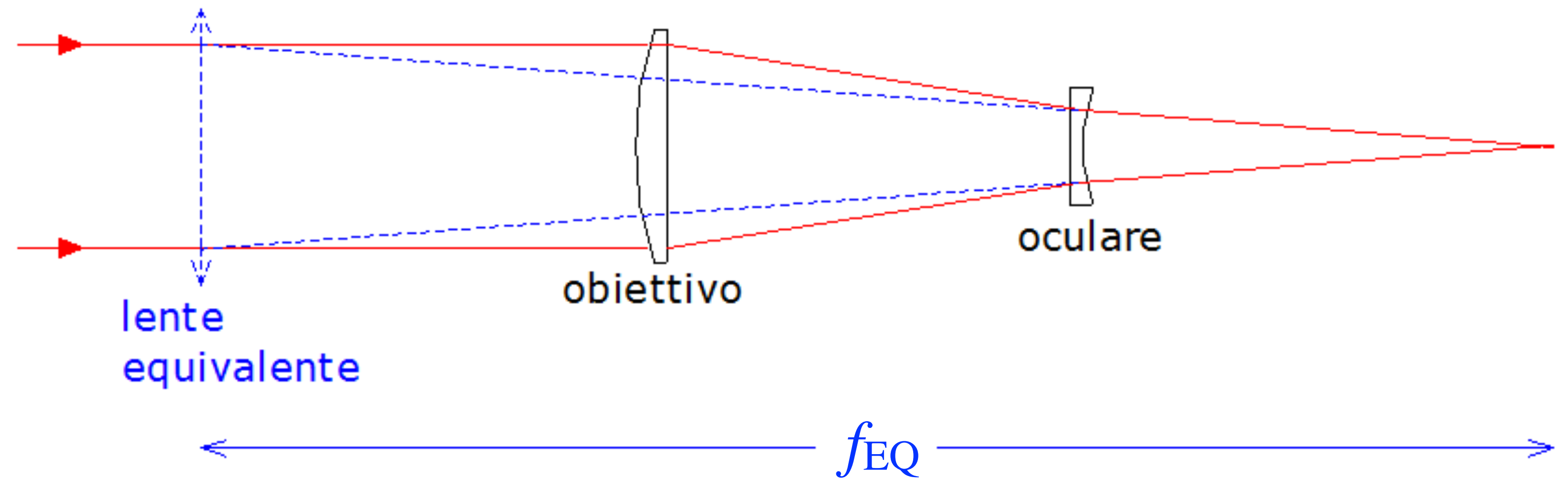
L'estensione angolare media del Sole è $\vartheta_0 = 0^\circ 32'$ (circa 9 mrad).

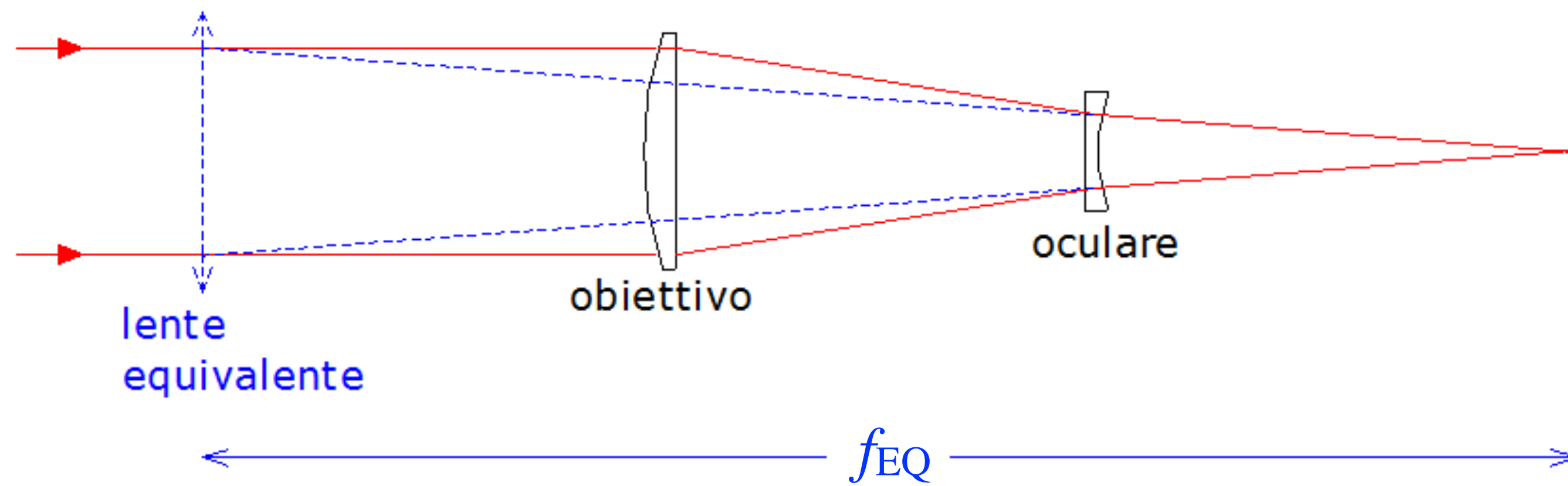
Utilizzando una lente convergente con $f = 1$ m, l'immagine del Sole proiettata sullo schermo ha un diametro di circa 9 mm: troppo piccola per osservare le macchie sulla sua superficie.

Il metodo inventato da Benedetto Castelli



cannocchiale non
accomodato all'infinito





$$f_{EQ} = \frac{f_{ob} f_{oc}}{f_{ob} + f_{oc} - d}$$

Il cannocchiale è uno strumento *afocale*, se $d_0 = f_{ob} + f_{oc}$.

Il cannocchiale si comporta come un'unica *lente convergente* di focale f_{EQ} , se $d > d_0$.

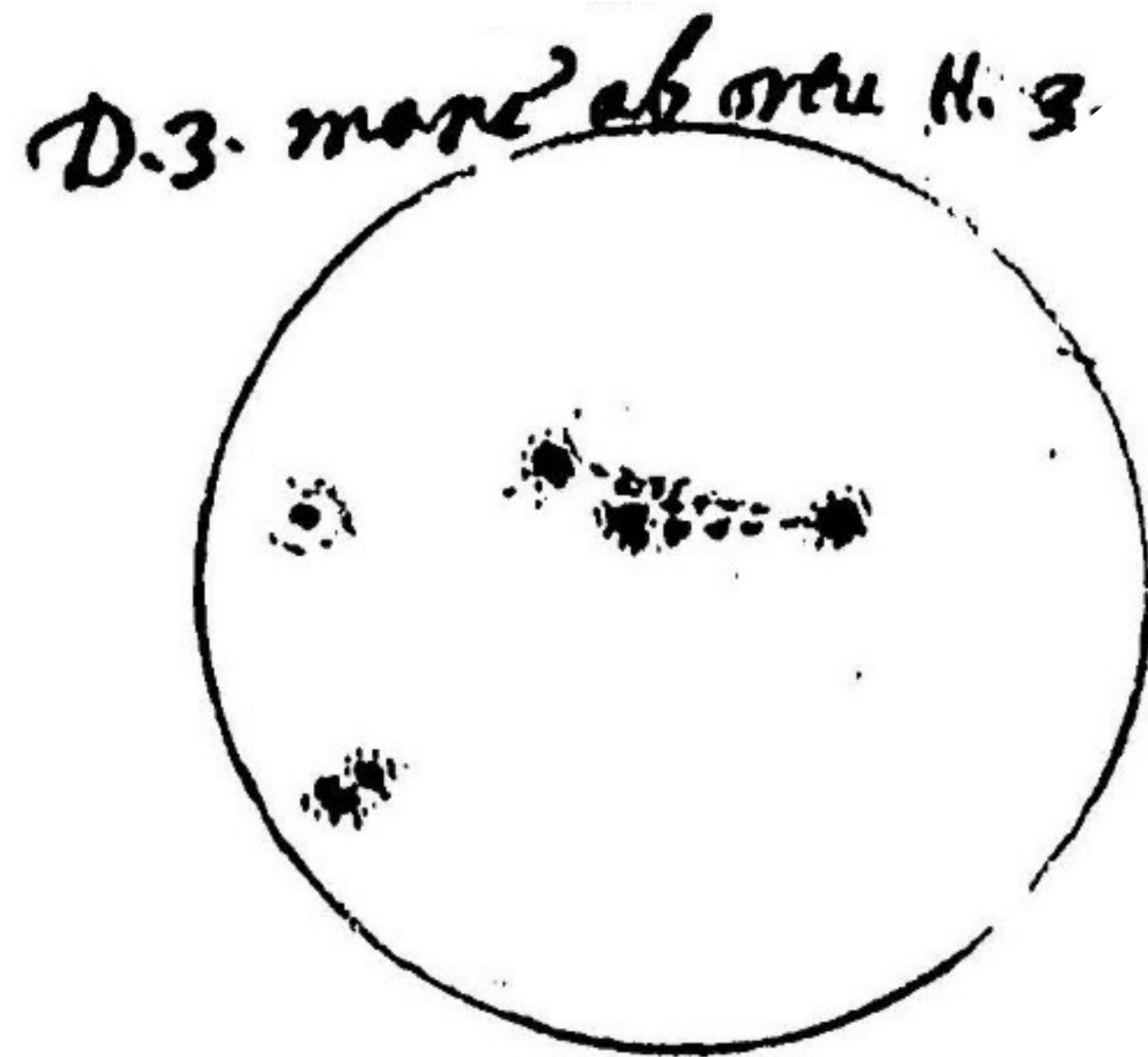
Se $f_{ob} = 1 \text{ m}$, $f_{oc} = -0.1 \text{ m}$: $d_0 = 0.90 \text{ m}$, $f_{eq} = +\infty$

Se $d = 0.91 \text{ m}$: $f_{eq} = 10 \text{ m}$

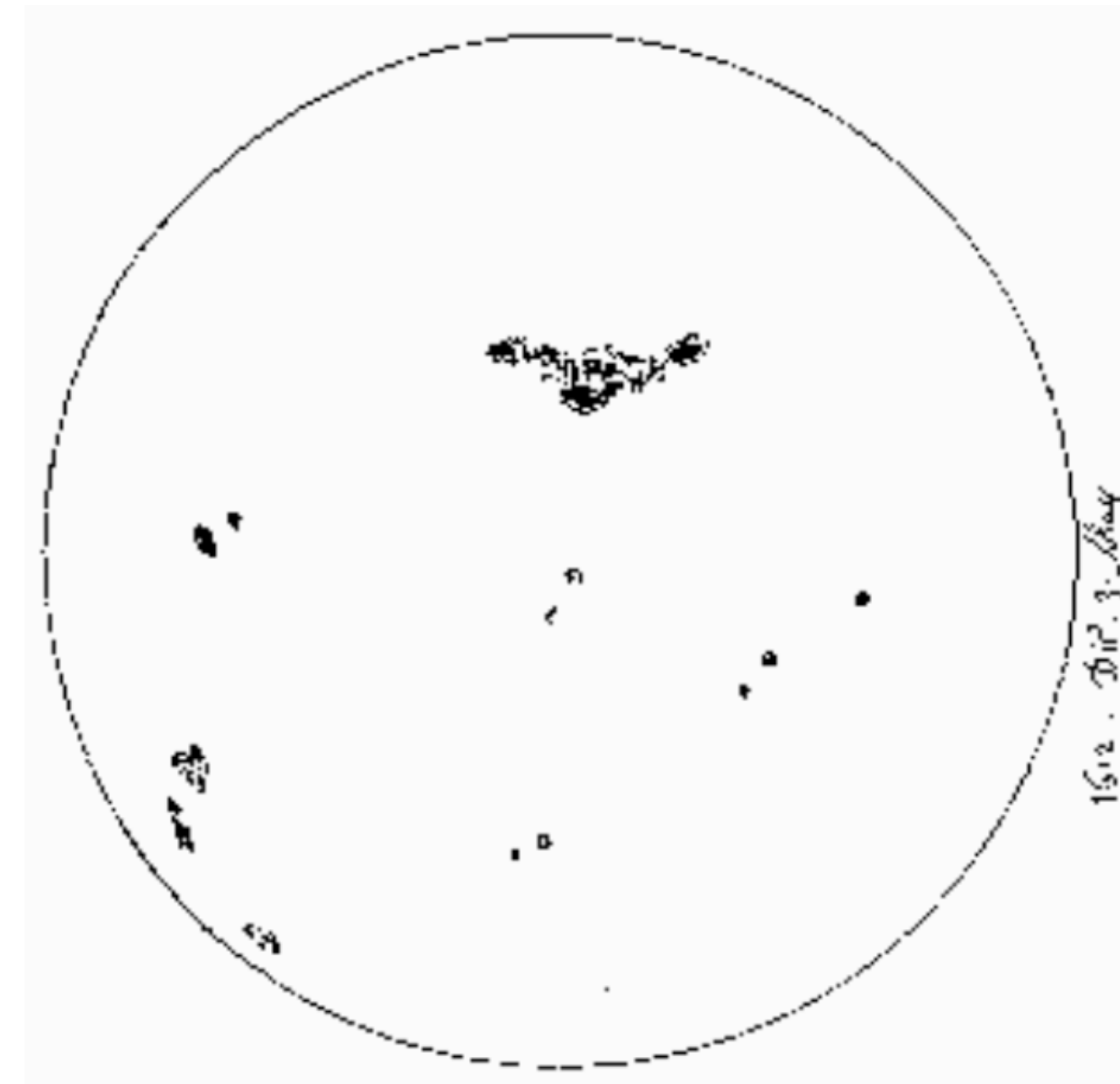
In questo caso, l'immagine del Sole sullo schermo ha un diametro di circa 9 cm.

Due novità importanti in questo approccio:

- utilizzo del cannocchiale come teleobiettivo;
- passaggio dall'osservazione astronomica diretta alla produzione di una immagine (*astronomical imaging*), che consente un'indagine approfondita e prolungata nel tempo.

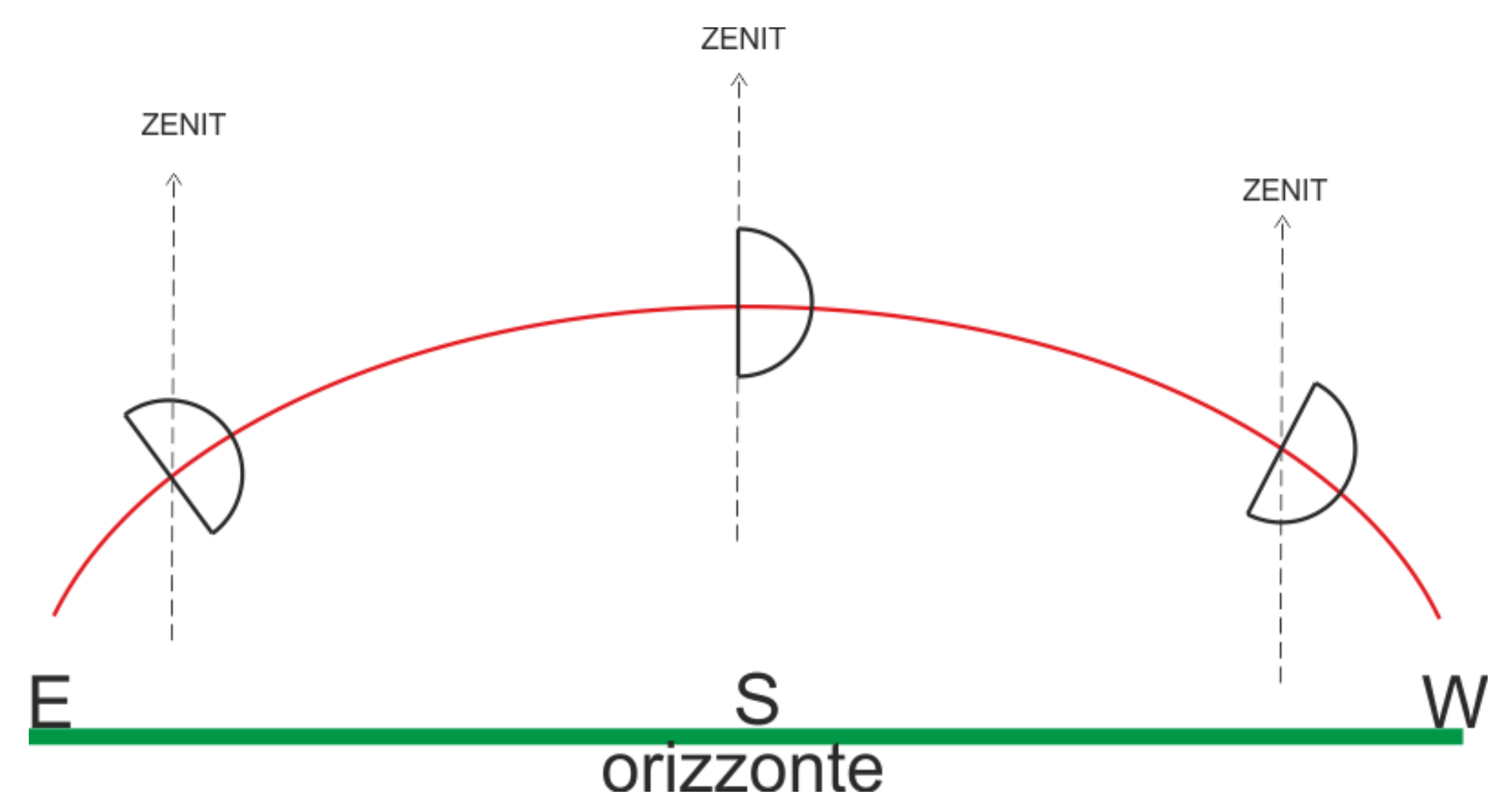
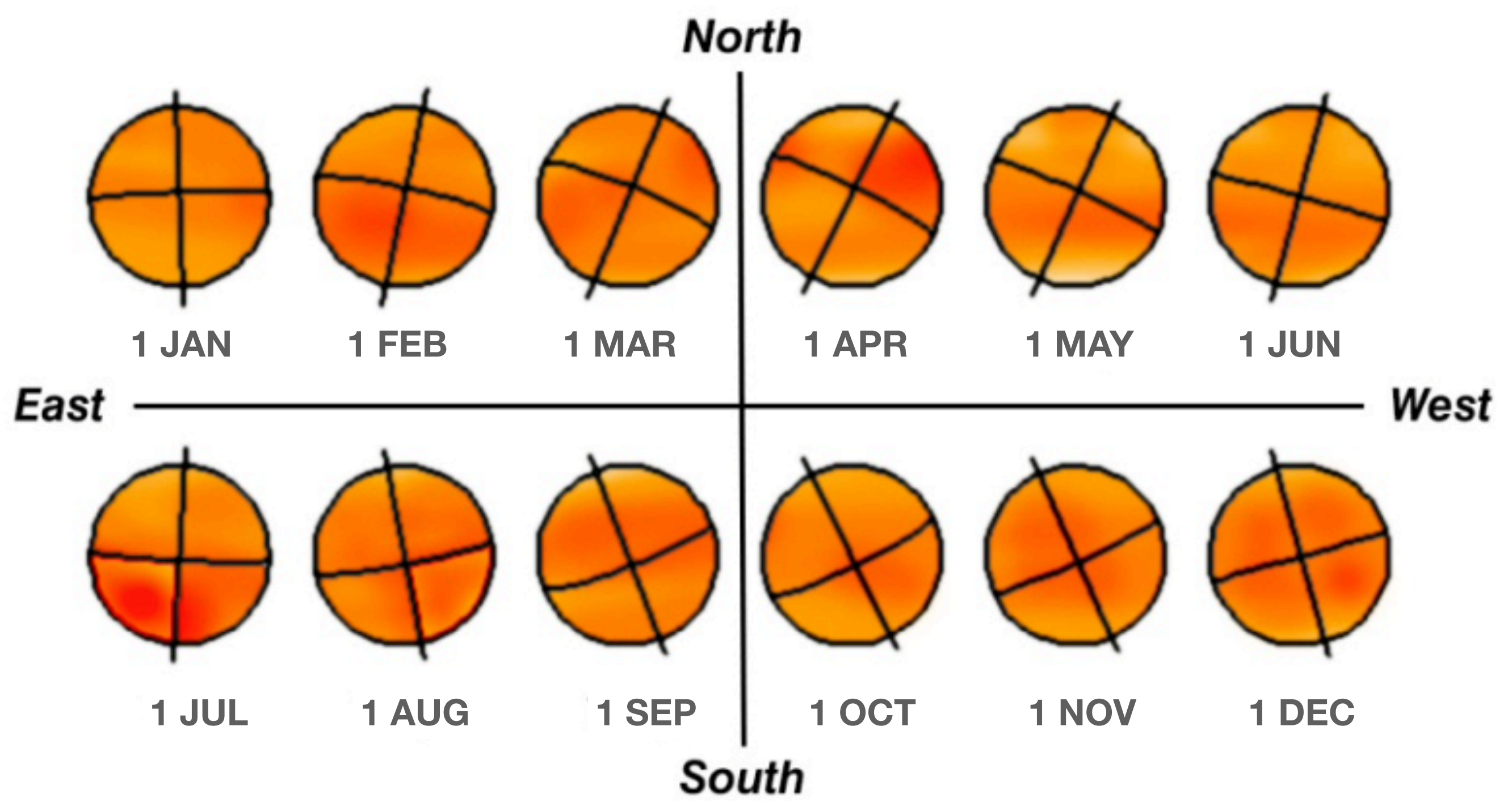
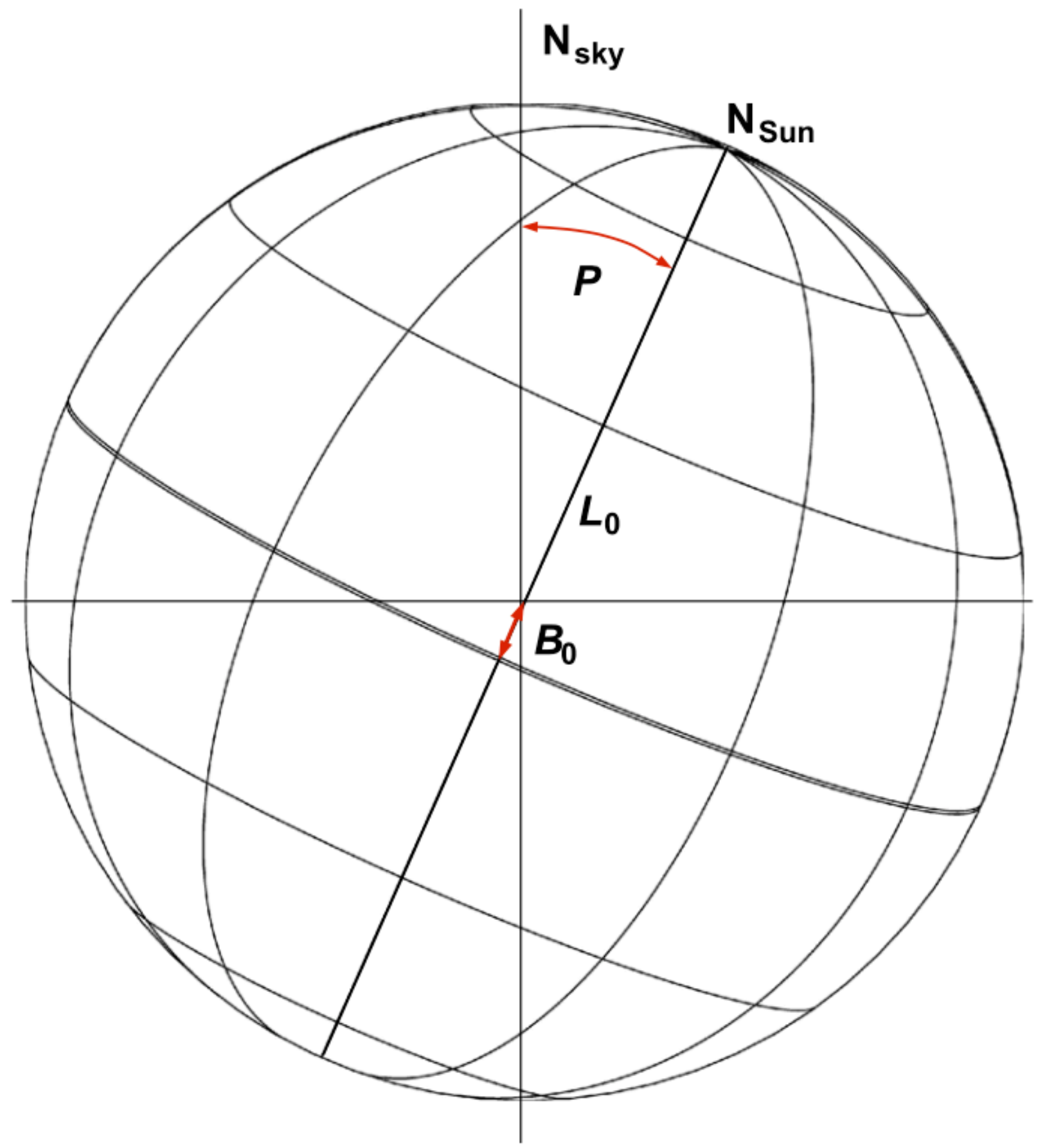


Frammenti attenenti
alle lettere sulle
macchie solari
(Opere vol. V)

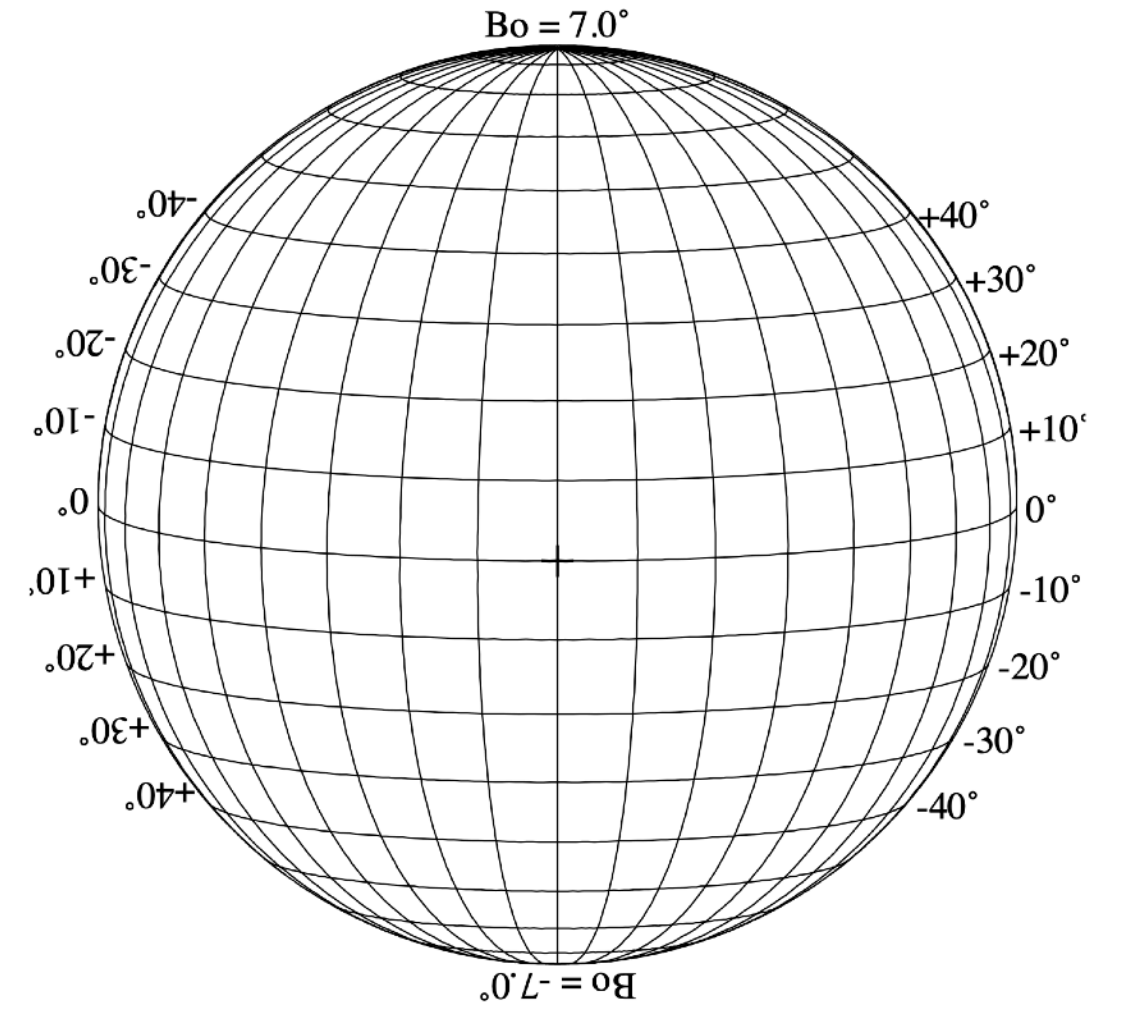
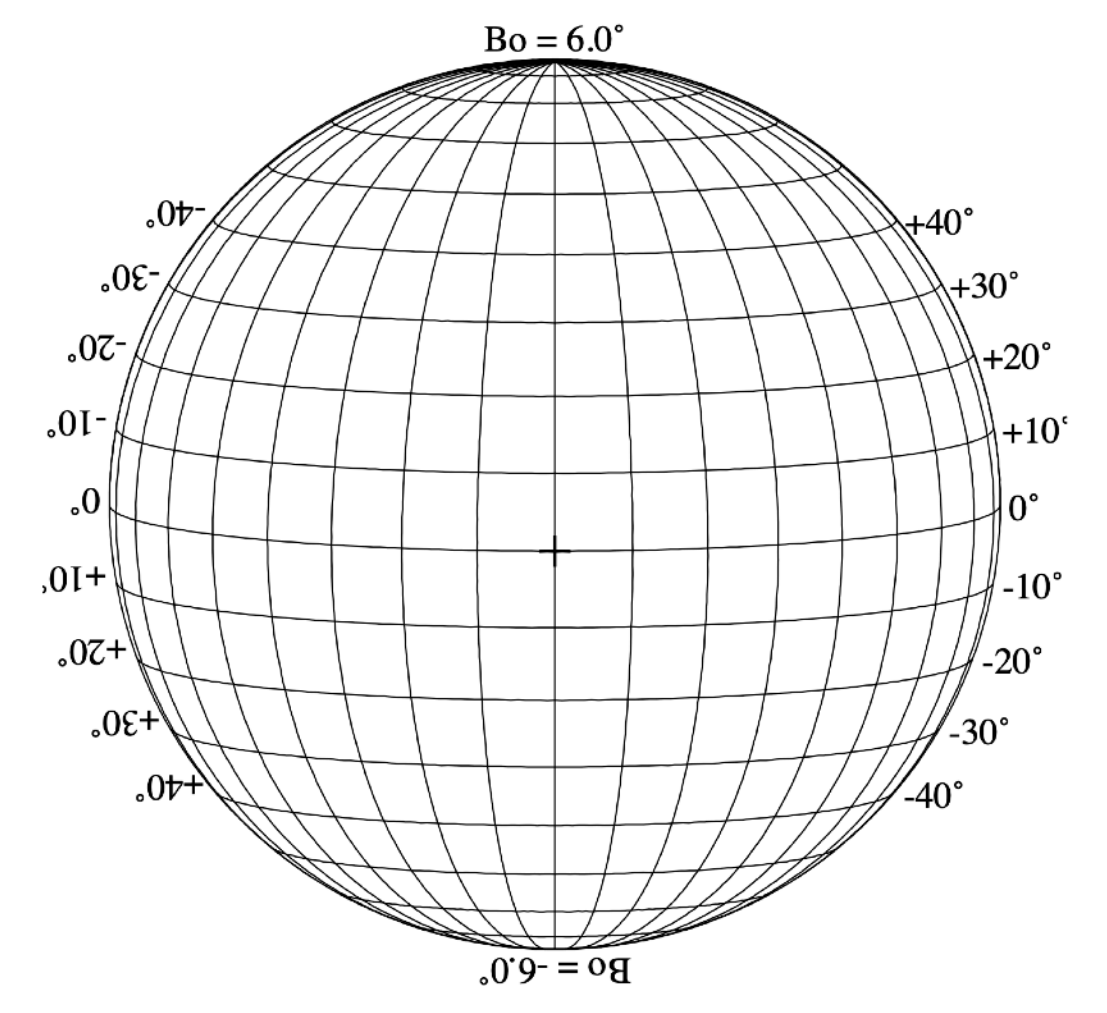
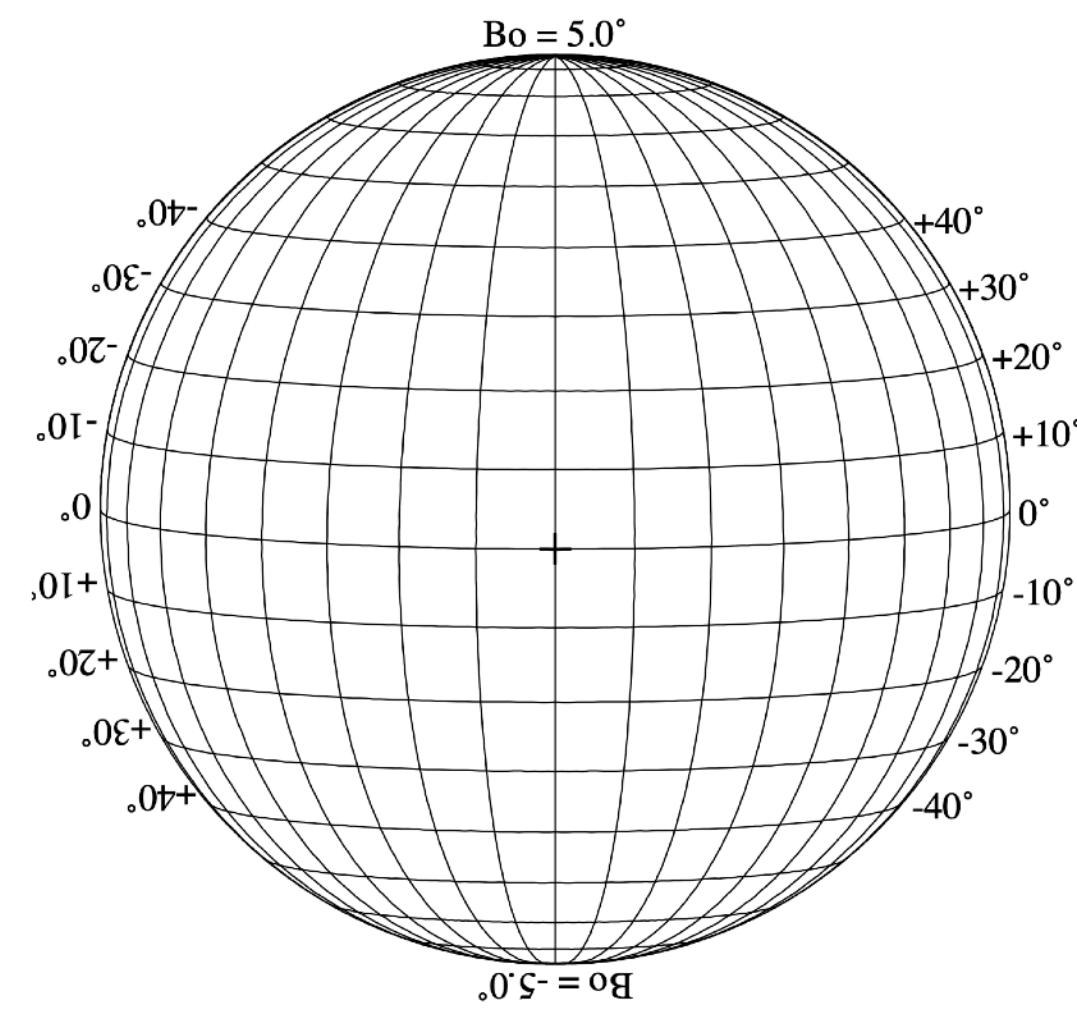
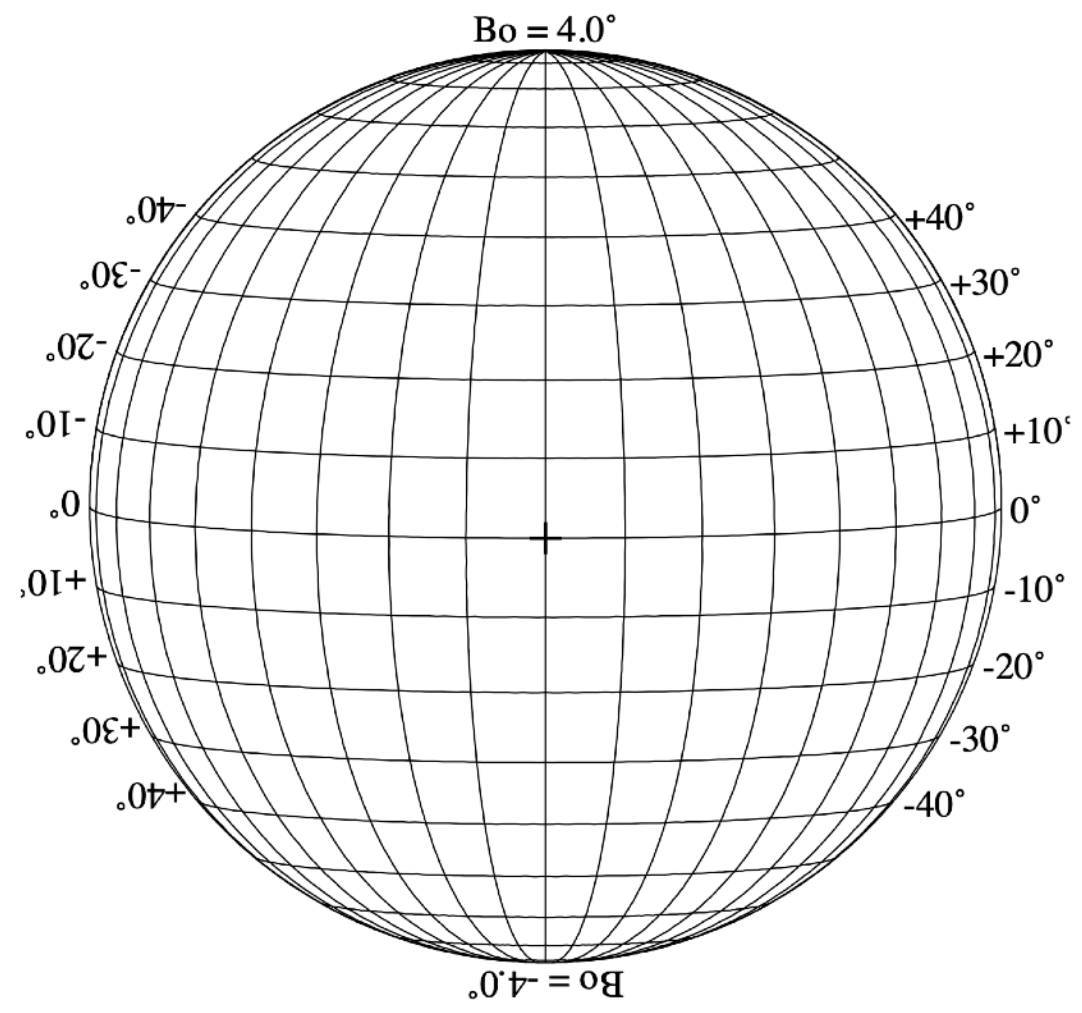
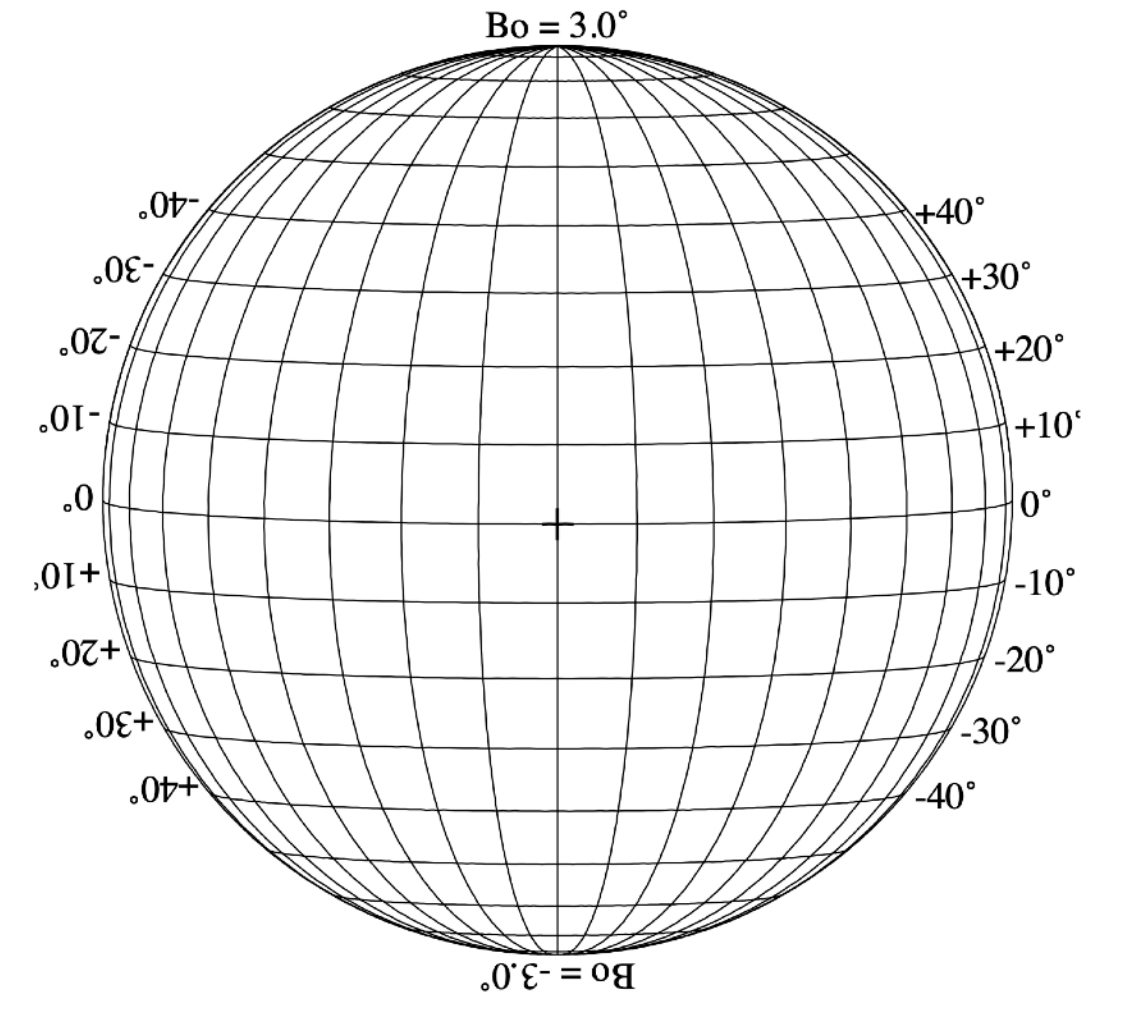
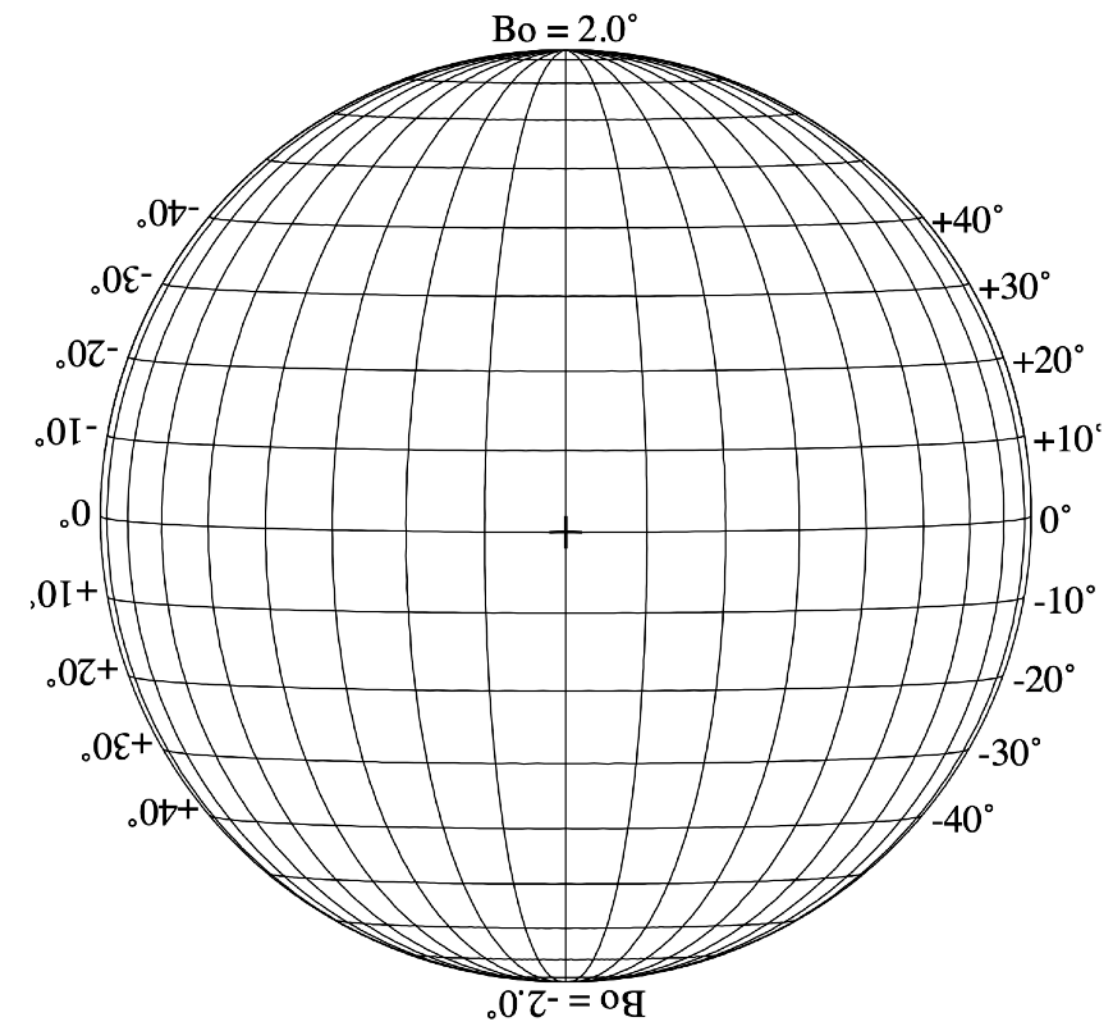
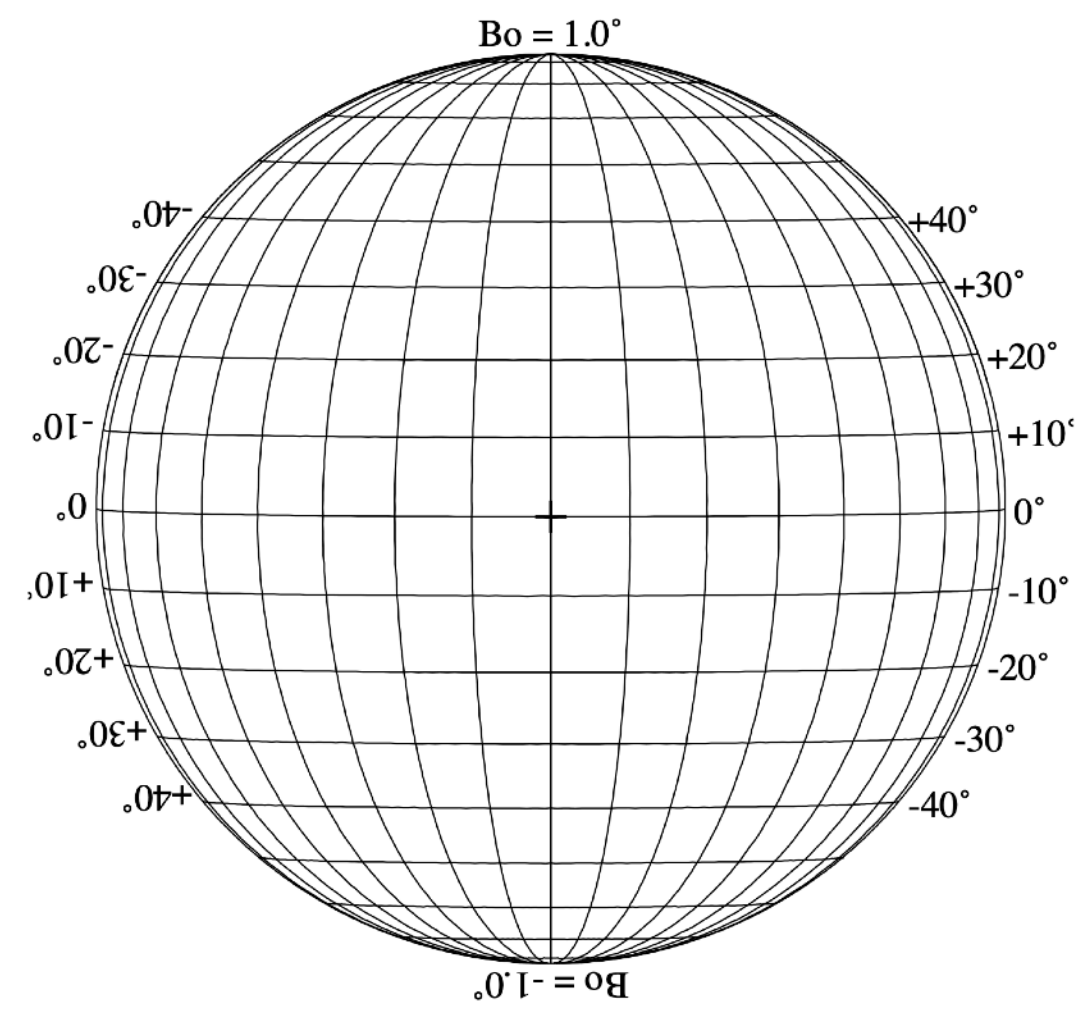
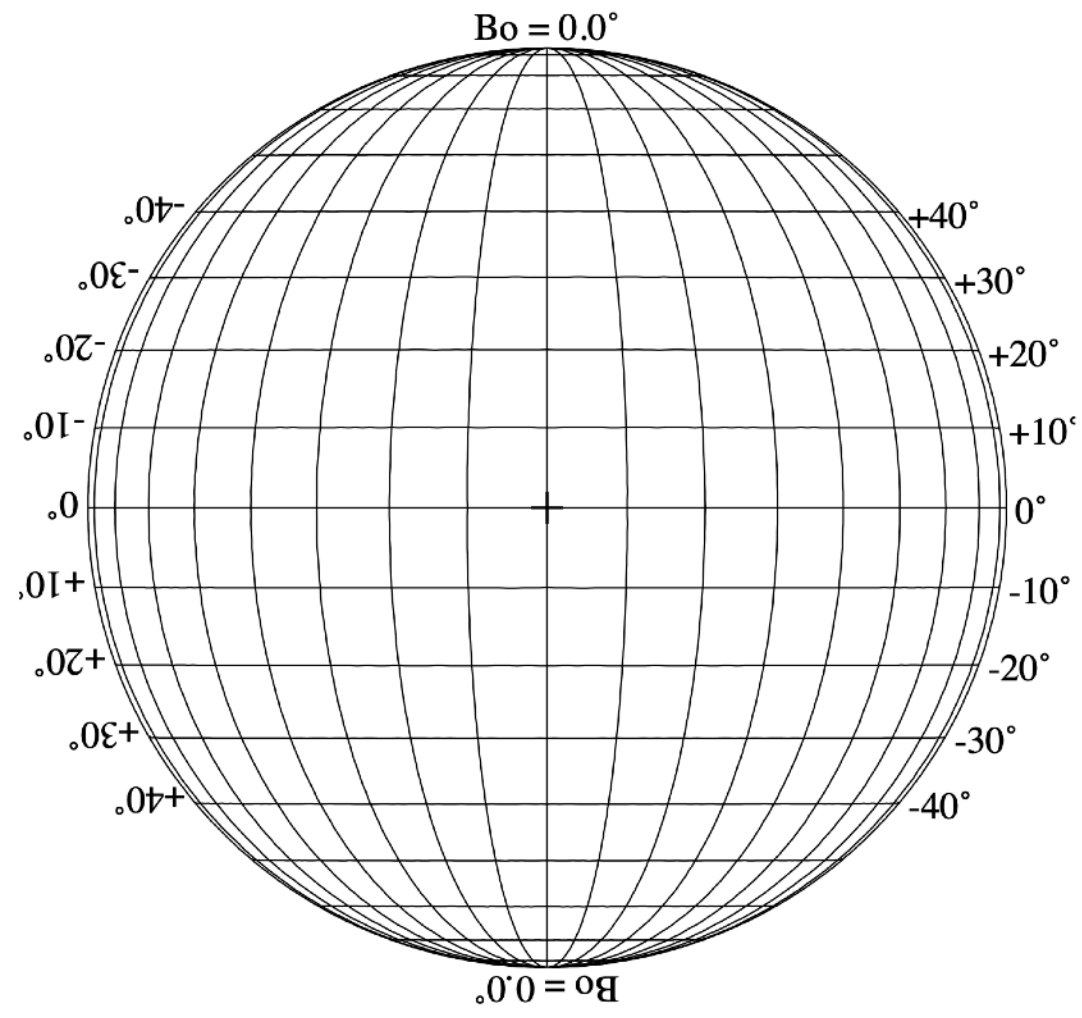


Lettera di G. a
Maffeo Barberini,
2 giugno 1612
(Opere vol. XI)

Confronto fra osservazione diretta (a sinistra) e ricalco dell'immagine prodotta dal cannocchiale (a destra) nelle macchie solari osservate da Galileo il 3 maggio 1612. L'immagine a destra è molto più ricca di dettagli.

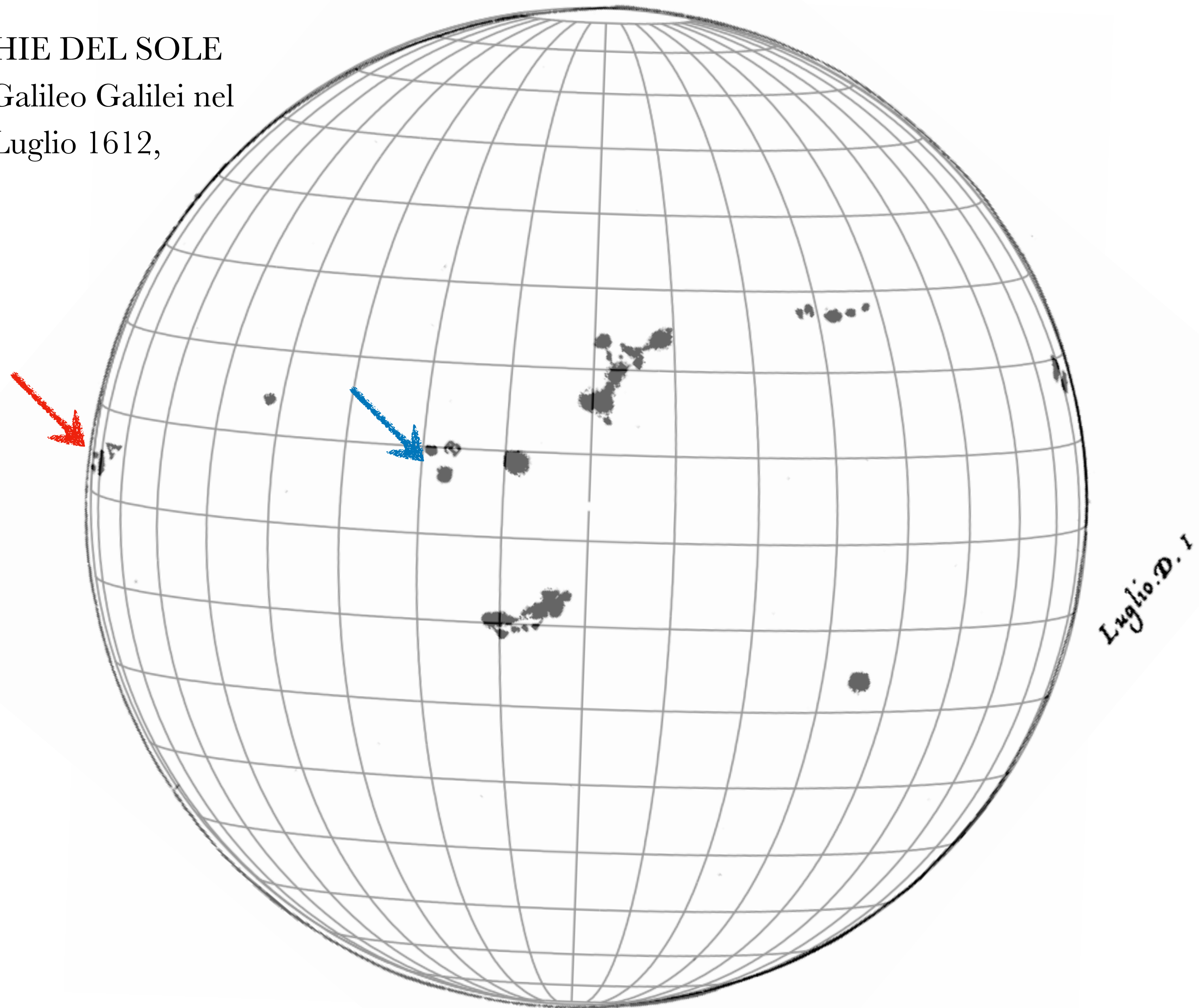


Dischi di Stonyhurst



DISEGNI DELLE MACCHIE DEL SOLE

Vedute & osservate dal sig. Galileo Galilei nel mese di Giugno, e parte di Luglio 1612, giorno per giorno.



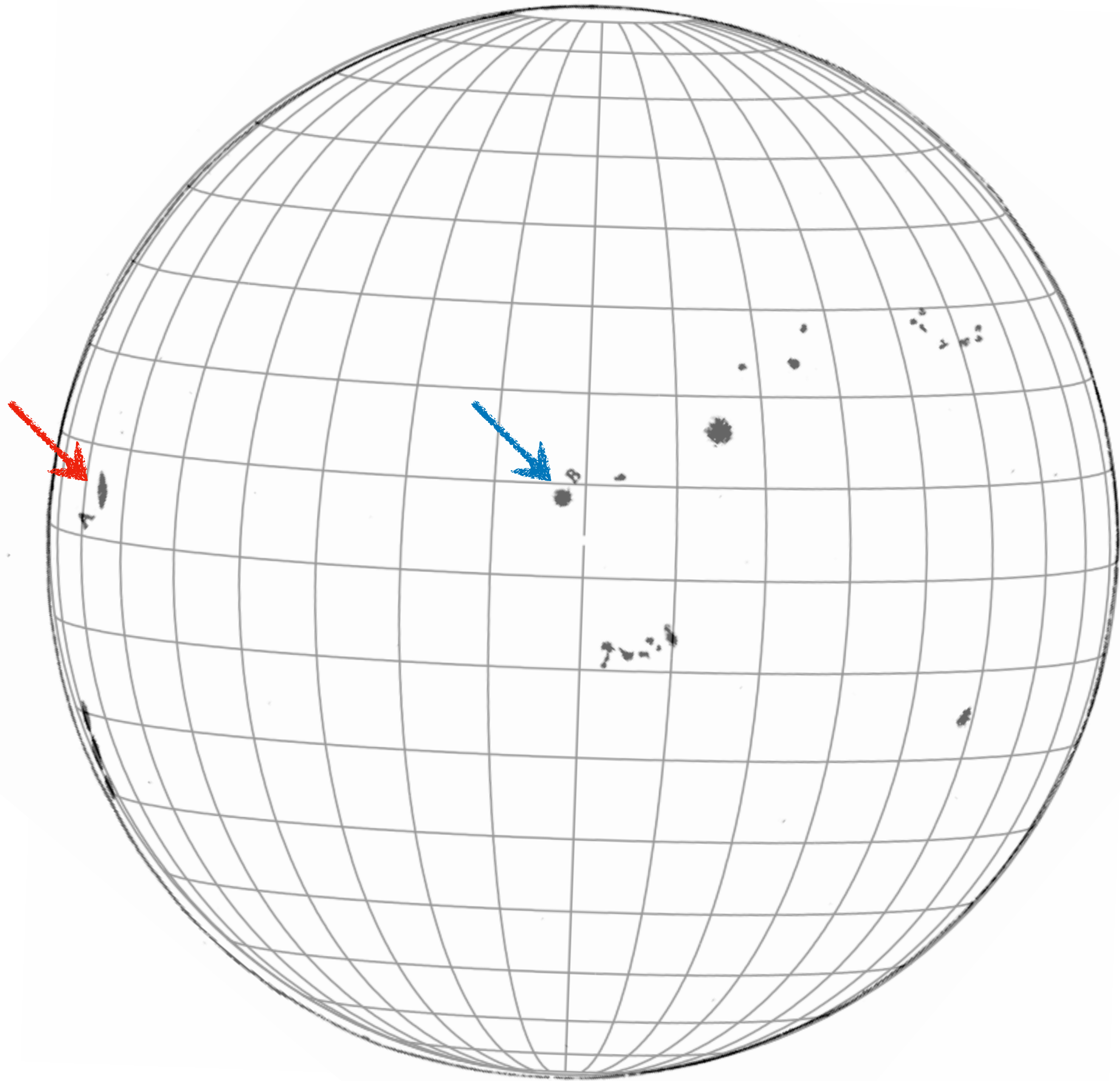


Fig. D. 2

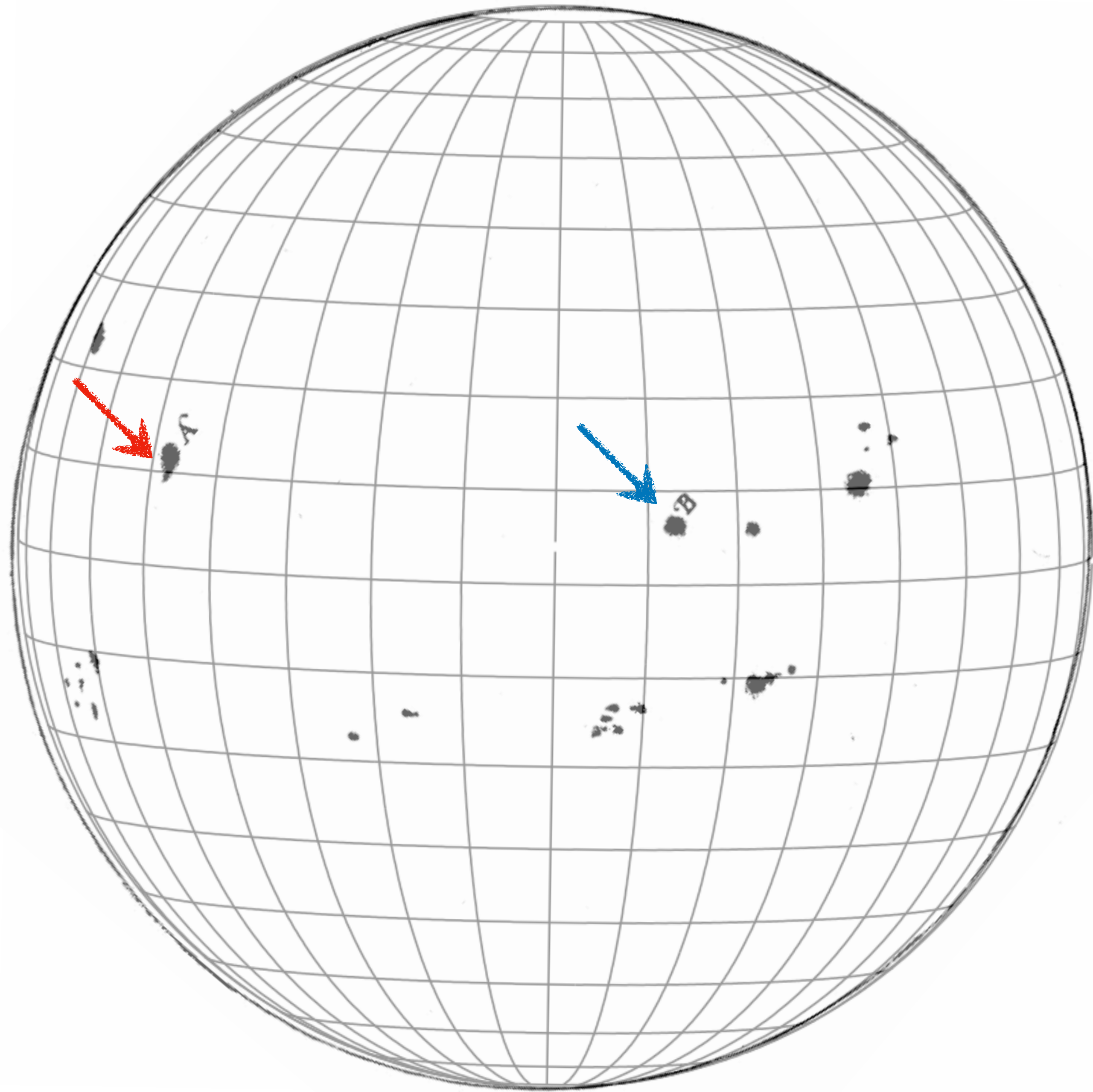
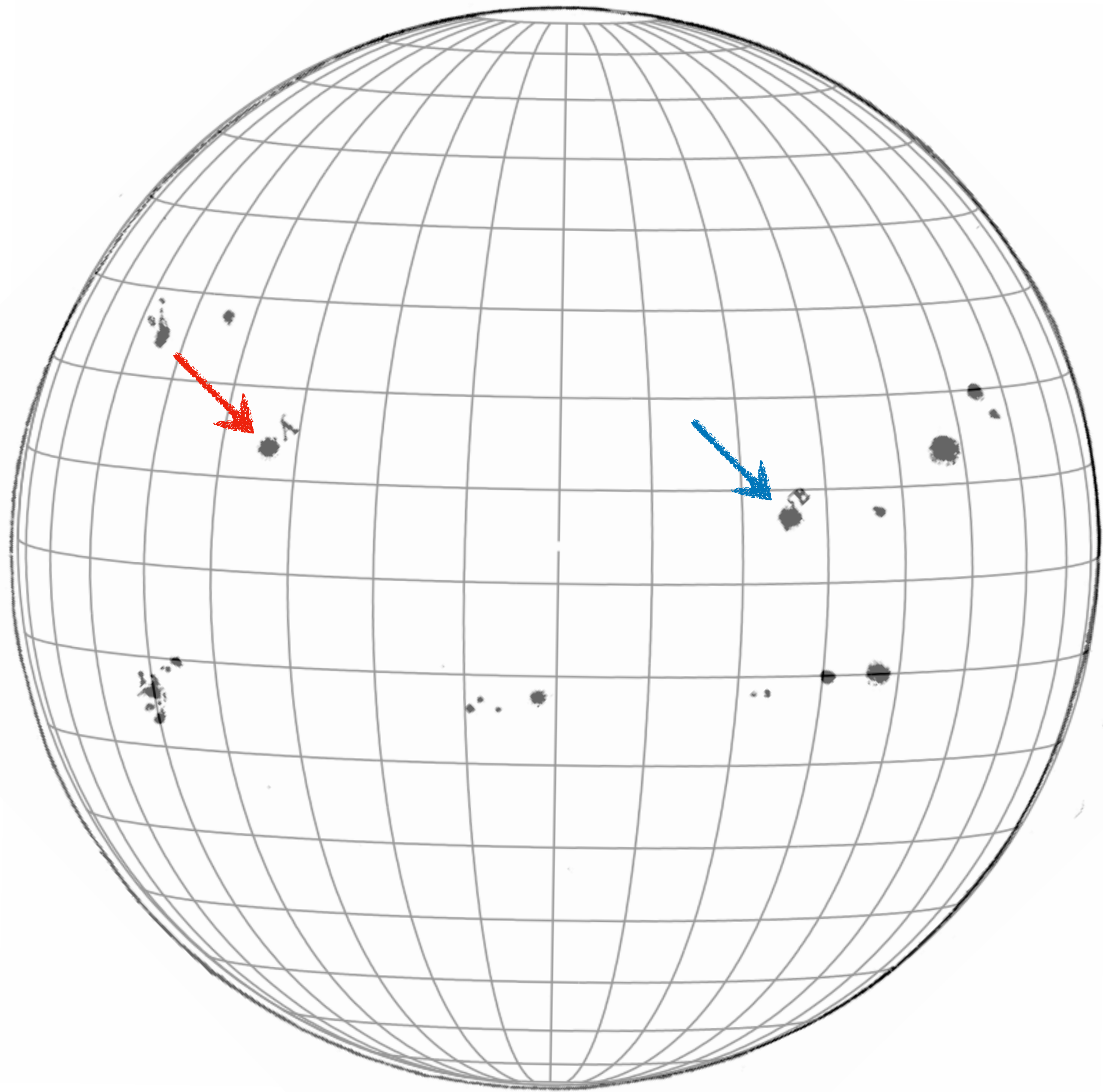
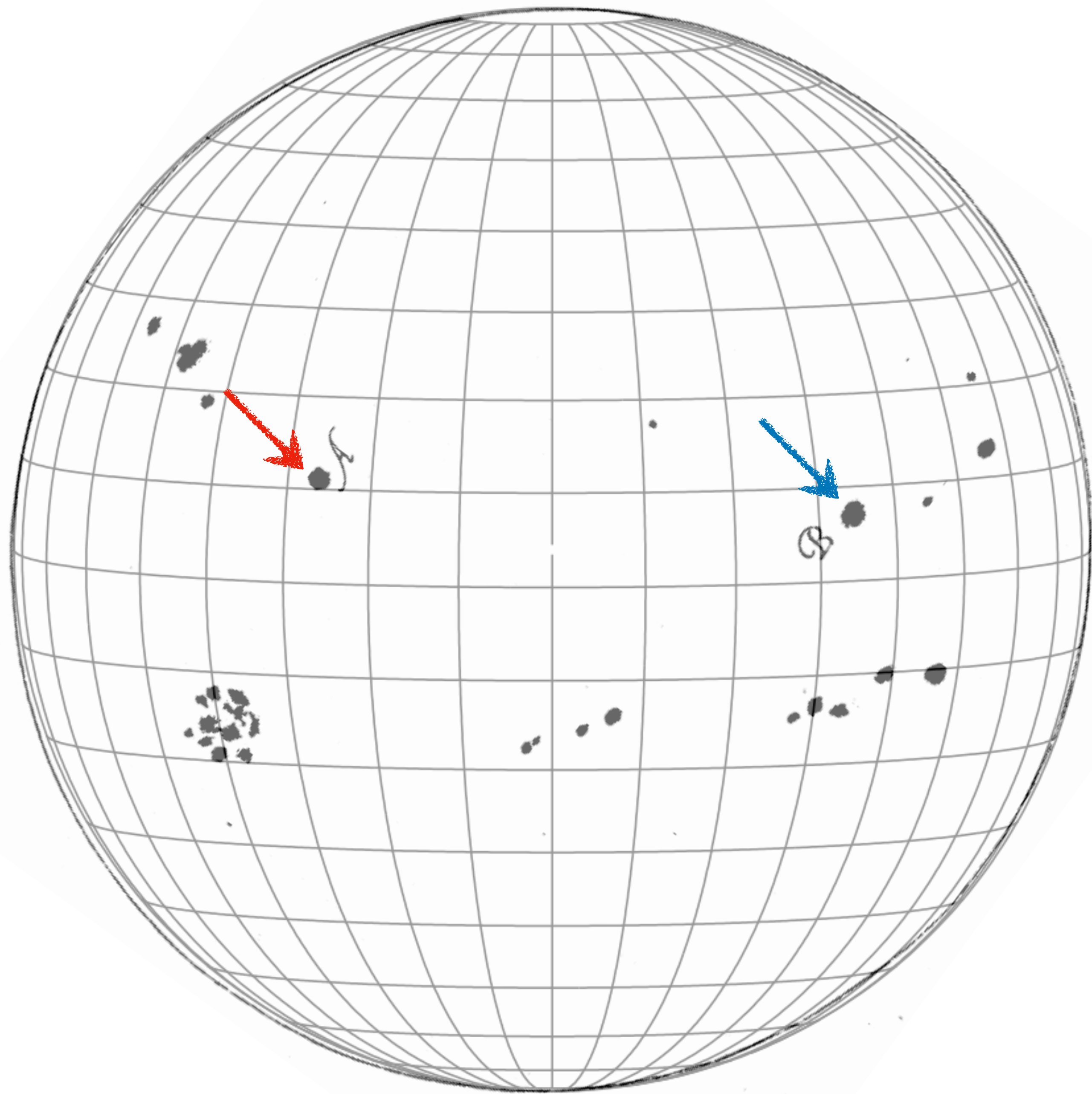


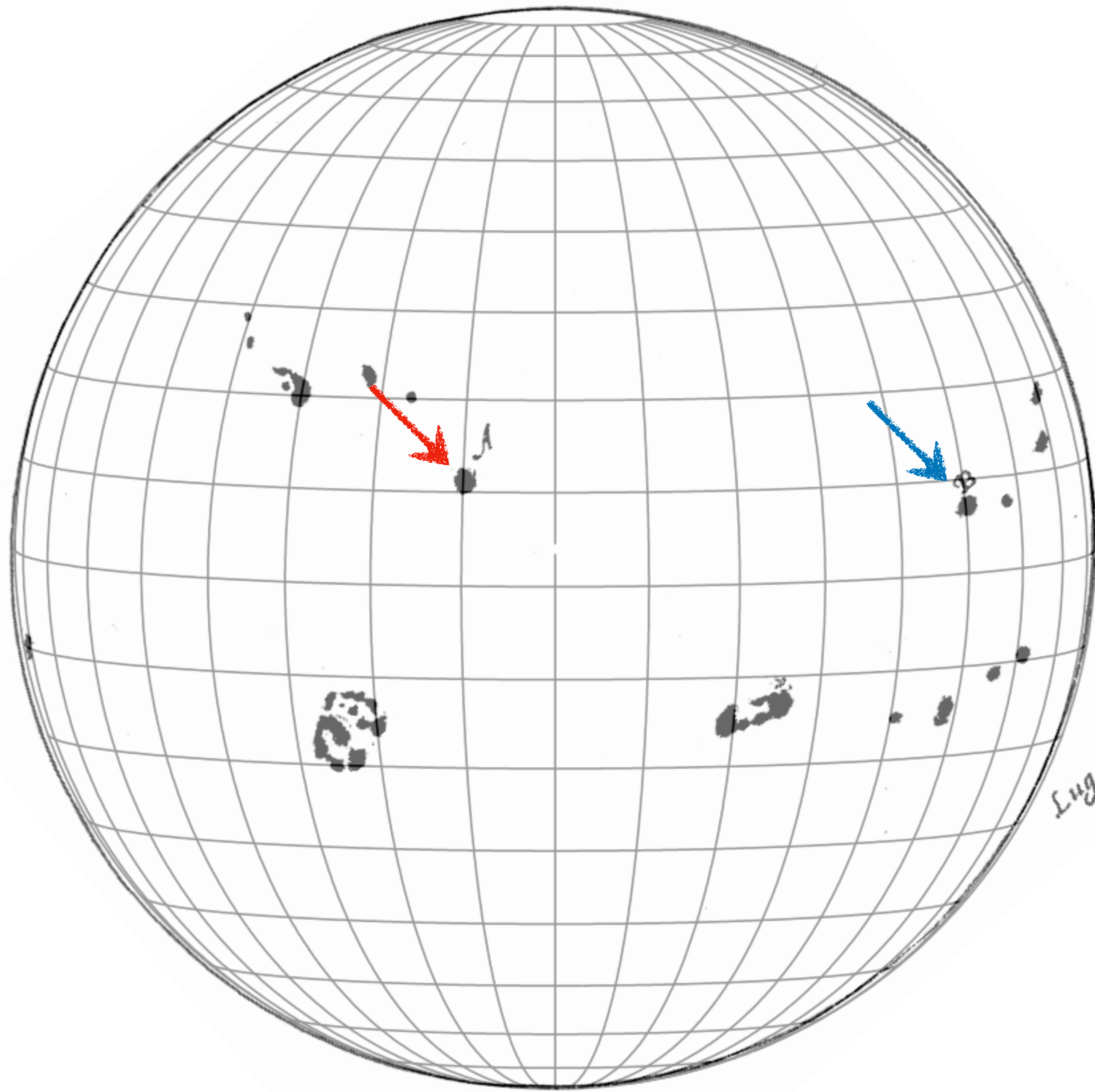
Fig. D. 3.



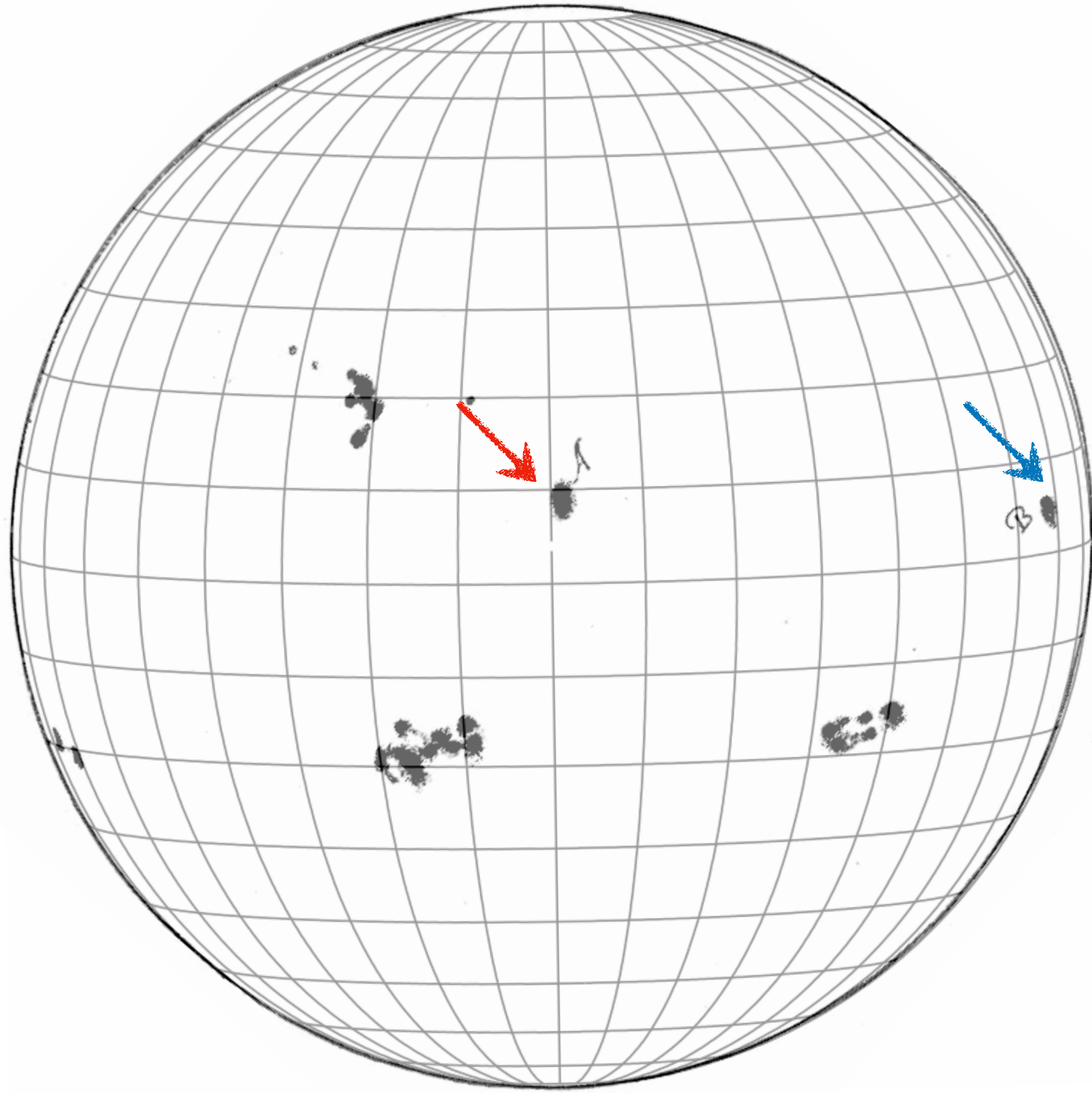
Aug. D. 4.



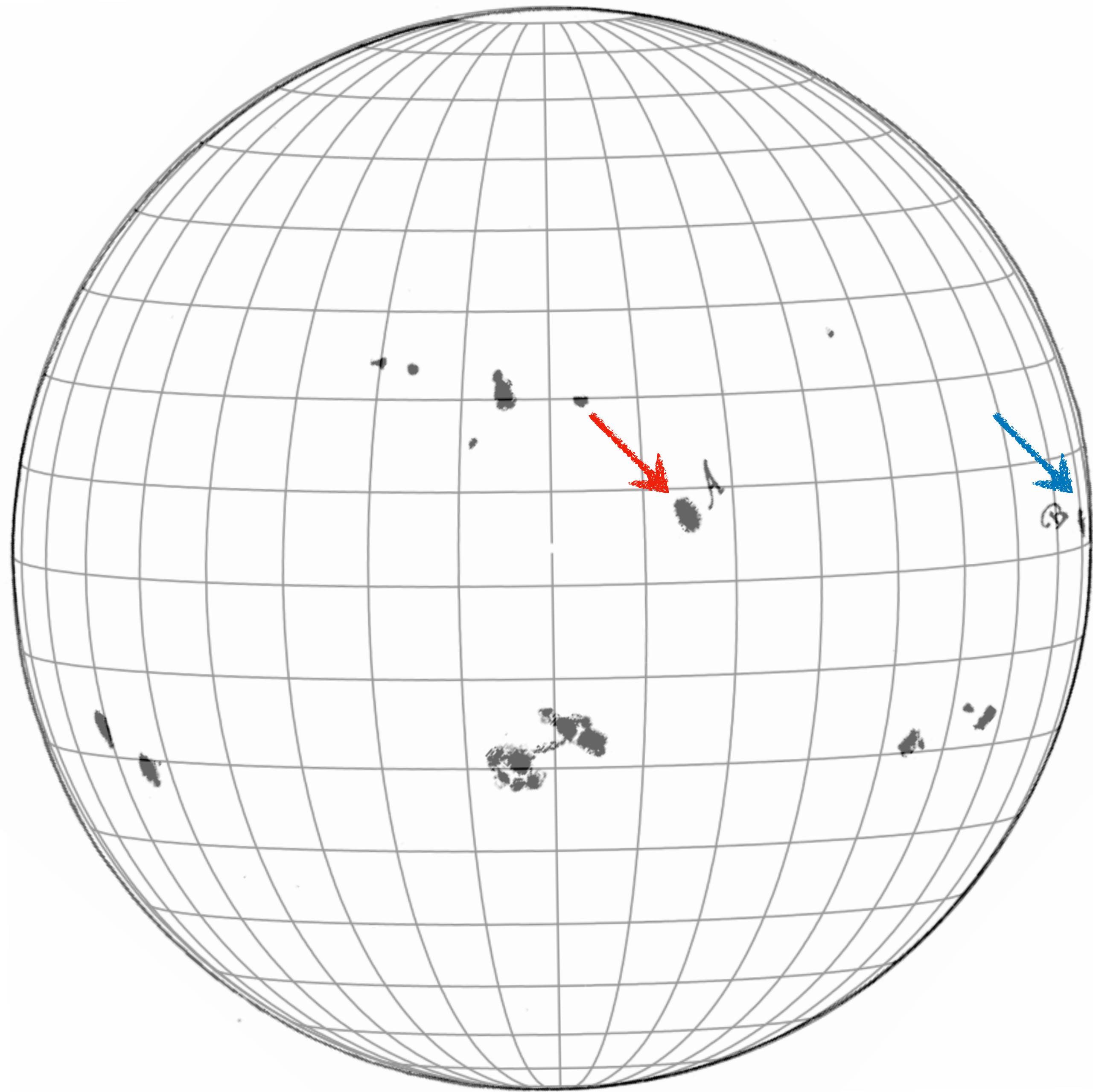
Dr



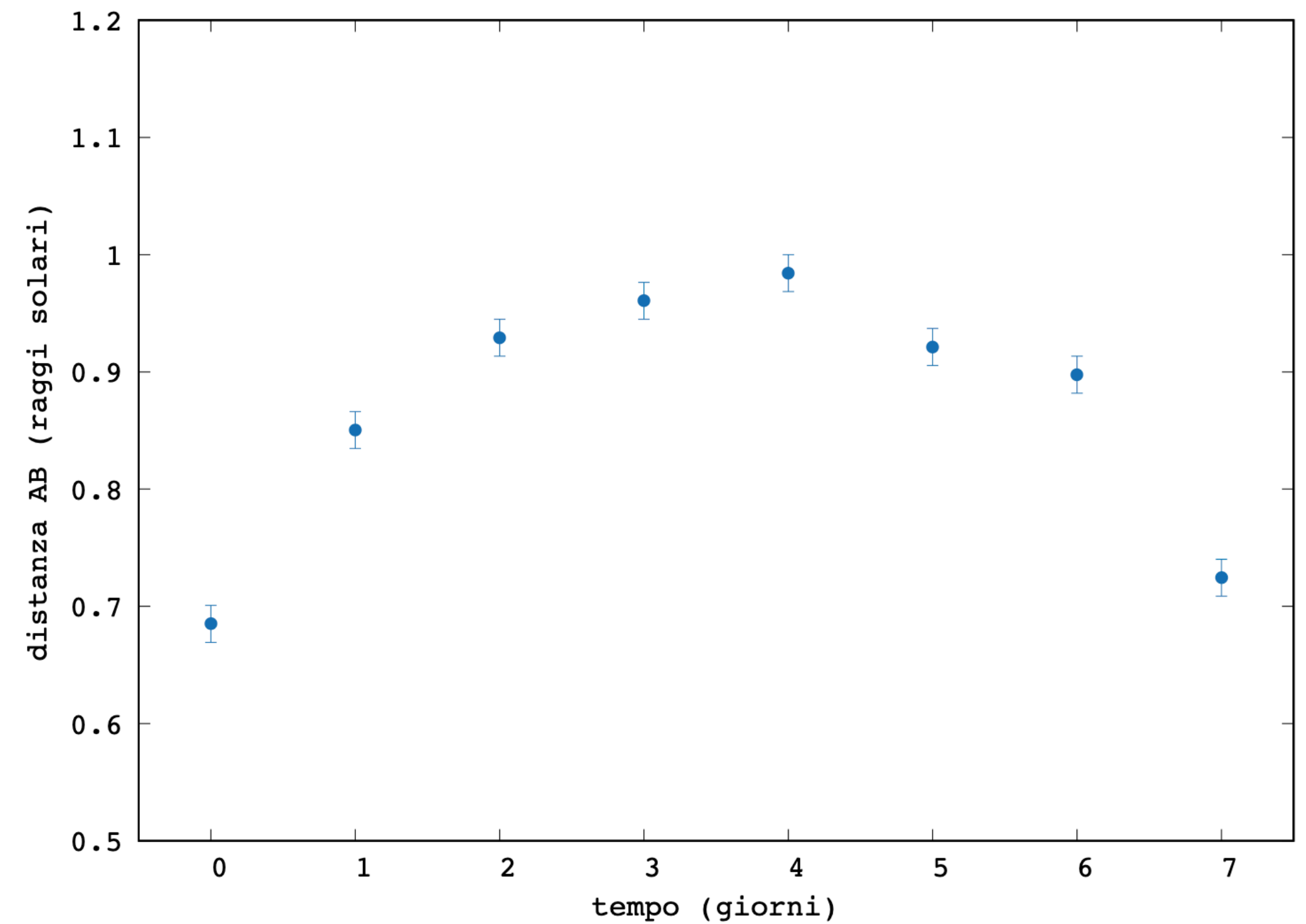
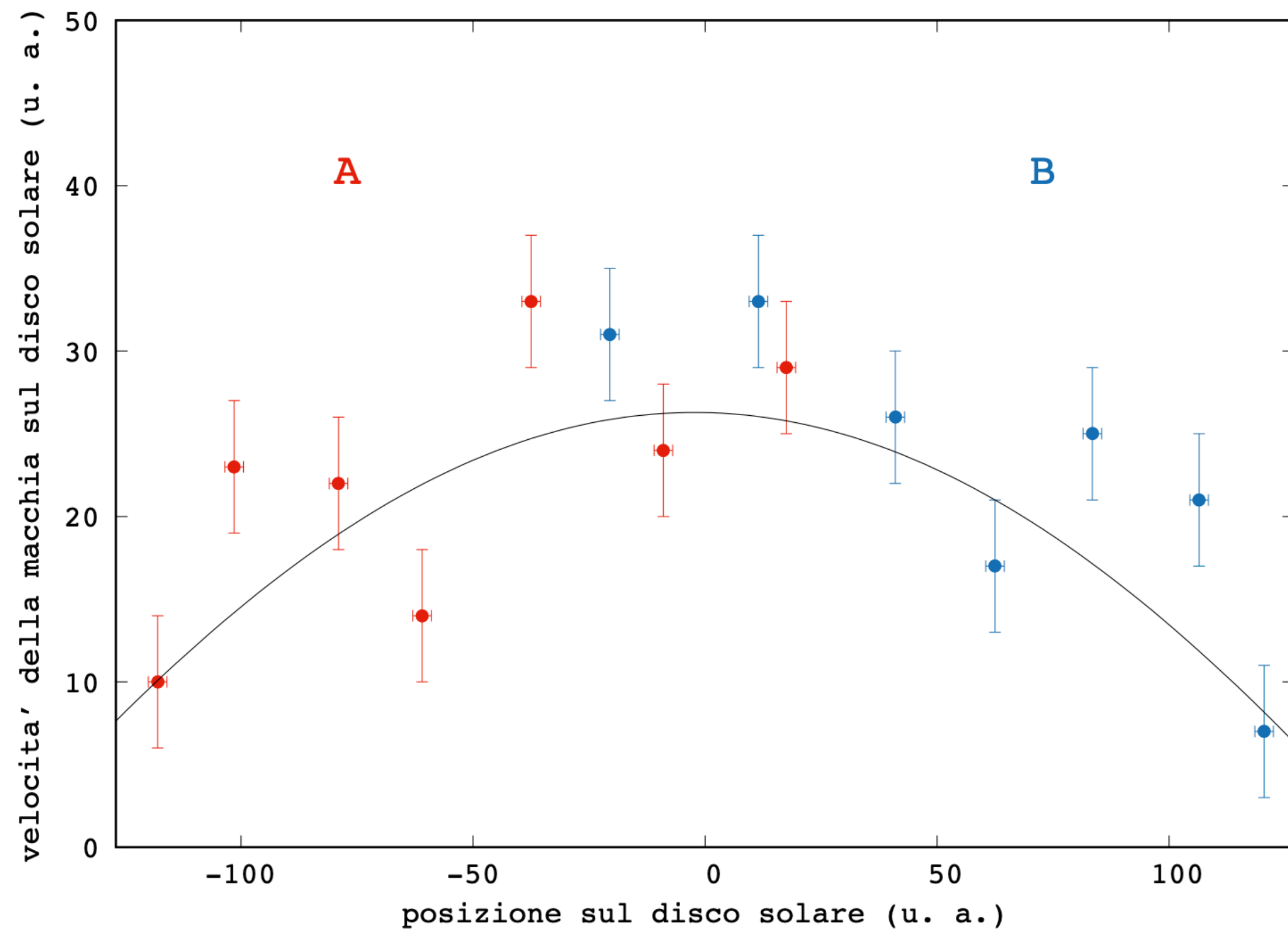
Lug. D. 6.



Engl. D. 7



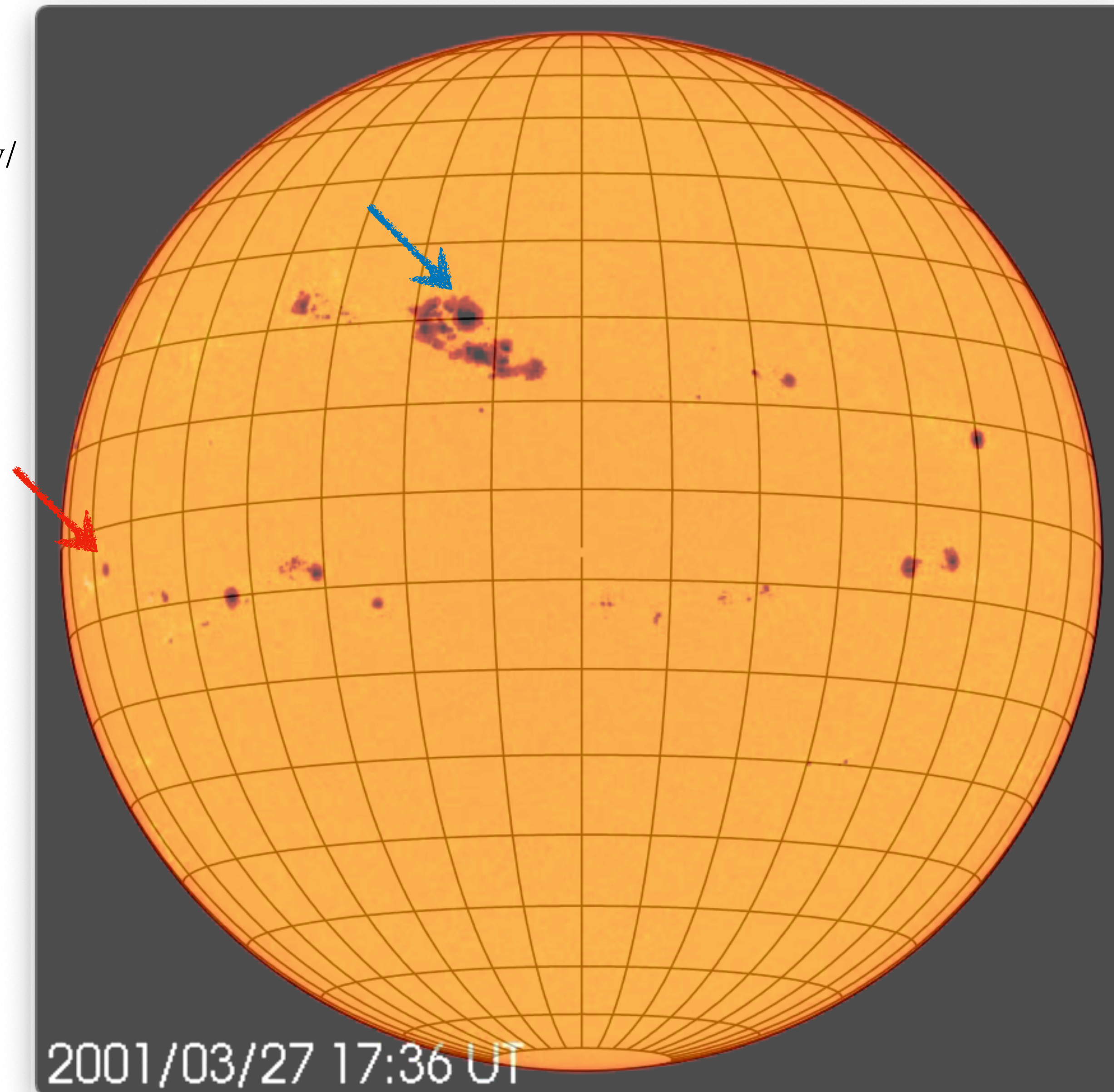
L.H.G. D 8

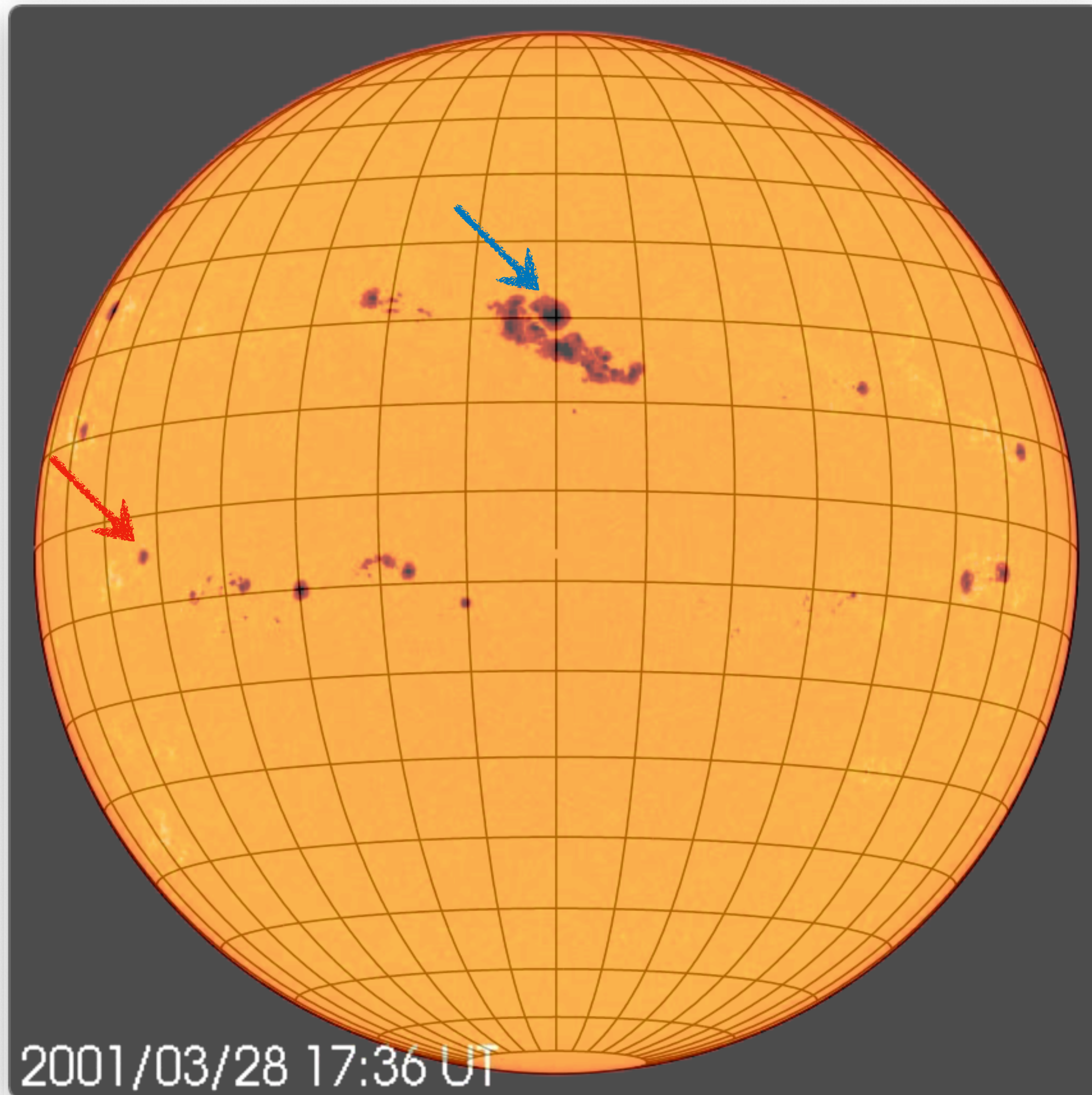


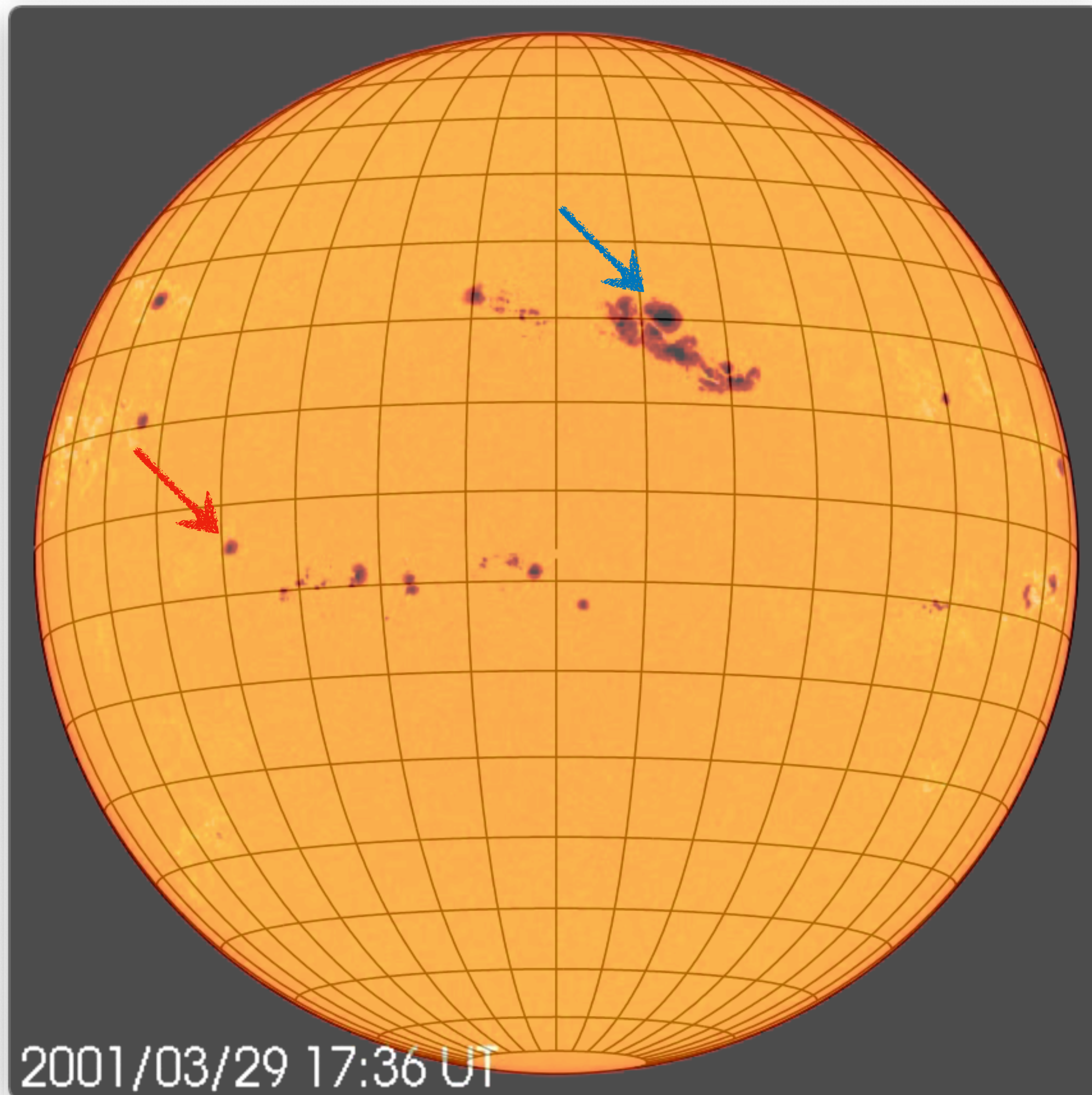
“[Le macchie che] si discostano dalla circonferenza, vengono separandosi, e allontanandosi l’una dall’altra sempre più, sin che si trovano con pari distanze remote dal centro del disco, nel qual luogo è la lor massima separazione; d’onde partendosi, tornano di nuovo a ravvicinarsi tra di loro più, e più secondo che s’appressano alla circonferenza.”

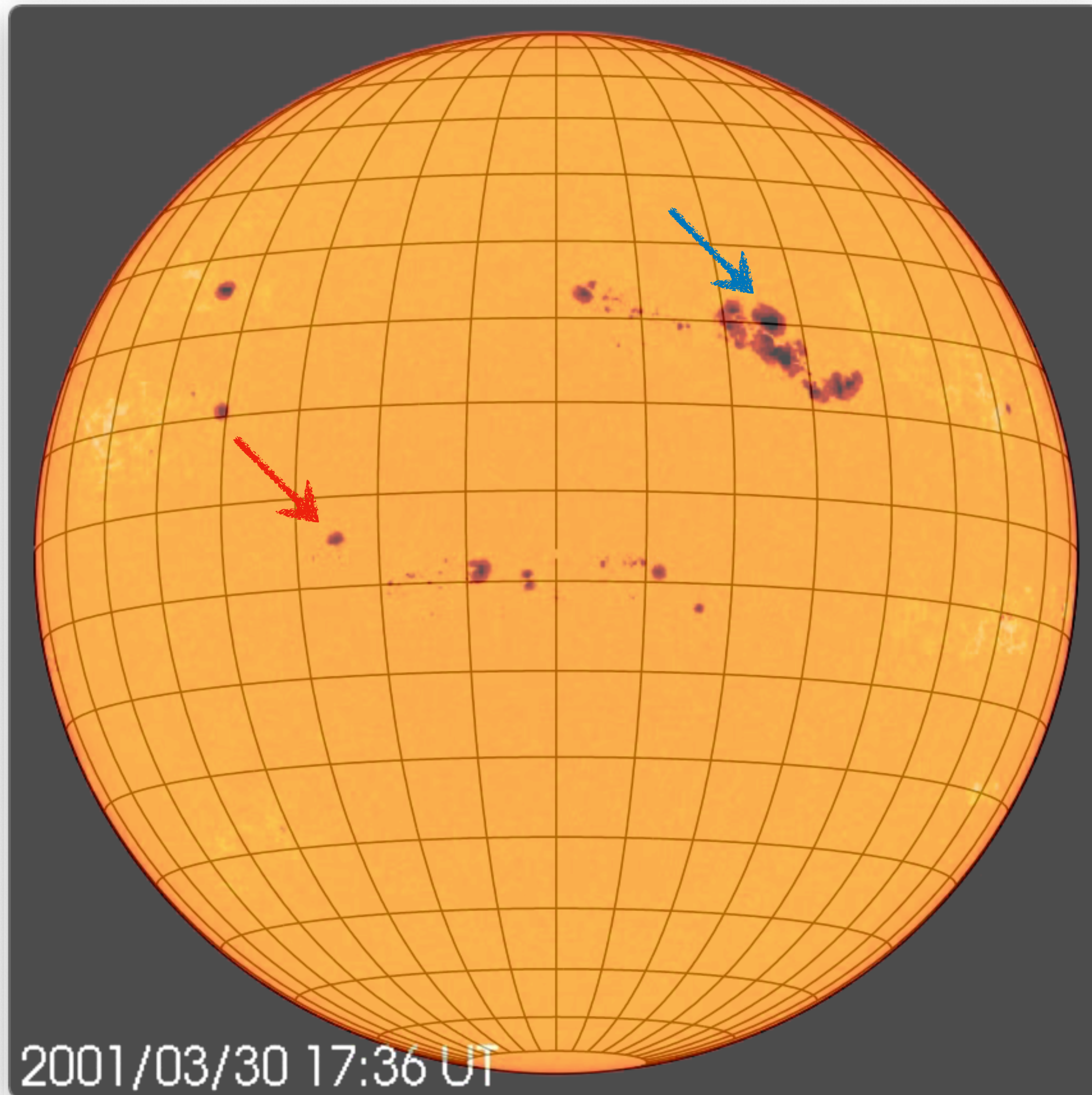
SOHO

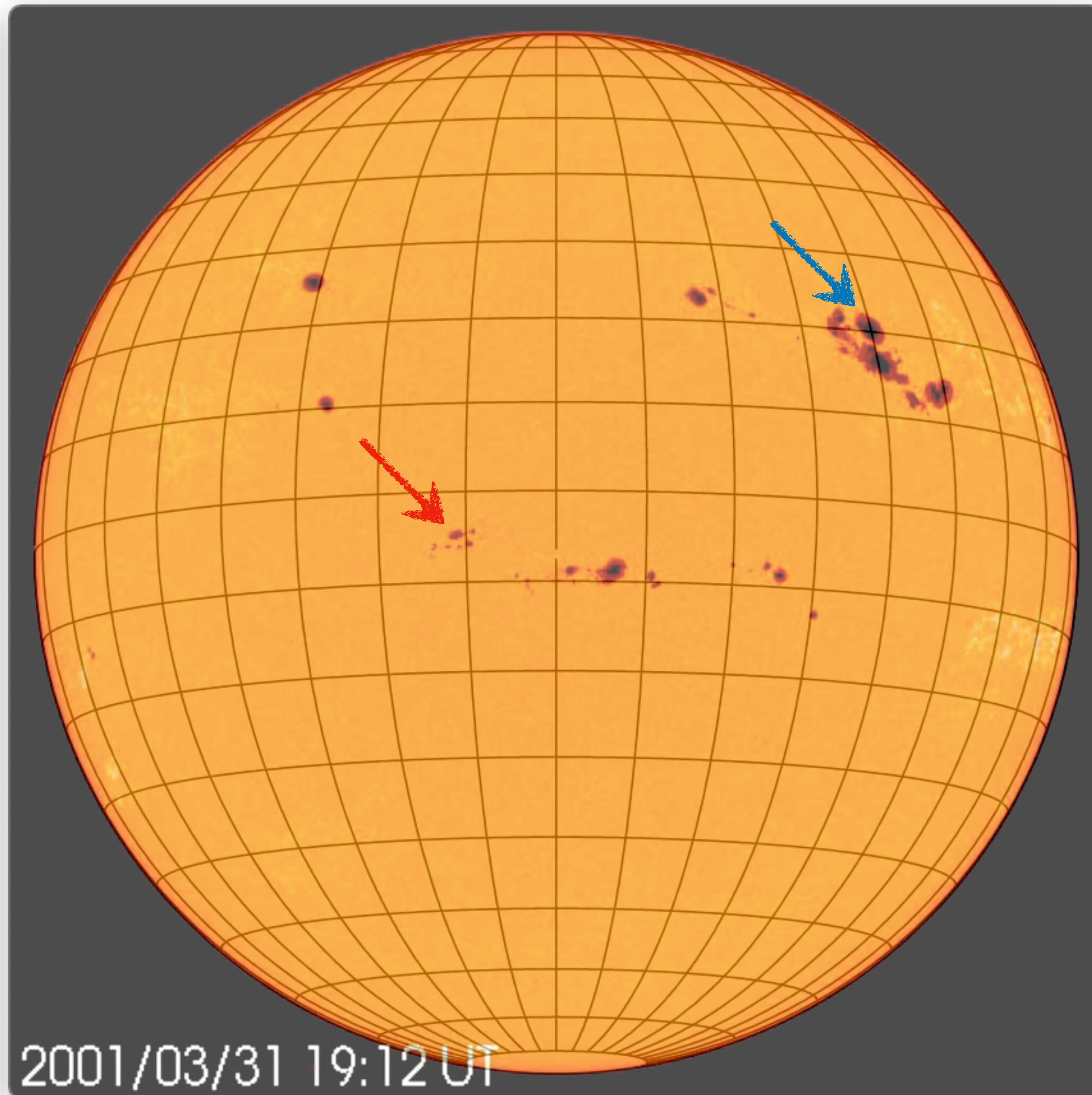
<https://sohowww.nascom.nasa.gov/>

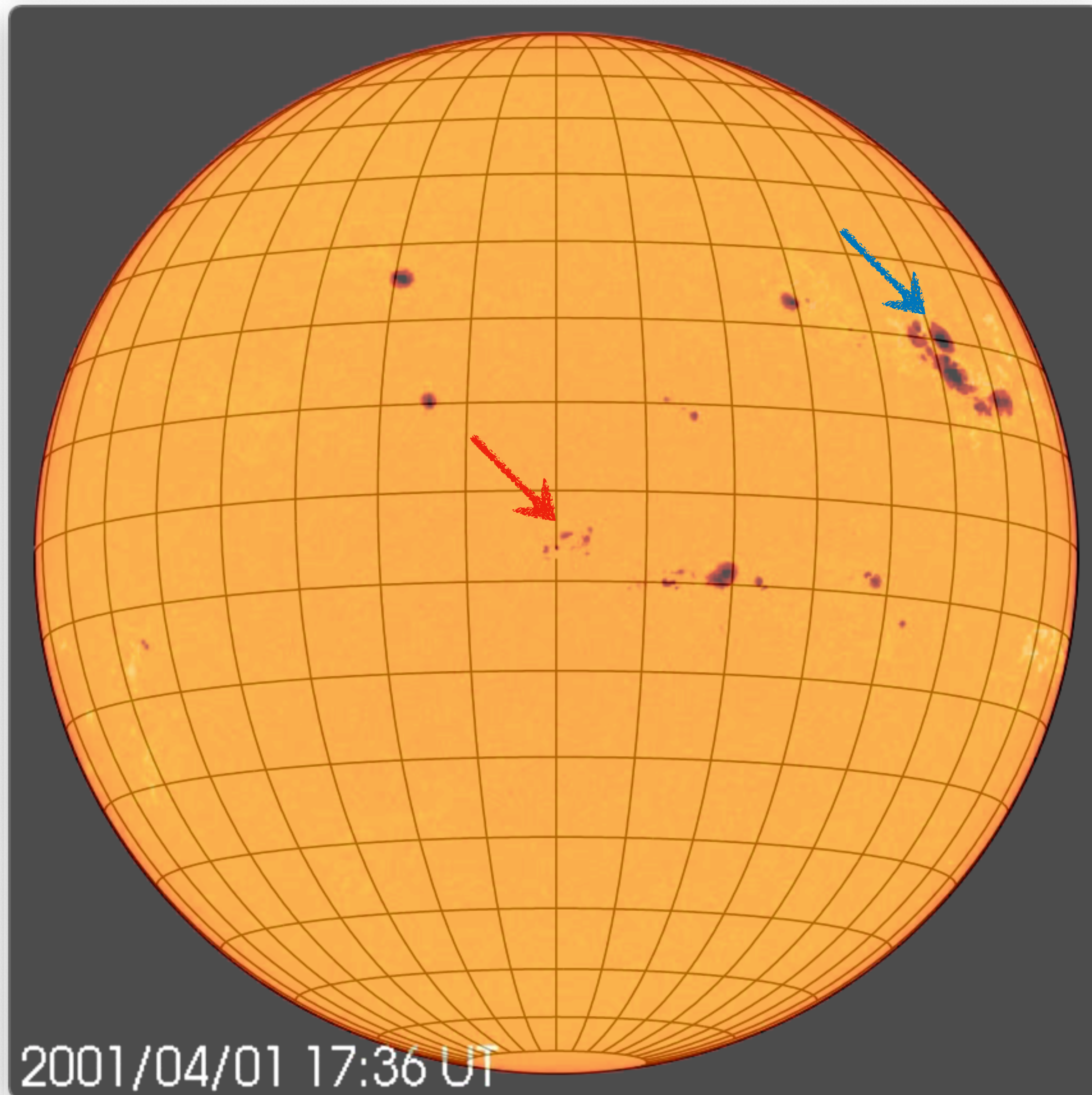


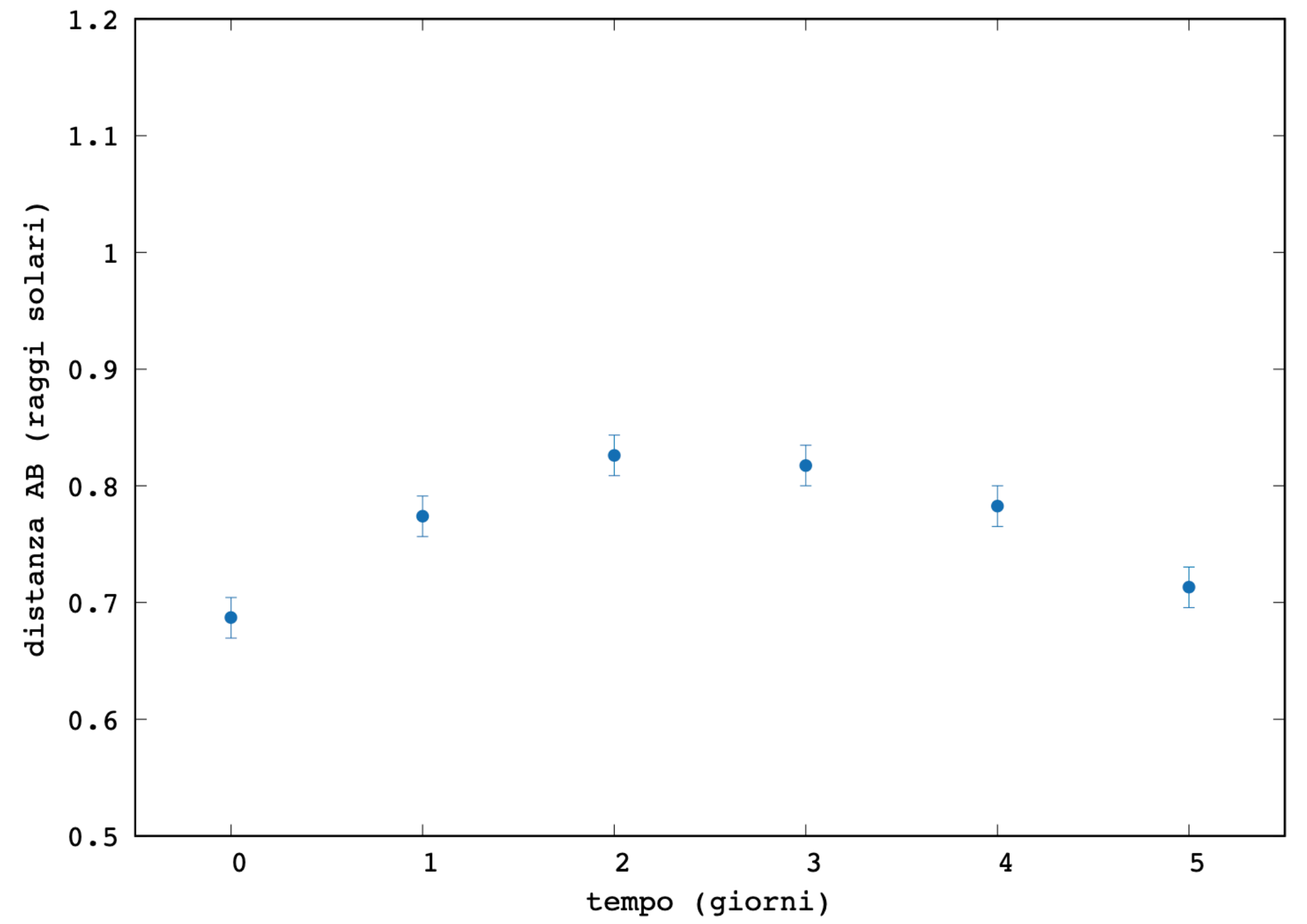
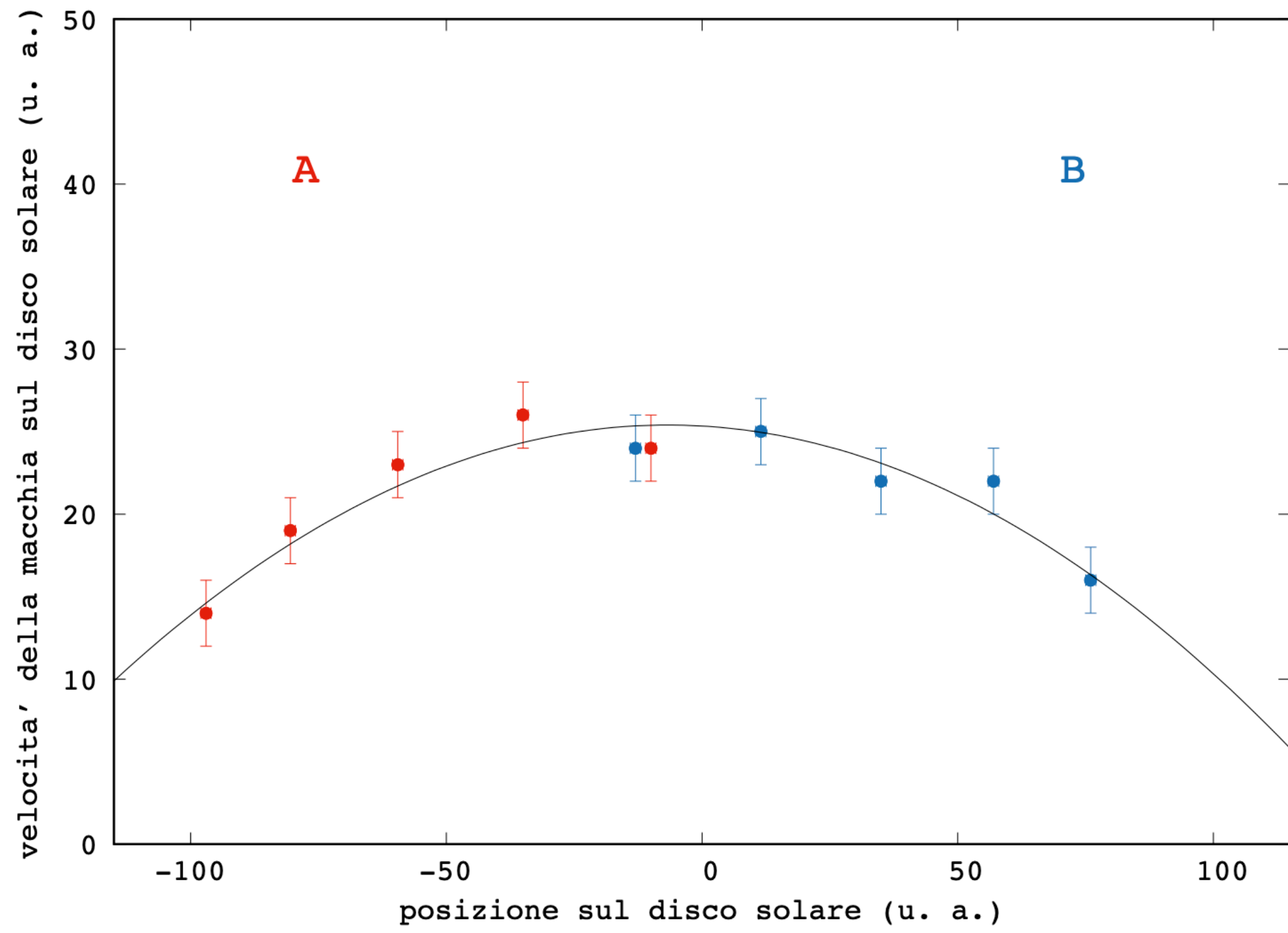




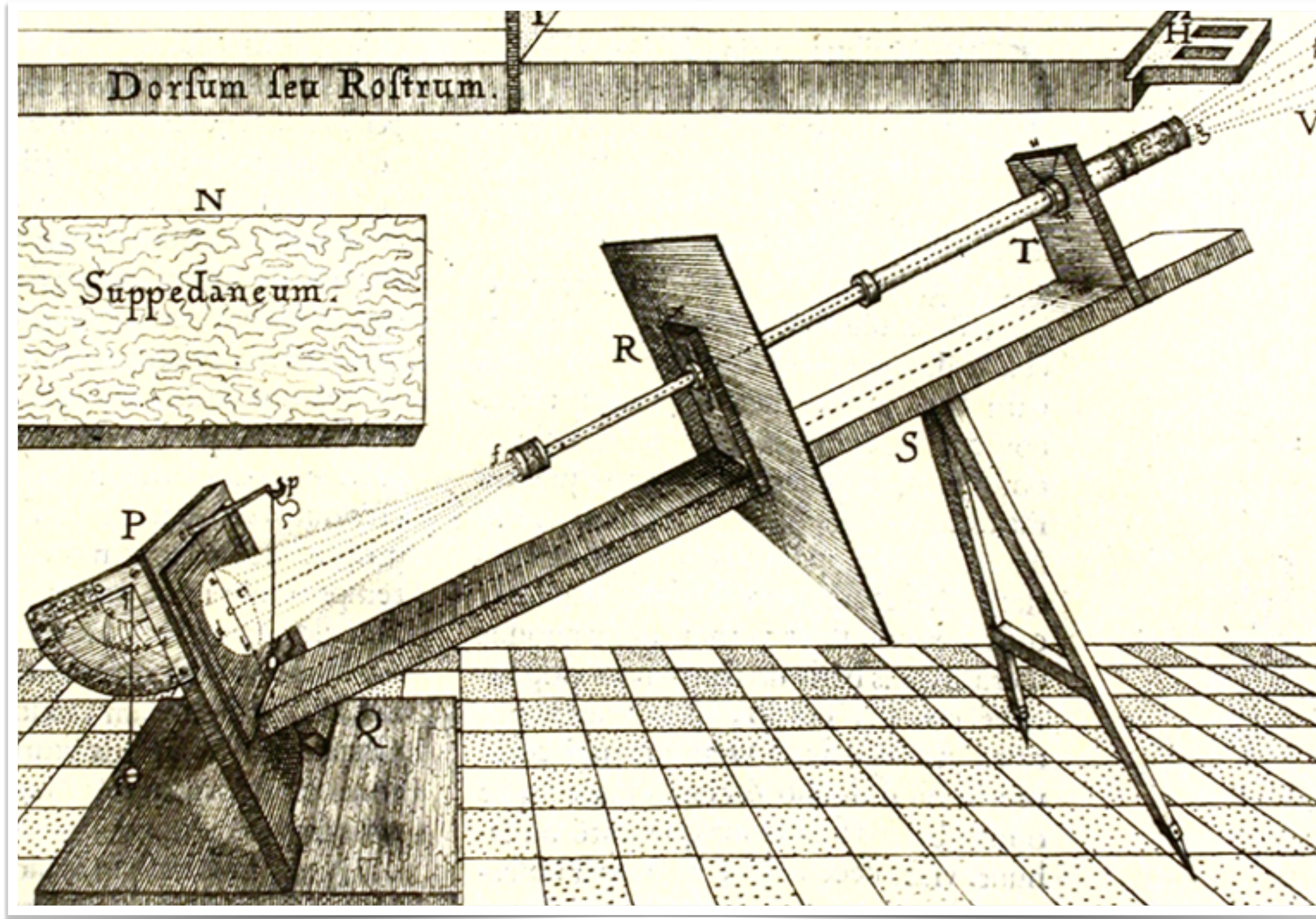






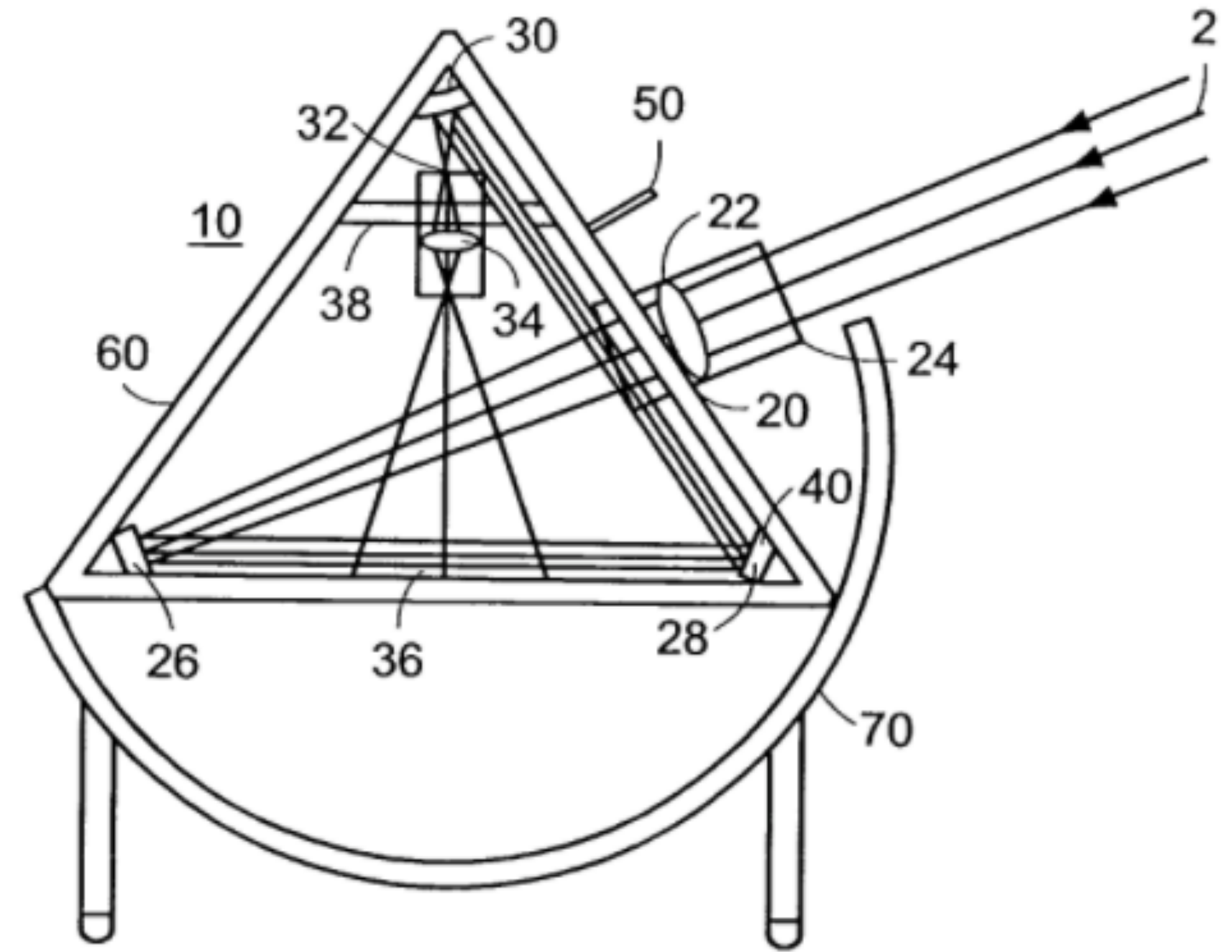


Diversi anni più tardi, Scheiner presenta una “macchina” per l’osservazione delle macchie solari, perfezionando quanto proposto da Benedetto Castelli e Galileo



Cristoph Scheiner
Machina helioscopica
(Rosa Ursina, 1630)

Sunspotter



Possibili esercitazioni per gli studenti

1. Scaricare una serie di immagini solari in luce bianca dal database di SOHO e con gli opportuni dischi di Stonyhurst far calcolare agli allievi la velocità angolare del Sole in gradi/giorno, introducendo i concetti di *media* e di *incertezza di misura*.
3. Determinare la velocità delle macchie sul disco, in funzione della posizione: diminuisce avvicinandosi al bordo del disco. Si riporta in grafico la velocità in funzione della distanza dall'asse di rotazione. Con un modello geometrico si spiega che le macchie debbono essere contigue al Sole.