

L'eliometro e le misure delle prime distanze stellari, 1838-1912: una scheda divulgativa

Paolo Paura – INAF Osservatorio Astronomico di Capodimonte, 2026



Fig.1 - In alto a sinistra la stella Canopo e in alto a destra la stella Sirio. Ma quanto sono lontane?

Crediti: European Southern Observatory

Premessa

Questa breve scheda divulgativa tratta, in una maniera molto panoramica e discorsiva, unicamente delle misure di parallassi annue stellari eseguite, dagli anni '30 dell'Ottocento fino agli anni '20 del Novecento, con un particolare tipo di telescopio ottico, l'eliometro. Questa presentazione non intende essere una storia delle misure delle prime distanze stellari che coinvolsero, già nell'Ottocento, anche altri strumenti astronomici come i cerchi meridiani o i telescopi rifrattori muniti di micrometri filari. Si è scelto l'eliometro, o astrometro, o micrometro a doppia immagine, (ma nel seguito, verrà indicato unicamente come eliometro) perché fu proprio con l'utilizzo di questo complesso strumento astronomico che si misurarono la gran parte delle prime distanze stellari fino all'utilizzo, negli anni '20 del Novecento, del mezzo fotografico.

La Parte 1 tratta delle tecniche osservative impiegate nelle misure di parallassi stellari. La Parte 2 illustra una semplice simulazione didattica, realizzata presso l'INAF – Osservatorio Astronomico di Capodimonte, che mostra il modo di misurare le parallassi stellari con l'eliometro dal 1838, anno della misura della prima distanza di una stella accettata dalla comunità astronomica, fino al 1912, anno di pubblicazione dell'ultimo catalogo di parallassi stellari misurate con l'eliometro.

Parte 1

La parallasse annua di una stella

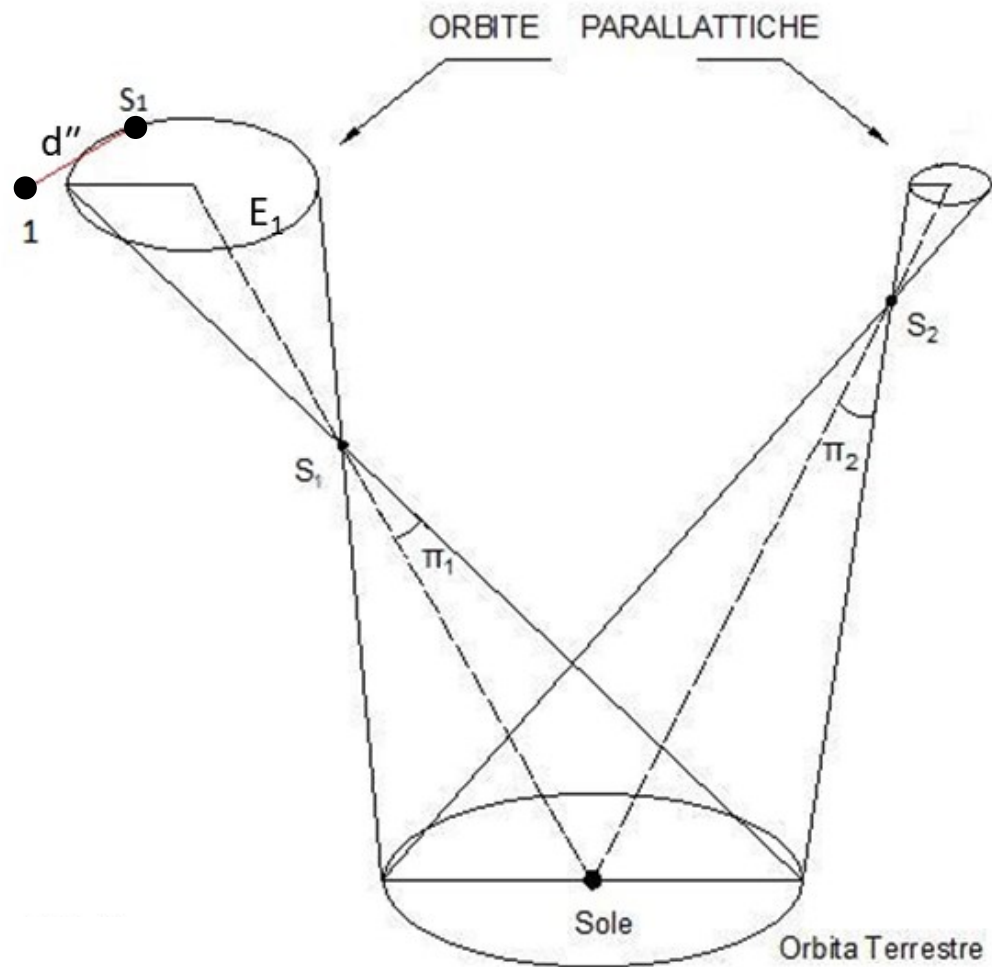


Fig.2 – L'ellisse di parallasse della stella S_1 e l'angolo di parallasse π_1

A causa del moto di rivoluzione della Terra intorno al Sole, la stella S_1 descrive, proiettata sulla volta celeste, la propria ellisse di parallasse E_1 . Nella Fig. 2 la stella 1 è quella lontana e di confronto rispetto a cui misurare le variazioni annuali periodiche della distanza angolare d'' (in secondi d'arco). L'angolo π_1 è l'angolo di parallasse della stella S_1 la cui misura fornisce, per via trigonometrica, la sua distanza dal Sole.

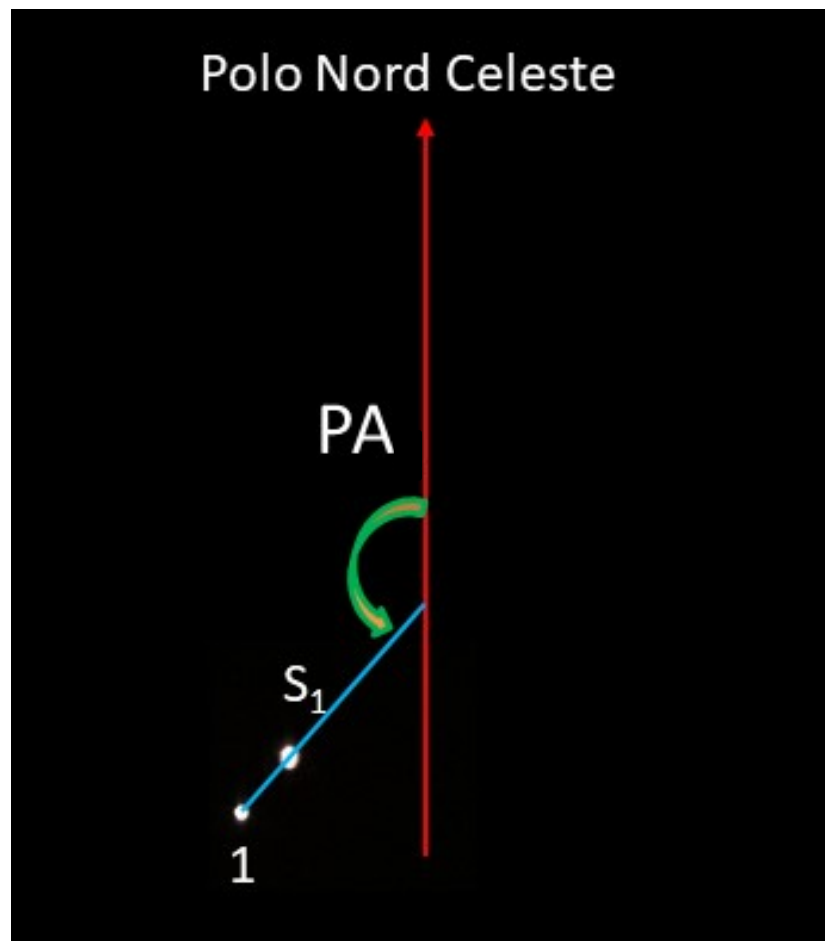


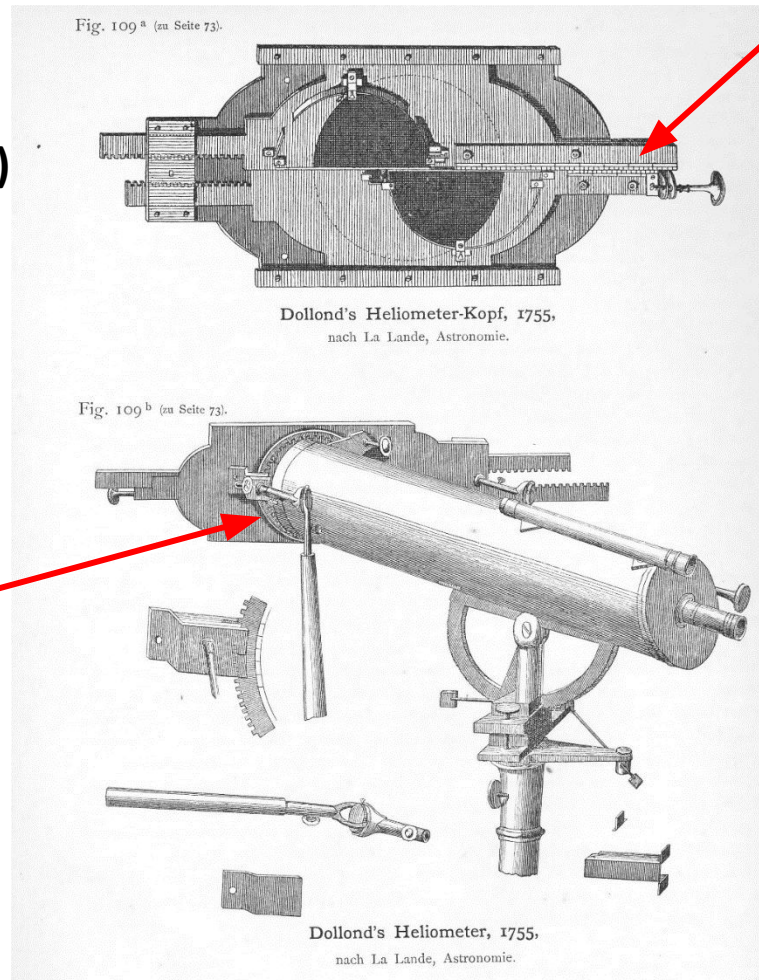
Fig.3 - L'angolo di posizione PA_1 della coppia di stelle (1 - S_1)

Si misurava, oltre alla distanza angolare d'' , anche la variazione che la direzione la congiungente le due stelle 1 - S_1 formava rispetto al Polo Nord Celeste, grandezza nota come *angolo di posizione* PA. Le parallassi annue che si misurano in questo modo si chiamano parallassi relative e sono quelle misurate con gli eliometri di cui ci occupiamo in questa scheda divulgativa.

L' eliometro e il suo funzionamento

Il termine eliometro deriva dall'iniziale utilizzo di questo strumento, già nella seconda metà del Seicento, per le misure del diametro apparente del Sole. **Queste misure erano, ovviamente, eseguite dagli astronomi per mezzo di SPECIFICI FILTRI SOLARI per proteggere la loro vista!** Abbandonate queste ricerche l'eliometro, (che mantenne impropriamente questo nome) si dimostrò, già dagli anni '30 dell'Ottocento, uno strumento straordinario per le misure delle parallassi stellari nelle quali diede un contributo fondamentale.

John Dollond (1706-1761)



Scala graduata per la misura della separazione lineare tra i due semi obiettivi

Scala graduata per la misura dell'angolo di posizione della coppia di stella

Fig.4 – Un eliometro del Settecento costruito da J. Dollond

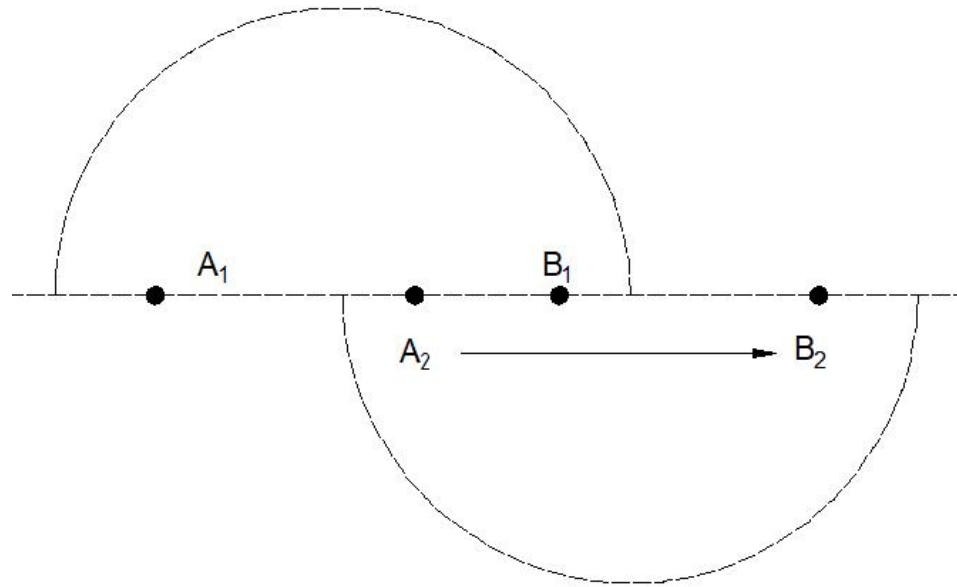
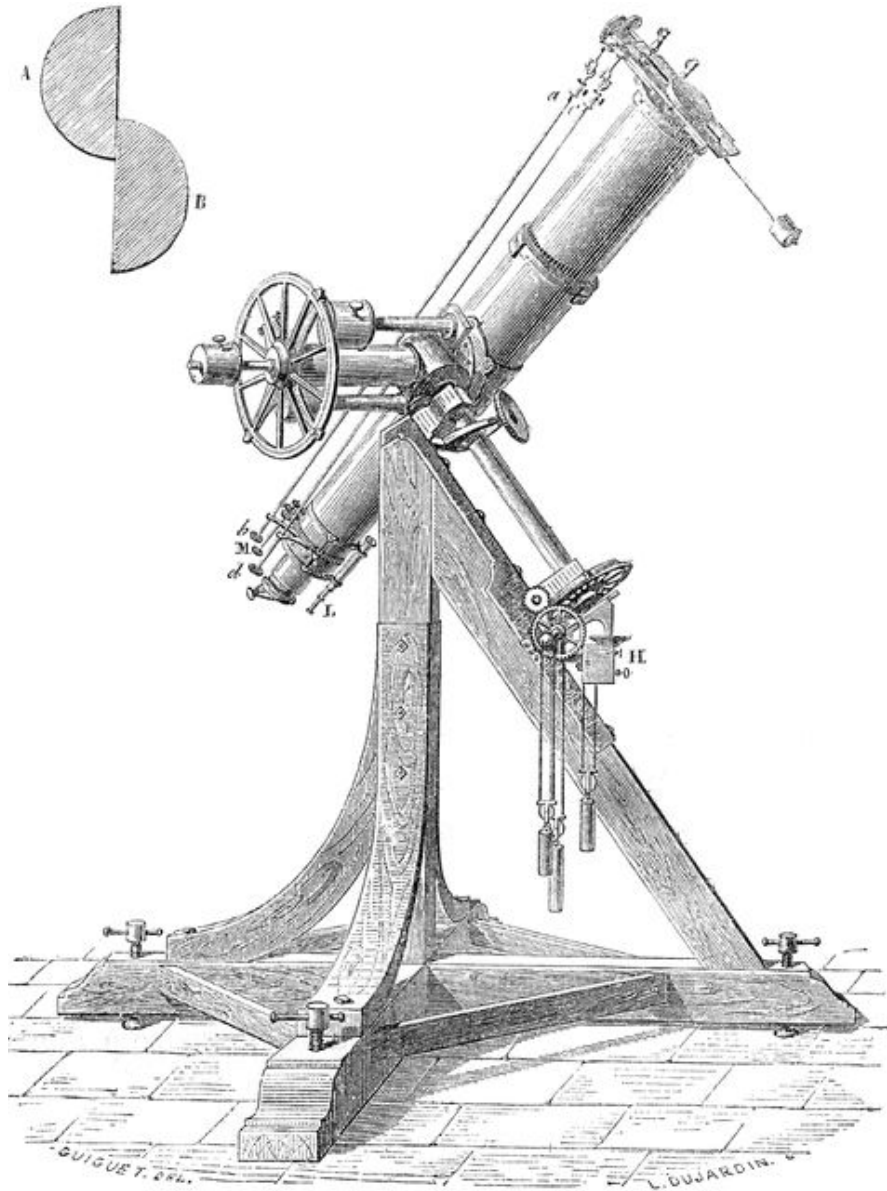


Fig.5 - I due semi obiettivi dei un eliometro

La Fig. 5 illustra il principio di funzionamento di un eliometro; i due semi obiettivi, ricavati tagliando un'unica lente (di un certo diametro e focale) in due parti uguali (nello specifico bisognava tagliare un doppietto acromatico), possono essere traslati reciprocamente da un'opportuna vite micrometrica. L'ottica geometrica insegna che ciascun semi obiettivo forma la propria immagine della coppia di stelle AB. La tecnica consisteva nel sovrapporre l'immagine della stella B_1 formata dal primo semi obiettivo con l'immagine della stella A_2 formata dal secondo semi obiettivo e leggere la loro separazione lineare tramite la scala graduata del micrometro. Questa misura forniva, nota la focale, la separazione angolare della coppia di stelle in cielo. Tramite una opportuna manopola micrometrica (vedi la Fig. 4) si poteva ruotare anche l'intero telaio con i due semi obiettivi per misurare, su di una scala graduata circolare, l'angolo di posizione della coppia di stelle.

*F. W. Bessel (1784 –
1846)*

Eliometro di Fraunhofer (costruttore)



Diametro = 158 mm

Focale = 2600 mm

I due semi obiettivi potevano essere traslati in modo tale che il campo visuale in cui effettuare le misure aveva un diametro angolare di $1^{\circ} 52'$

L'eliometro era fornito di un moto orario in ascensione retta, una novità assoluta introdotta da Fraunhofer, intorno al 1825, per i telescopi con montatura equatoriale

Fig. 6 - L'eliometro di Fraunhofer utilizzato da Bessel

Eliometro Università di Bonn (Merz-Mahler costruttori, 1848) "gemello" di quello di Bessel andato distrutto.



Particolare dell'obiettivo, formato dai due semi obiettivi.

Particolare dei tamburi graduati delle manopole che traslavano reciprocamente i due semi obiettivi su cui leggere i valori degli spostamenti lineari.

Fig.7 - I due semi obiettivi e i tamburi graduati

Particolare dell'oculare e delle manopole micrometriche la cui rotazione traslava i due semi obiettivi. La manopola centrale ruotava l'intero telaio con i semi obiettivi per le misure degli angoli di posizione.

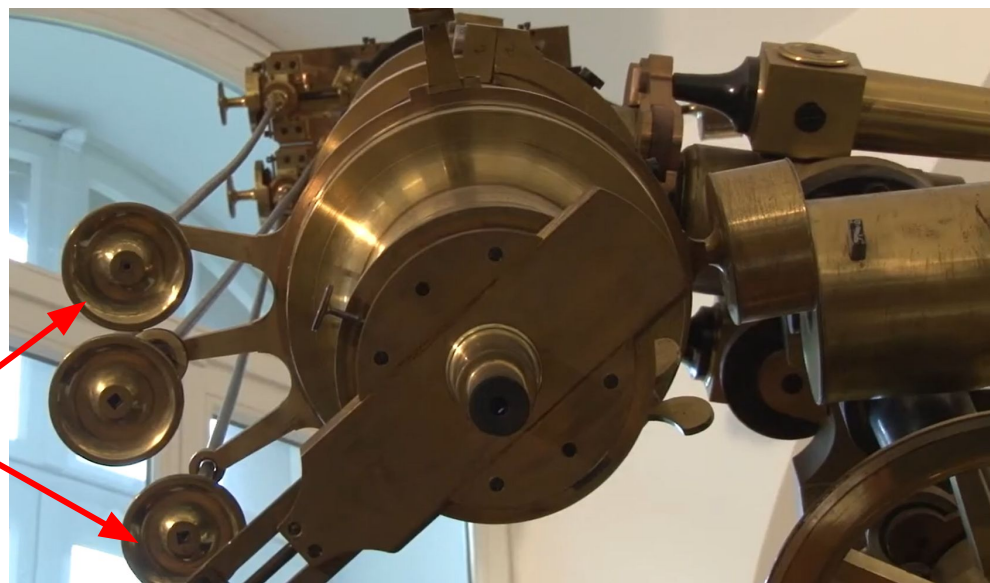


Fig.8 - L'oculare e le manopole micrometriche

Ma perché Bessel scelse un eliometro come strumento per le sue misure di parallassi stellari ?

- perché il suo grande campo di vista consentiva di poter scegliere le opportune stelle di riferimento che nei comuni rifrattori, usati per le misure di stelle doppie e quindi con campi relativamente piccoli, era difficile poter scegliere.
- perché non sussisteva il problema di illuminare i fili come nel micrometro, problema molto serio quando si misuravano stelle con differenti magnitudini.
- perché la tecnica della sovrapposizione delle immagini non richiedeva l'uso del moto orario (comunque presente, ormai, in tutti gli eliometri).

Ma leggiamo tutto questo nelle parole dello stesso Bessel:

“ The heliometer has advantages peculiar to itself, which give the following greater extension to its applicability :—it will measure far greater distances than the wire-micrometer ; it requires no sort of illumination of the wires ; it is, lastly, even without clock-work, not affected by a disturbance through the diurnal motion.

da: <https://articles.adsabs.harvard.edu/full/1842MmRAS..12....1M> (pag. 51)

Bessel scelse come stella su cui eseguire le misure di parallasse annua il sistema doppio 61 Cygni a causa del suo forte moto proprio che indicava una relativa vicinanza al Sole. All'epoca di Bessel (1838) le due componenti il sistema binario avevano una separazione angolare di circa $16''$

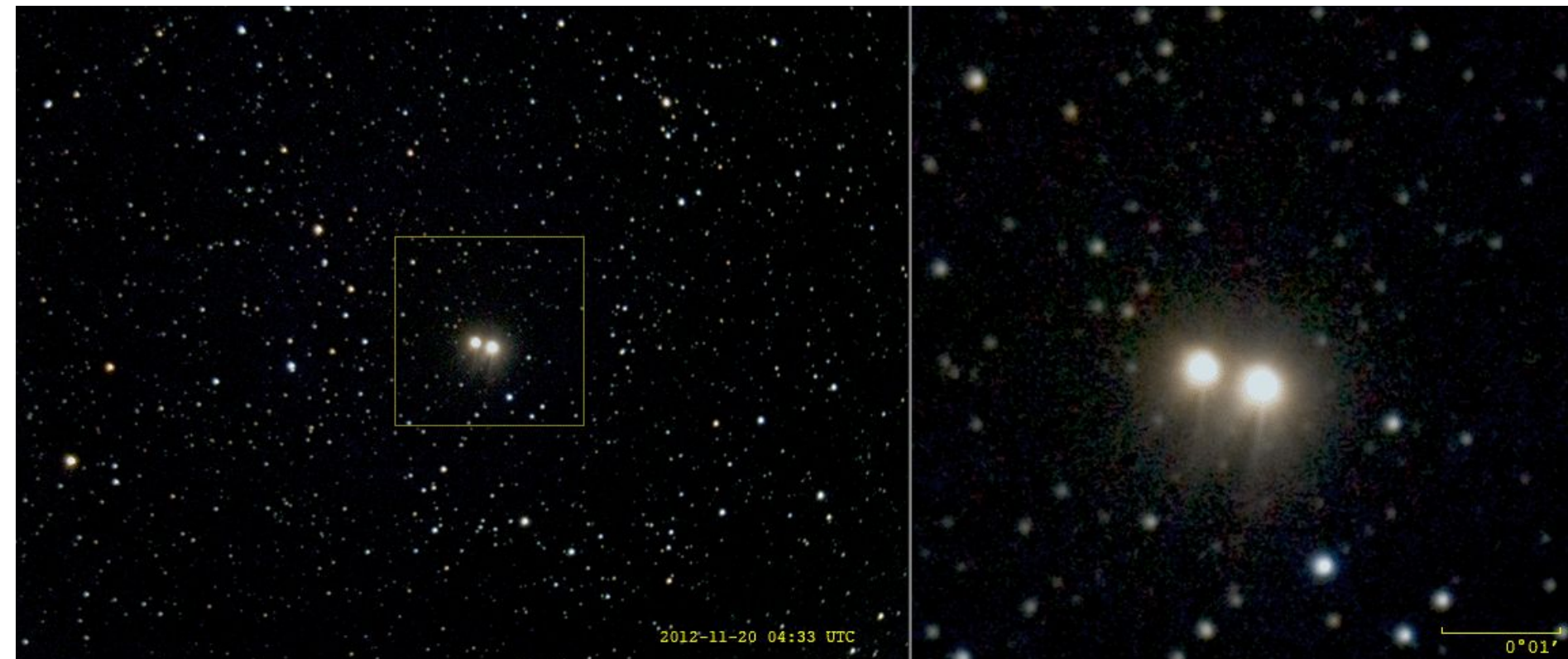


Fig.9 - La stella doppia 61 Cygni

Vedi l'immagine animata che mostra il forte moto proprio della stella al link:

https://it.wikipedia.org/wiki/61_Cygni#/media/File:61_Cygni_Proper_Motion.gif

Scelse come coppia di stelle di riferimento, rispetto a cui misurare le variazioni angolari dovute alla parallasse annua, due stelle A e B disposte ortogonalmente tra loro rispetto alla congiungente il sistema doppio 61 Cygni e le cui distanze angolari sono riportate nella figura.

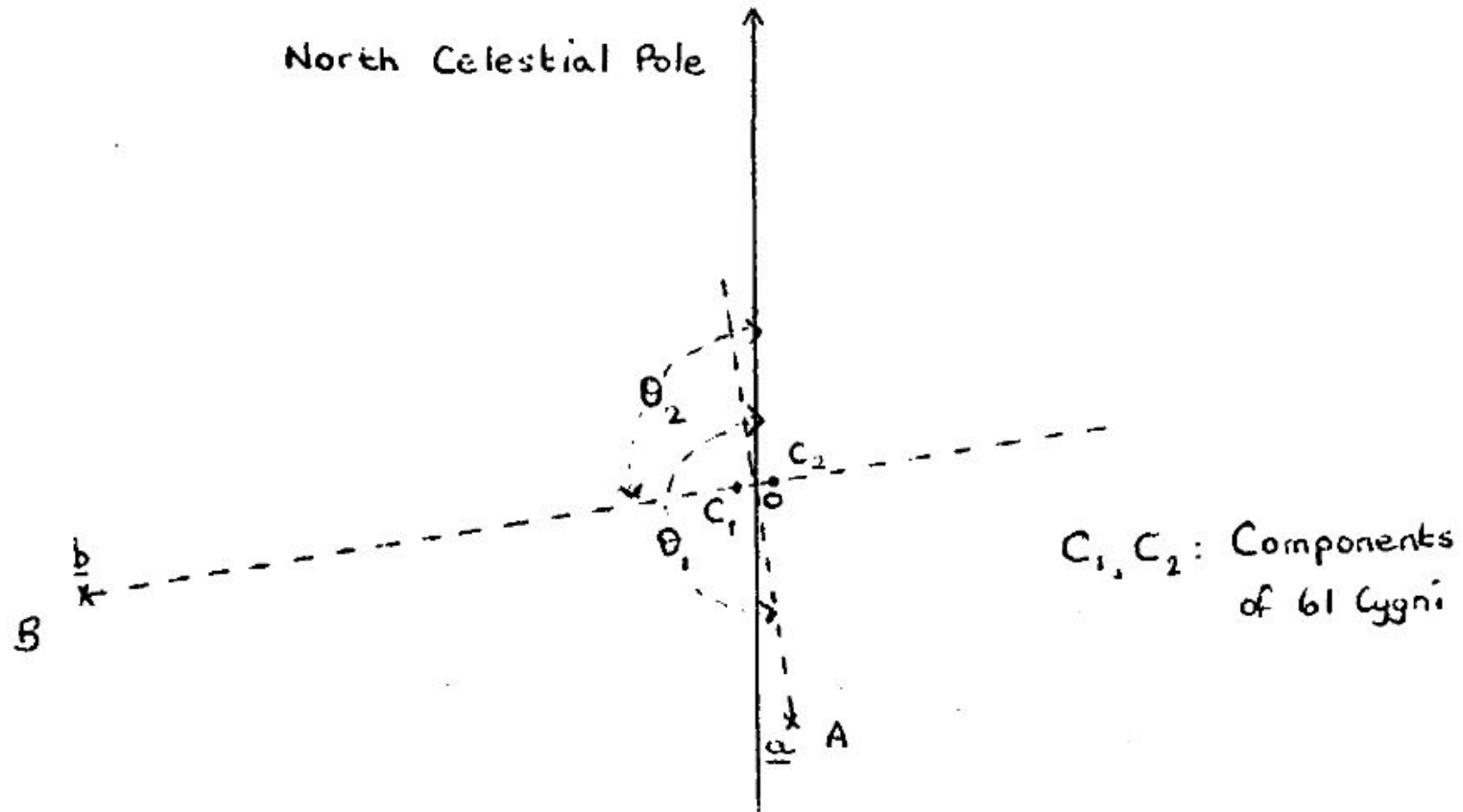


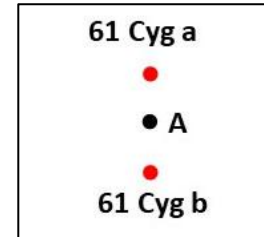
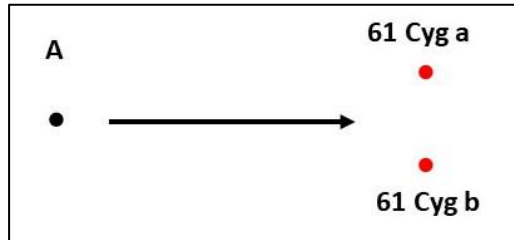
Fig.10 – Le due stelle di riferimento A e B; le loro distanze angolari dalla stella 61 Cygni erano (all'epoca di Bessel) rispettivamente: $A = 466''$, $B = 704''$

COME si effettuavano le misure. Una volta puntata la stella:

si traslava il semi obiettivo inferiore dell'eliometro e si portava la stella A di riferimento al centro della congiungente le due stelle del sistema binario 61 Cygni; si ripeteva la stessa misura per quattro volte.



Fig. 11a



4 misure

Poi si traslava il semi obiettivo superiore dell'eliometro e si ripeteva la medesima operazione altre quattro volte sempre con la stella di riferimento A.



Fig. 11b

4 misure

Al termine di questo primo set di otto misure si ruotava di 180° l'intero telaio dell'eliometro così da invertire di posto i due semi obiettivi; si ripeteva analogamente un ulteriore set di otto misure sempre con la stella di riferimento A



Fig. 11c

4 misure



Fig. 11d

4 misure

Si ripeteva poi lo stesso set di 16 misure con la stella di riferimento B

Leggiamo le parole di Bessel che si riferiscono alla coppia A e B di stelle di riferimento:

I have measured with the heliometer the distances of these stars from the point which bisects the distance between the two stars of 61 *Cygni*; as I considered this kind of observation the most correct that could be obtained, I have commonly repeated the observations sixteen times every night. When the atmosphere has been unusually unsteady, I have, however, made more numerous repetitions;

da: <https://articles.adsabs.harvard.edu/full/1838MNRAS...4..152B> (pag.153)

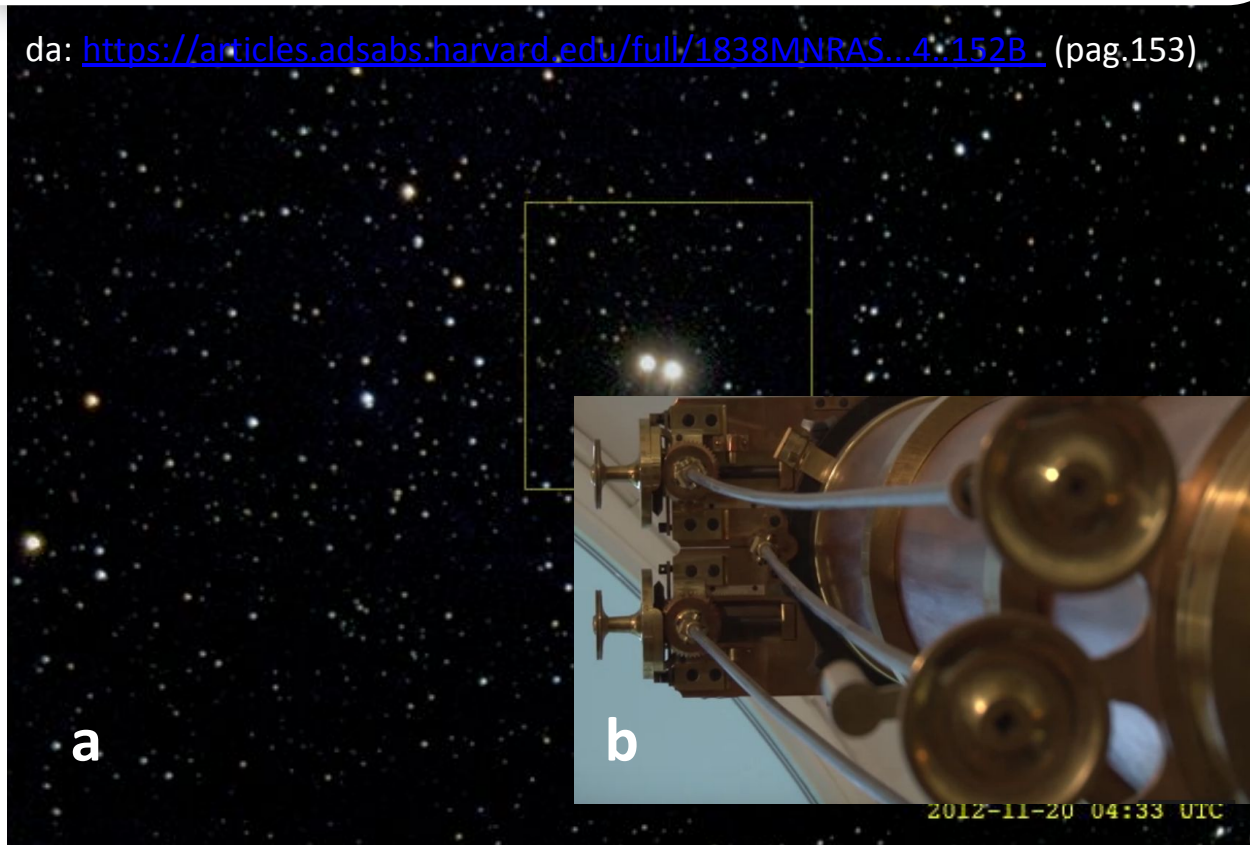


Fig.12 - Collage di immagini che simula le misure di Bessel

COME Bessel leggeva i valori delle misure sui tamburi graduati:

Per leggere i valori riportati sui tamburi graduati (per quanto concerne le separazioni angolari) e quelli riportati sul cerchio graduato (per le misure degli angoli di posizione), Bessel ruotava l'eliometro intorno al suo asse di declinazione fino a portare il suo obiettivo all'altezza dell'osservatore e ne leggeva i valori sulle scale graduate; successivamente puntava nuovamente la stella ed iniziava una nuova serie di misure di posizione.

Ma leggiamo le parole dello stesso Bessel:

The star to be observed is brought into the field by the circles which give the hour-angle and the declination, and the clock-work is set in motion; the dome is then turned and opened, and the required measure made :— to read off the results of the screws and the position-circle, there is no need to mount to the object-glass, which is often very high, but while the clock-work is still going, the telescope is turned about the declination-axis, till the object-glass is brought down to the observer; when the readings are complete, the telescope is turned back round the declination-axis till the star is brought again into the field of view, and the observation is then repeated.

Una volta eseguita la misura della distanza angolare della 61 Cygni rispetto alla stella di confronto A (data dalla media delle 16 misure precedentemente illustrate) si procedeva alla correzione matematica di questa distanza angolare causata:

- dalla rifrazione atmosferica
- dagli effetti del moto proprio della stella 61 Cygni (le stelle di confronto avevano moti propri trascurabili)
- dall'effetto dell'aberrazione annua della luce
- dagli effetti di precessione e nutazione quando si dovevano riportare le osservazioni a una data di riferimento rispetto alla quale misurare le variazioni di posizione nel tempo.

Questo per ogni singola osservazione !

Bessel disponeva al termine delle osservazioni di un insieme di ben 183 misure su entrambe le stelle di riferimento distribuite nell'arco di circa un anno, dalla quali ricavare il valore numerico dell'angolo di parallasse ed il suo errore. Questo lungo e laborioso procedimento matematico venne eseguito con il metodo statistico dei minimi quadrati, introdotto già nel 1805 dal matematico Legendre e successivamente implementato da altri matematici tra cui Laplace e Gauss.

Dall'insieme delle misure su entrambe le stelle Bessel ricavò, per la stella 61 Cygni, un valore dell'angolo di parallasse di $0''.3136 \pm 0''.0202$ che corrispondeva a 657700 volte il valore dell'unità astronomica allora misurata.

Ma leggiamo le parole di Bessel:

the most
probable value of the annual parallax of 61 *Cygni* $= 0''.3136$.

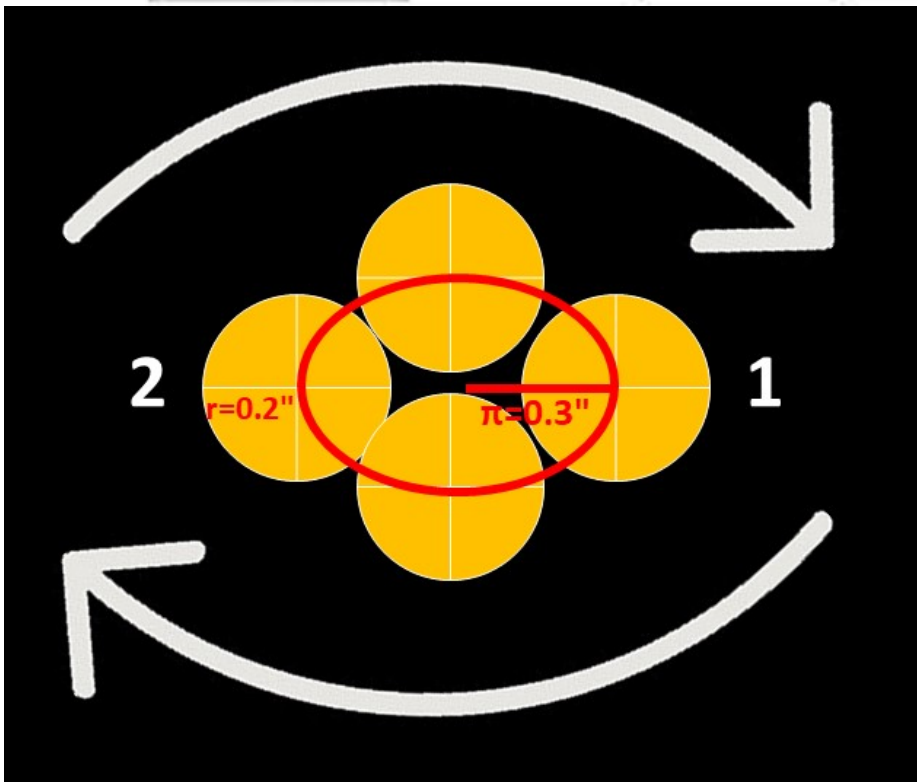
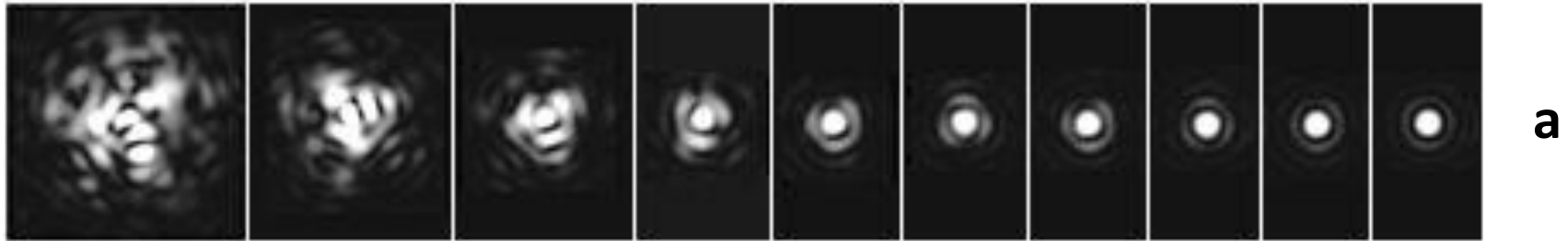
As the mean error of the annual parallax of 61 *Cygni* ($= 0''.3136$)
is only $\pm 0''.0202$,

Assuming it $0''.3136$,
we find the distance of the star 61 *Cygni* from the sun 657700
mean distances of the earth from the sun

da: <https://articles.adsabs.harvard.edu/full/1838MNRAS...4..152B> (pag.160)

Questo significa che se, in scala, l'Unità Astronomica = 1 m, allora il Sole è una pallina di poco più di 9 mm di diametro; dalla Terra, ruotando intorno al Sole alla distanza di un metro, bisognava osservare la piccolissima oscillazione di parallasse della "pallina" 61 Cygni distante dalla "pallina" Sole circa 658 km! Una misura ben difficile.

Ma soprattutto ricordiamo che un'immagine stellare, nei migliori siti astronomici del mondo e nelle migliori serate osservative, ha una dimensione angolare di seeing $< 0''.4$; questo significa che l'angolo di parallasse misurato della 61 Cygni, $\sim 0''.31$, ha dimensioni angolari confrontabili con il suo diametro angolare di seeing.



b

Vedi video 4 in:

<https://www.oacn.inaf.it/pagine-personali/leliometro-e-le-misure-delle-prime-distanze-stellari/>

Fig.13 a) - Il seeing atmosferico e le immagini stellari. b) La piccolissima oscillazione di parallasse annua di un'immagine stellare con raggio di seeing $r = 0''.2$ su di un'ellisse di parallasse con $\pi = 0''.3$ durante i sei mesi che intercorrono dal passaggio dalla posizione 1 alla posizione 2.

D. Gill (1843 – 1914)
W. Elkin (1855 – 1933)

Con David Gill e W. Elkin inizia, nel 1880, il primo studio sistematico di parallassi annue stellari misurate con l'eliometro.

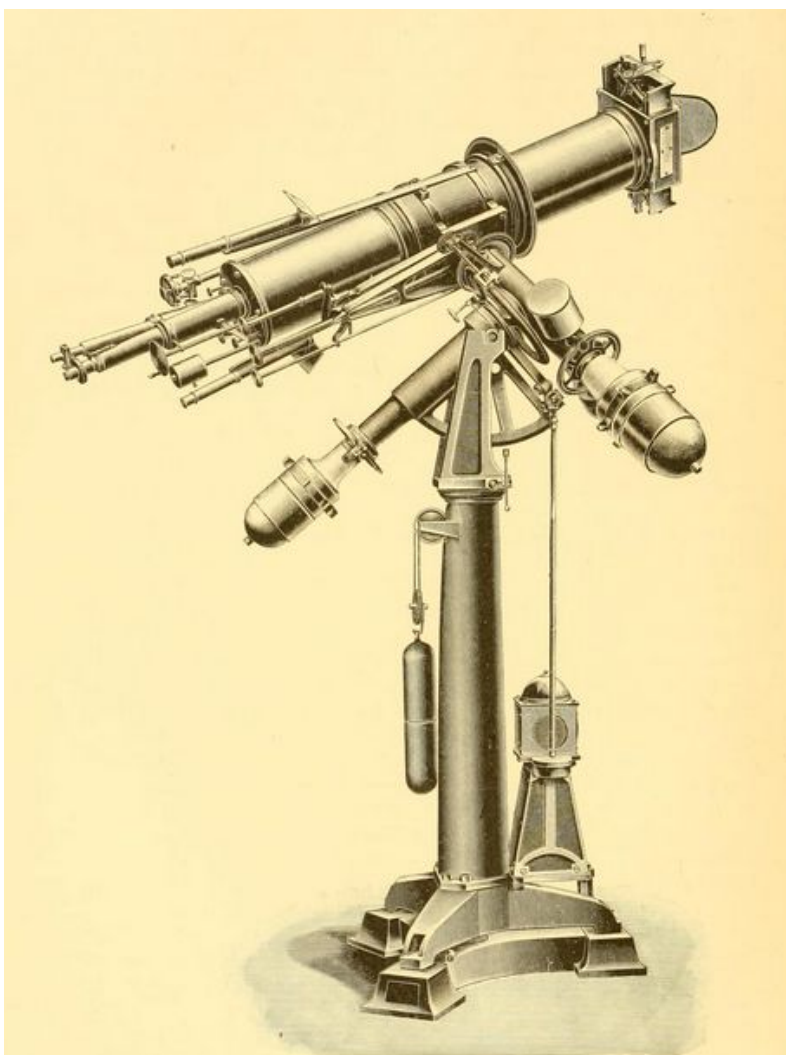


Fig.14 - Eliometro di Repsold (costruttore)
diametro = 110 mm, focale = 1700 mm



Fig.15 - Tubo ottico dell'eliometro di Repsold $\varnothing = 110$ mm

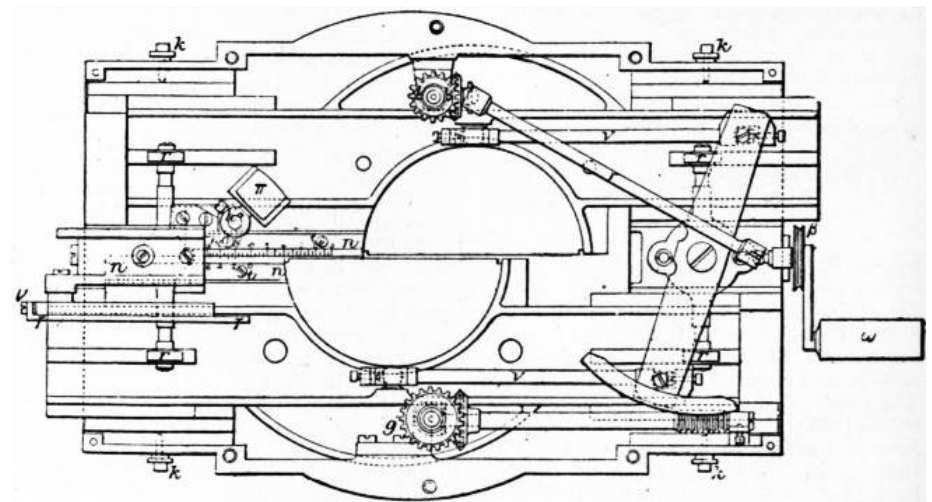


Fig.16 - Particolare dei due semi obiettivi

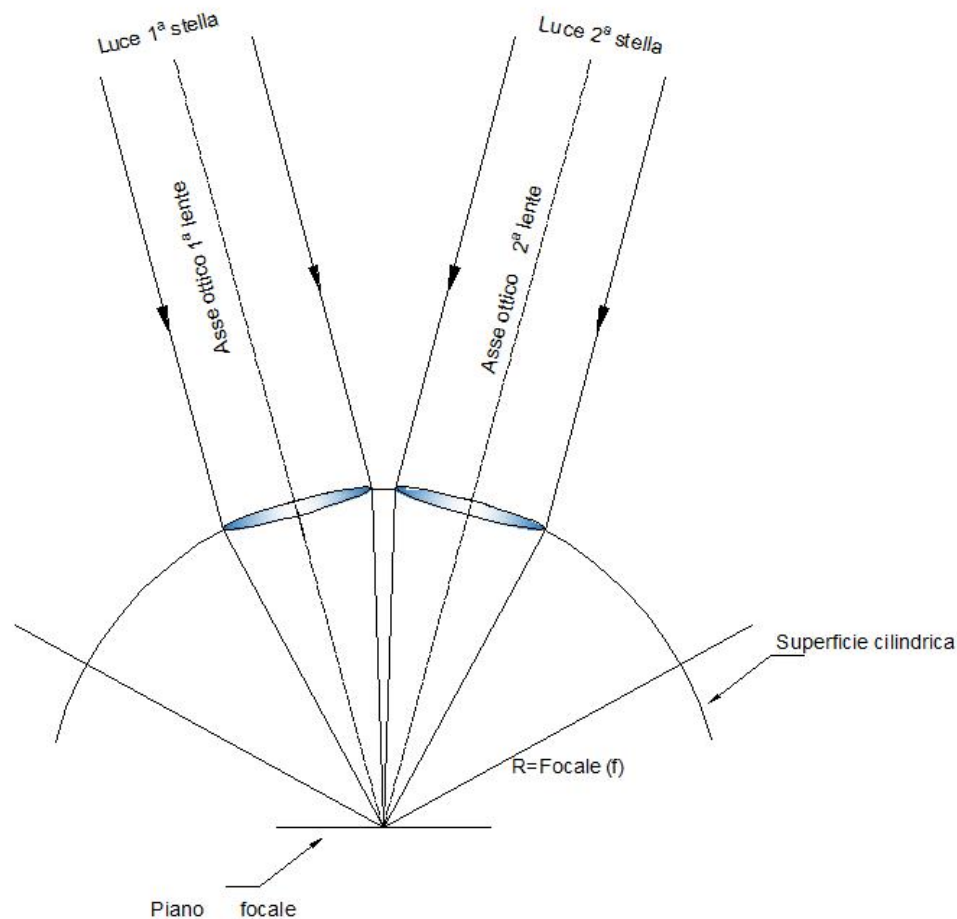


Fig.17 - I due semi obiettivi traslano su guide cilindriche

A differenza dell'eliometro di Fraunhofer utilizzato da Bessel, questo nuovo strumento di Repsold, così come tutti quelli qui descritti successivamente, impiegava due semi obiettivi che potevano traslare su due guide cilindriche aventi un raggio di curvatura pari alla loro focale; questo importante nuovo accorgimento evitava la distorsione delle immagini sul piano focale introdotte dalle guide rettilinee.

HELIOMETER-DETERMINATIONS
OF
STELLAR PARALLAX

IN THE SOUTHERN HEMISPHERE

BY

DAVID GILL, LL.D. (ABERD. & EDIN.), F.R.S.

HER MAJESTY'S ASTRONOMER AT THE CAPE OF GOOD HOPE

AND

W. L. ELKIN, PH.D. (STRASSBURG)

(From the MEMOIRS OF THE ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY, Vol. XLVIII.)

LONDON
PUBLISHED BY THE SOCIETY
AT THEIR APARTMENTS
BURLINGTON HOUSE

1884

Fig.18 - Iniziano le prime misure sistematiche di parallassi stellari con l'eliometro (1884)

CONTENTS.

	PAGE
Preface	I
Introduction	4
§ 1. Parallax of α Centauri—GILL, 1st series	13
§ 2. Do. do. —GILL, 2nd series	40
§ 3. Do. do. —ELKIN, 1st series	52
§ 4. Do. do. —ELKIN, 2nd series	72
§ 5. Parallax of Sirius—GILL	83
§ 6. Do. do. —ELKIN	97
§ 7. Parallax of ϵ Indi—GILL	117
§ 8. Do. do. —ELKIN	130
§ 9. Parallax of Lacaille 9352—GILL	140
§ 10. Parallax of α_2 Eridani—GILL	154
§ 11. Parallax of β Centauri—GILL	161
§ 12. Parallax of ζ Tucanæ—ELKIN	167
§ 13. Parallax of e Eridani—ELKIN	174
§ 14. Parallax of Canopus—ELKIN	180
§ 15. Summary and General Conclusions	184

Fig. 19 – Le misure di parallassi annue di ben 9 stelle: un risultato straordinario per l'epoca!

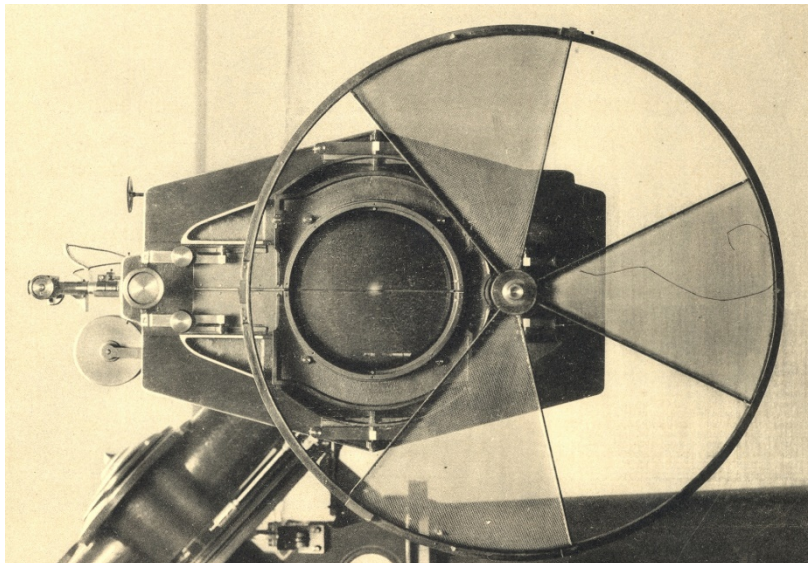
I primi utilizzi degli schermi oscuranti la luce stellare

A differenza di Bessel, gli astronomi Gill ed Elkin, proprio per il carattere sistematico delle loro misure, adottarono l'uso di appositi schermi oscuranti da posizionare davanti al semi obiettivo superiore dell'eliometro. Questi schermi erano fatti da apposite sottilissime reticelle di spago di diverso spessore che avevano lo scopo di attenuare la luce della stella di parallasse fino a renderla uguale a quella delle stelle di confronto. Questa operazione rendeva più accurata la sovrapposizione delle stelle.

Ma leggiamo le parole di Gill ed Elkin nel caso della riduzione della luminosità delle stelle di confronto nelle misure di parallasse della stella α Centauri:

When GILL returned from England, in June 1881, he brought out a supply of wire gauze of different kinds, by the aid of which ELKIN found it possible to construct a screen, such that the magnitude of the star α_2 was reduced to magnitude $8\frac{1}{4}$, whilst the star α_1 was practically obliterated.*

da: https://books.google.it/books?id=3HOW0QFACAAJ&printsec=frontcover&hl=it&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false (pag. 5)



Questa immagine mostra, con grande dettaglio, gli schermi oscuranti ruotabili dell'eliometro di Repsold dell'Osservatorio Kuffner (Austria) di 220 mm di diametro, il più grande del mondo. Come si può vedere dalla figura, la relativa, ma differente trasparenza, degli schermi oscuranti doveva opportunamente attenuare la luce stellare in esame.

Fig.20 - Gli schermi oscuranti di un eliometro di Repsold (Kuffner Observatory)

Prendiamo alcuni brani da quanto scritto da Gill ed Elkin riguardo la stella Sirio, la più brillante del cielo e ben visibile dalle nostre latitudini nel cielo invernale. Le due coppie di stelle di riferimento furono scelte per ragioni di simmetria rispetto alla stella Sirio, come sarà chiarito in seguito. L'uso di uno schermo oscurante riduceva la magnitudine apparente di Sirio (-1.46) a quella di 7^a o 8^a magnitudine delle stelle di riferimento. Leggiamo le parole di Gill ed Elkin:

A search for suitable comparison stars resulted in the selection of the following pairs (see Plate I., fig. 2), viz. :—

a and *b* of 7³/₄ and 8th magnitude respectively, and
α and *β* each of 7th magnitude.

The first of these pairs is very symmetrically situated with respect to *Sirius*; and, as will be evident from the dotted line which indicates the parallactic ellipse, it affords a large factor of parallax for measures of distance.

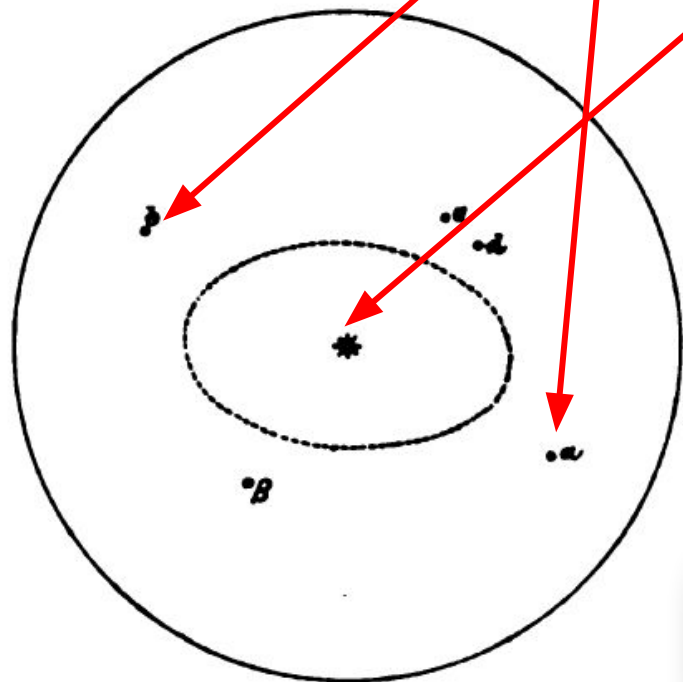
da: https://books.google.it/books?id=3HQW0QEACAAJ&printsec=frontcover&hl=it&source=gb_s_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false (pag. 6)

The two stars of comparison are of very equal magnitude; and when the screen, which I employed, is placed in front of the segment by which the image of *Sirius* is formed in the field of view, it is scarcely possible to distinguish the image of *Sirius* either in colour or apparent magnitude from that of either star of comparison.

da: https://books.google.it/books?id=3HQW0QEACAAJ&printsec=frontcover&hl=it&source=gb_s_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false (pag. 84)

La coppia di stelle di riferimento a,b usate per le misure di variazioni parallattiche di distanze angolari di Sirio

Fig. 2.



Sirius

Scale of minutes of arc



L'ellisse di parallasse qui disegnata è fortemente e volutamente ingrandita per renderla visibile al lettore. Si noti infatti che la scala dell'immagine è in primi d'arco mentre il semiasse maggiore dell'ellisse, cioè la parallasse annua allora misurata di Sirio, risultò di:

Gill $0''.370 \pm 0''.009$

Elkin $0''.407 \pm 0''.018$

Come nelle parole di Gill, Elkin:

The reader must bear in mind that these ellipses, if drawn to scale, would be quite invisible to the naked eye.

The graphical construction of such figures has been found by us to afford great facilities in selecting stars of comparison.

da:

https://books.google.it/books?id=3HQW0QEACAAJ&printsec=frontcover&hl=it&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false (pag. 196 – PLATE 1)

Fig.21 – L'ellisse di parallasse di Sirio

HELIOMETER OBSERVATIONS
FOR
DETERMINATION OF STELLAR PARALLAX
MADE AT THE
ROYAL OBSERVATORY, CAPE OF GOOD HOPE,—

BY
DAVID GILL, LL.D. (ABERD. AND EDIN.), F.R.S.,
HON. F.R.S., EDIN., &C.,
HER MAJESTY'S ASTRONOMER AT THE CAPE.

*Published by order of the Lords Commissioners of the Admiralty,
in obedience to Her Majesty's Command.*



LONDON:
PRINTED BY EYRE AND SPOTTISWOODE,
PRINTERS TO THE QUEEN'S MOST EXCELLENT MAJESTY.

1893.

Nel 1893 uscì una nuova edizione delle osservazioni di parallassi stellari già pubblicate nel 1884. In questa nuova edizione vi sono, però, alcuni brani interessanti che illustrano più esplicitamente i criteri di scelta delle stelle di confronto rispetto alle quali misurare le parallassi delle stelle in esame.

Fig.22 – Nuova edizione del catalogo di parallassi del 1884

I criteri di scelta furono:

- posizioni simmetriche delle due stelle di confronto da entrambi i lati rispetto alla stella in esame e alla stessa distanza da questa. Inoltre entrambe le stelle di confronto dovevano giacere sull'asse maggiore dell'ellisse di parallasse.
- entrambe le stelle dovevano avere tra loro la stessa magnitudine
- dovevano entrambe essere prive di moto proprio

Leggiamo le parole di Gill - Elkin

In the selection of comparison stars the conditions aimed at were :—

1. Symmetrical situation with respect to the star whose parallax is to be determined, that is to say, nearly at equal distances from it, and different in position-angle nearly 180° . As far as possible these position-angles should nearly coincide with the position-angle of the major axis of the parallactic ellipse, but when several pairs of comparison stars are employed this condition cannot of course be fulfilled.
2. Both comparison stars should be nearly of equal magnitude.
3. They should be stars having little or no proper motion.

Anche in queste operazioni di misura si alternavano gli spostamenti dei due semi obiettivi sia direttamente tra di loro sia dopo averli ruotati di 180° analogamente a quanto fatto da Bessel. Questo procedimento, anche se con delle varianti, fu tipico di tutte le misure con gli eliometri perché serviva a minimizzare gli errori sistematici dovute alle variazioni termiche dello strumento.

Ma leggiamo le parole di Gill – Elkin:

But such an observation is not complete, because it is non-symmetrical—a progressive change in the relative temperatures of different parts of the instrument may, as a matter of fact frequently does, create a change of scale-value which can only be eliminated by arranging the observations in symmetrical order. Therefore the same observations are repeated in the reverse order, that is to say, if the first pair be made in the order $a\ b$, the second pair would be in the order $b\ a$. The instrument having been reversed 180° in position-angle similar observations are made in the order $a\ b\ b\ a$. To complete the symmetry of the work, care was taken on the following night of observation to arrange the order $b\ a\ a\ b$.

D. Gill

W. Finlay (1849 – 1924)

W. De Sitter (1872 – 1934)

V. Lowinger (1879 – 1957)

Continua la sistematicità nelle misure di parallassi stellari iniziata da Gill ed Elkin; è sempre maggiore il numero di stelle misurate aventi forte moto proprio. In questi anni si eseguono anche ulteriori misure di parallassi che avevano precedentemente dato esiti incerti. Ma come si vede nella pubblicazione della pagina seguente è sempre molto esiguo il numero di stelle di cui si conoscevano le distanze e ciò a testimonianza della difficoltà delle misure e dei pochi osservatori che vi si dedicavano.

ANNALS OF THE ROYAL OBSERVATORY,
CAPE OF GOOD HOPE. —

VOL. VIII, PART 2.

RESEARCHES ON STELLAR PARALLAX

MADE WITH THE CAPE HELIOMETER.

Observers—DAVID GILL, W. H. FINLAY, W. DE SITTER, AND V. A. LOWINGER.

Cape of Good Hope, etc.

BY

SIR DAVID GILL, K.C.B., LL.D., F.R.S., ETC.,

HER MAJESTY'S ASTRONOMER AT THE CAPE OF GOOD HOPE.

*Published by Order of the Lords Commissioners of the Admiralty, in obedience to
Her Majesty's Command.*



EDINBURGH:
PRINTED FOR HER MAJESTY'S STATIONERY OFFICE
BY NEILL AND COMPANY, LIMITED, BELLEVUE PRINTING WORKS.

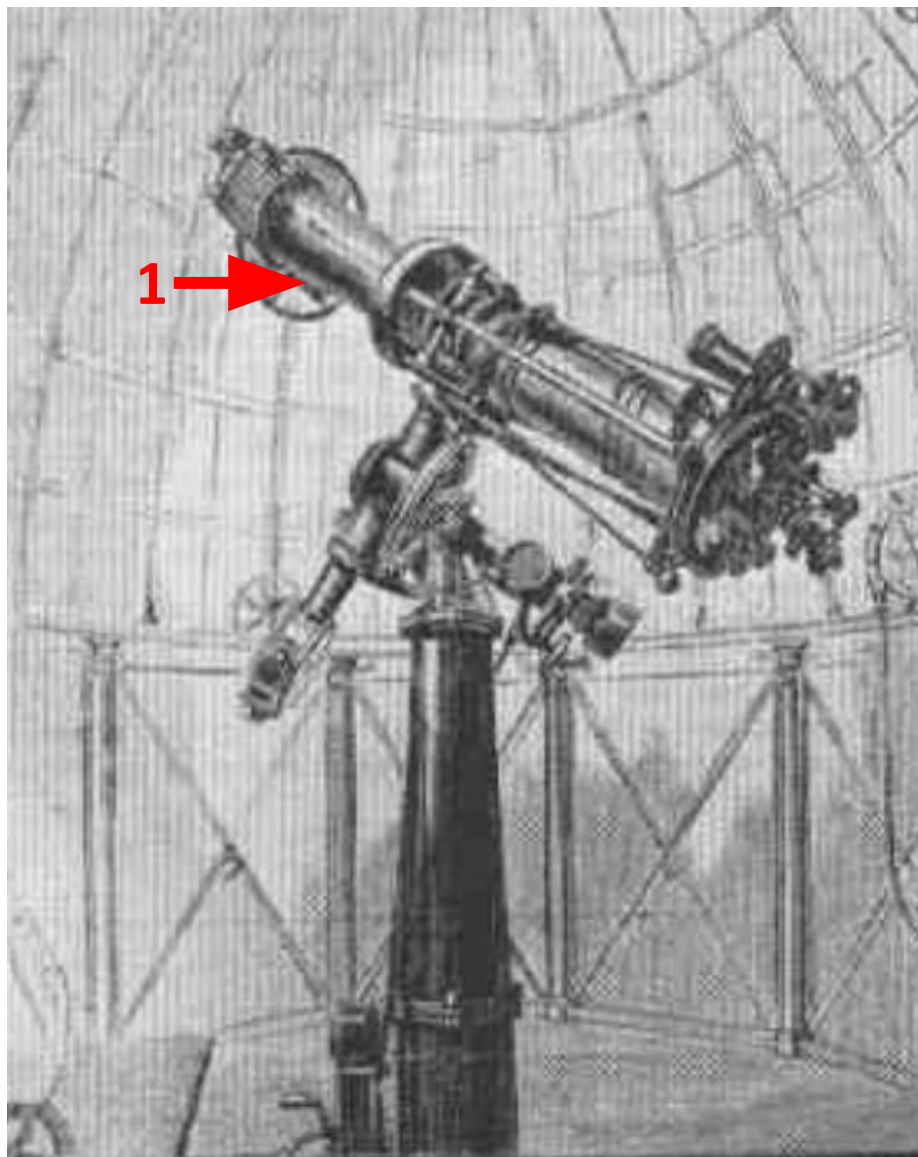
1900.

Osservazioni di 17 stelle con il nuovo eliometro di Repsold di 170 mm di diametro e 2600 mm di focale costruito da Repsold, 1887.

CONTENTS.

	OBSERVER.	PAGE.
INTRODUCTION		(v)
§ 1 PARALLAX OF β ORIONIS	GILL	1B
2 " β CENTAURI	GILL	14B
3 " α CANIS MAJORIS	GILL	24B
4 " α ARGUS	GILL	31B
5 " α GRUIS	GILL	37B
6 " α PISCIS AUSTRALIS	GILL	42B
7 " α ERIDANI	GILL	48B
8 " α CRUCIS	GILL	54B
9 " α VIRGINIS	GILL	61B
10 " β HYDRI	GILL	67B
11 " β CRUCIS	GILL AND FINLAY	73B
12 " β ORIONIS	FINLAY	82B
13 " α SCORPII	FINLAY	87B
14 " τ CETI	DE SITTER	92B
15 " PIAZZI XIV ^b . 212	DE SITTER	97B
16 " Z.C. V ^b . 243	DE SITTER	106B
17 " LACAILLE 2957	DE SITTER	119B
18 OBSERVATIONS OF δ SAGITTARI—(A RED STAR)—E. AND W. OF THE MERIDIAN, DE SITTER AND LOWINGER		124B
19 SUMMARY AND GENERAL CONCLUSIONS		130B
APPENDIX		145B
TABLE I. POSITION ANGLE OF THE MAJOR AXIS OF A STAR'S PARALLACTIC ELLIPSE		147B
" II. LONGITUDE OF THE SUN AT THE EPOCH OF A STAR'S PARALLAX-MAXIMUM		148B
" III. MINOR AXIS OF A STAR'S PARALLACTIC ELLIPSE		149B
" IV. AUXILIARY QUANTITIES TO FACILITATE THE COMPUTATION OF STELLAR PARALLAX-FACTORS		149B
PLATE I. SPECTRUM OF α_2 CENTAURI COMPARED WITH THAT OF THE SUN		175B

Fig.23 – Ora si conoscono le parallassi annue di 17 stelle! (1900)



Eliometro di Repsold, 1887

diametro = 170 mm

focale = 2600 mm

Si noti sul sistema obiettivo dell'eliometro la presenza del sistema ruotante **1** con gli schermi oscuranti.

Fig.24 – L'eliometro di Repsold di $\varnothing = 170$ mm

Ma perché un nuovo eliometro? Essenzialmente per poter scegliere opportune stelle di confronto (vedi dopo) molto spesso troppo deboli da poter essere misurate con l'eliometro precedente da 110 mm di diametro. Il nuovo eliometro era inoltre più maneggevole da usare e più accurato nelle misure.

Come nelle parole di Gill (che si riferiscono all'eliometro di 110 mm di diametro):

Excellent as this instrument was, experience proved that, on account of its limited light-grasp, the observations became much less satisfactory when comparison stars fainter than 8th magnitude were employed ; whilst, with the reversing prism, stars fainter than $7\frac{1}{2}$ magnitude could not be observed with the highest precision. These limitations rendered it often impossible to find suitable comparison stars for many otherwise desirable researches. Besides this, experience showed that important structural improvements could be carried out in a new instrument which would greatly facilitate the ease and rapidity of working, and would probably also enhance the accuracy of the results.

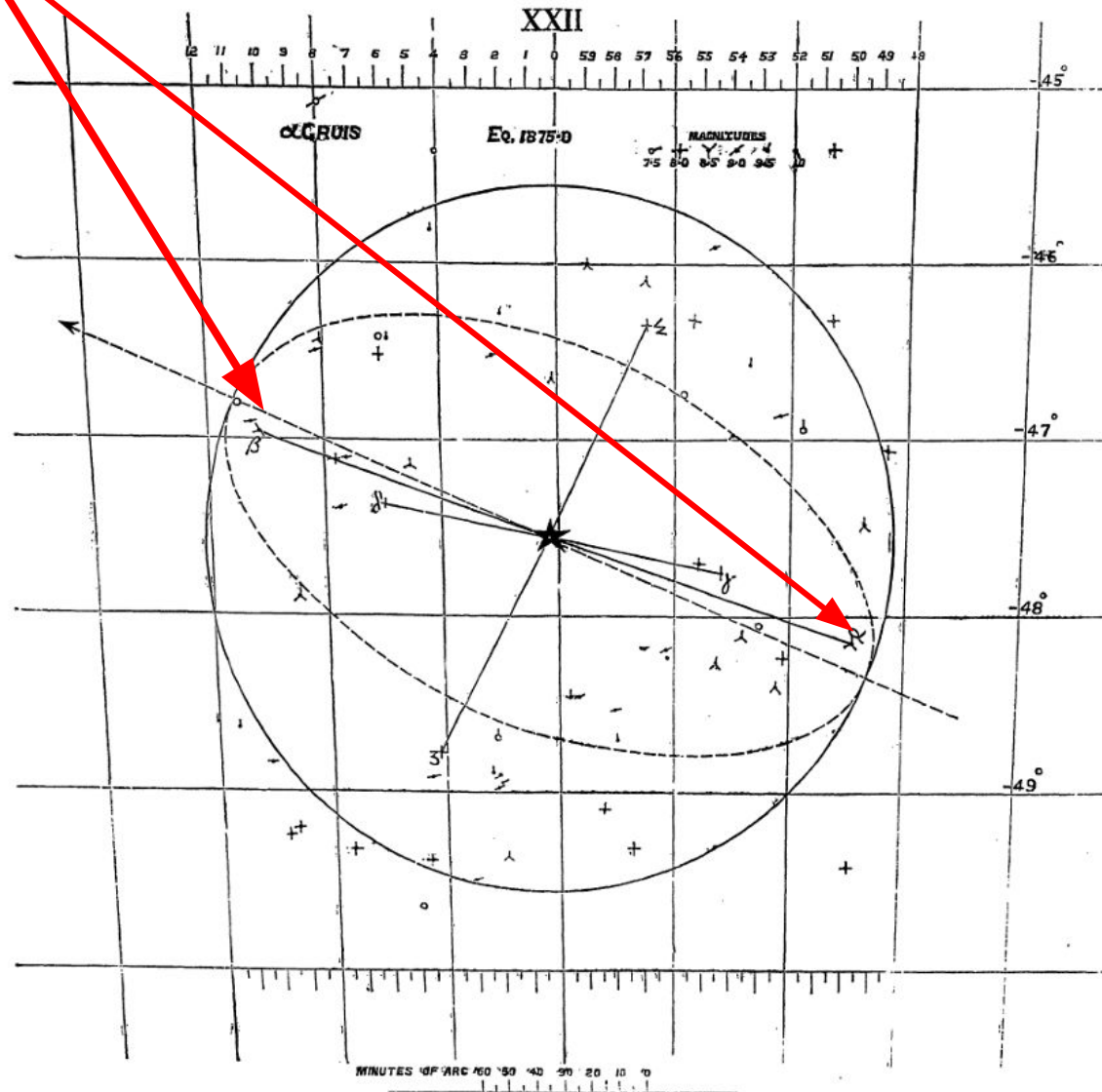
Vediamo ora, con degli esempi, le coppie di stelle di riferimento usate nelle misure. L'immagine successiva, che è una carta celeste, illustra graficamente l'ellisse di parallasse disegnata sulla carta nel caso della stella α Gruis e come le due coppie di stelle di riferimento soddisfino geometricamente e fotometricamente i criteri di scelta.

Come nelle parole di Gill - Elkin:

The dotted straight line shows the major axis of the parallactic ellipse ; the dotted outline shows the form of that ellipse. It is obvious that stars situated on the major axis are those which have the largest parallax-factors for measures of distance, and those situated on the minor axis are those of largest parallax-factor for measures of position angle. The two comparison stars should be as equal as possible in magnitude (for convenience of employing the same screen in equalizing the apparent magnitude of the principal star with that of both comparison stars); they should also be sufficiently bright for accurate measurement, and should be situated as symmetrically as possible with respect to the principal star.

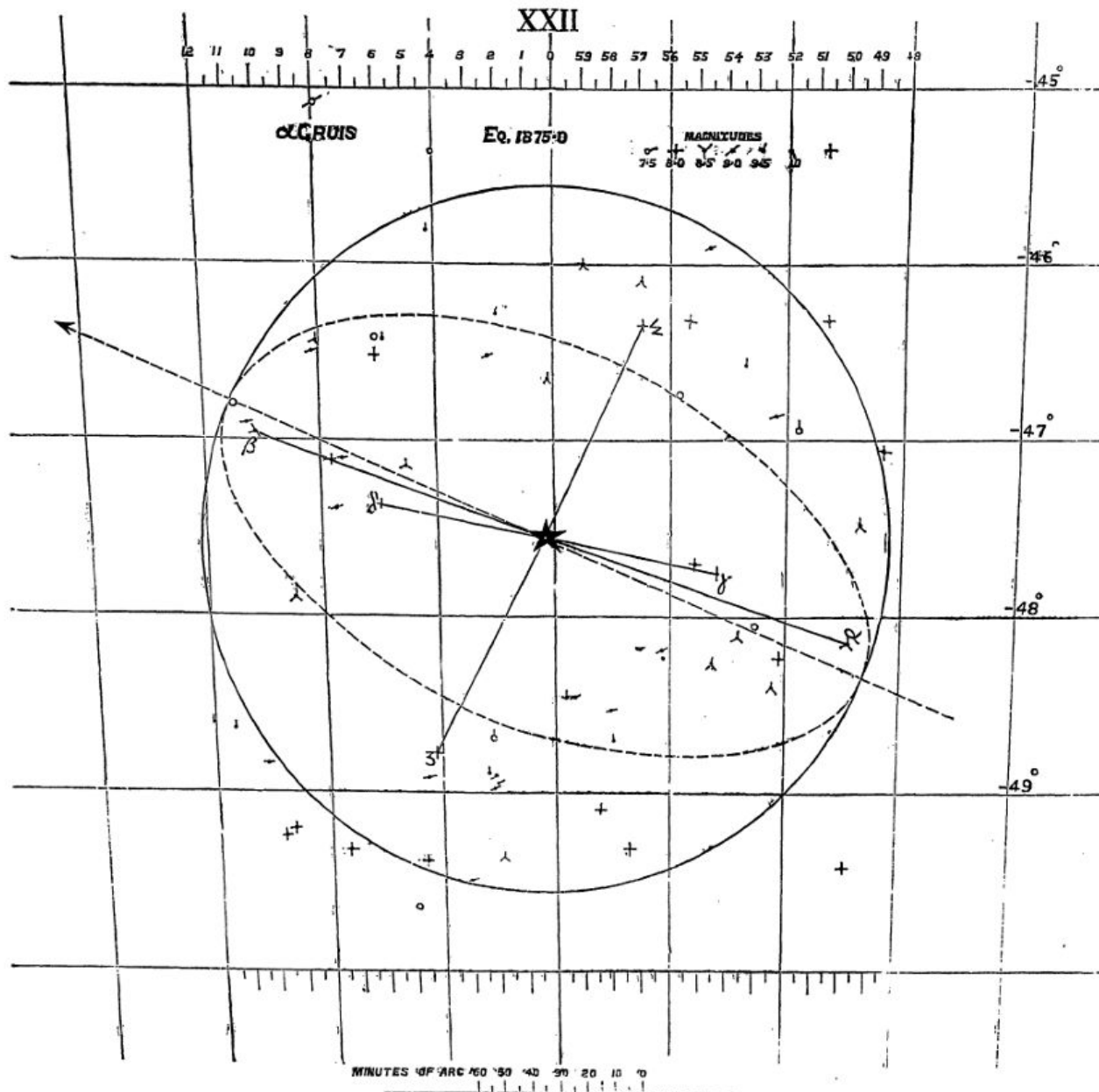
Thus we find from the diagram that the pairs $\alpha \beta$ and $\gamma \delta$ are by far the most suitable comparison stars for determining the parallax of α Gruis by measures of distance, and the pair $\epsilon \zeta$ for measures of position angle.

(α, β) prima coppia di stelle per le misure di separazioni angolari



in: <https://adsabs.harvard.edu/full/1900AnCap...8....2G> pag.ix

Fig.25 – L'ellisse di parallasse calcolata teoricamente e disegnata della stella α Gruis



Ricordiamo sempre che questa ellisse, così disegnata, **NON** è in scala; infatti, come si vede dai valori dalla scala in basso, le distanze angolari tra le stelle sono espresse in primi d'arco. La parallasse di questa stella misurata dagli autori risultò di:

$$\pi = + 0''.015 \pm 0''.007.$$

che è il valore della lunghezza angolare del semiasse maggiore di questa ellisse.

Ma perché questo tipo di disposizione geometrica delle 2 stelle di riferimento?
Gli autori, in questa pubblicazione, dimostrano matematicamente quanto da loro era stato unicamente affermato nelle due precedenti pubblicazioni e cioè che:

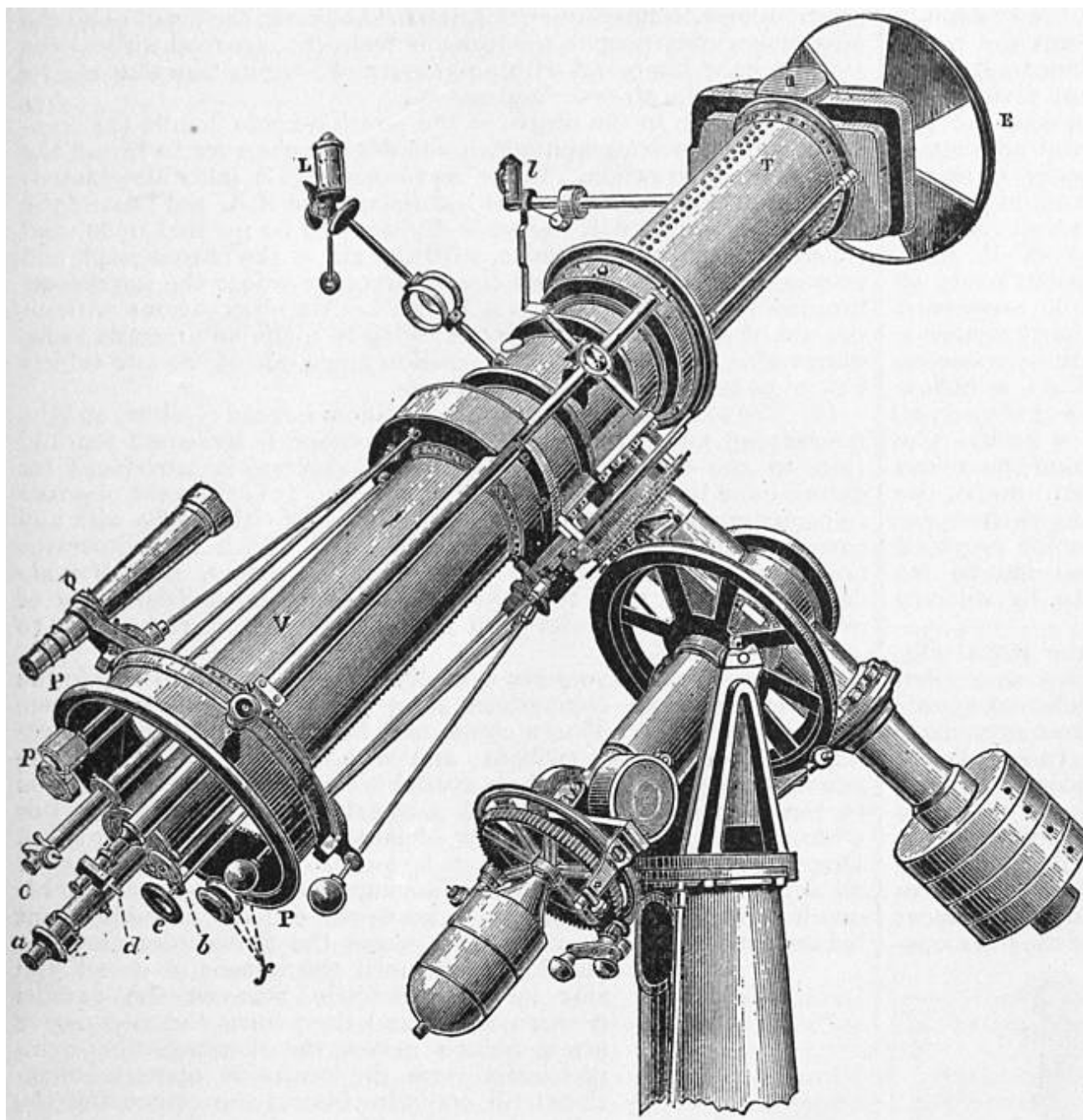
- se le due stelle di riferimento sono alla stessa distanza angolare rispetto alla stella in esame
- se entrambe giacciono sulla direzione dell'asse maggiore dell'ellisse di parallasse e sono disposte simmetricamente rispetto alla stella in esame

allora si minimizzano gli errori sistematici dovuti alla variazioni di messa a fuoco (e conseguenti variazioni della separazione dei due semi obiettivi) causati dalle differenti dilatazioni termiche dei vari componenti dell'eliometro (obiettivo, tubo ottico, foccheggiatore e micrometro).

W. Elkin

F. Chase, M. Smith (anni '30 del 900)

Siamo ormai all'apice delle misure di parallassi stellari con l'eliometro; sono questi gli anni in cui già si affiancano alle misure con l'eliometro quelle sulle lastre fotografiche che sostituiranno definitivamente, dagli anni '30 del Novecento, l'eliometro. Le misure dei piccolissimi spostamenti parallatici sulle lastre verranno effettuati da appositi misuratori di lastre fotografiche.



Eliometro di Repsold, 1882

Diametro = 155 mm

Focale = 2500 mm

Campo di vista = 2°

Con le tecniche costruttive introdotte dai Repsold, tutte le operazioni di misura operate agli eliometri si potevano eseguire senza lasciare la postazione osservativa e questo comportava non solo una minore fatica per l'osservatore ma anche una maggiore velocità di esecuzione delle misure senza, naturalmente, comprometterne la precisione. Operatività ben diversa da quella ai tempi di Bessel.

Fig.26 – L'eliometro di Repsold del 1882

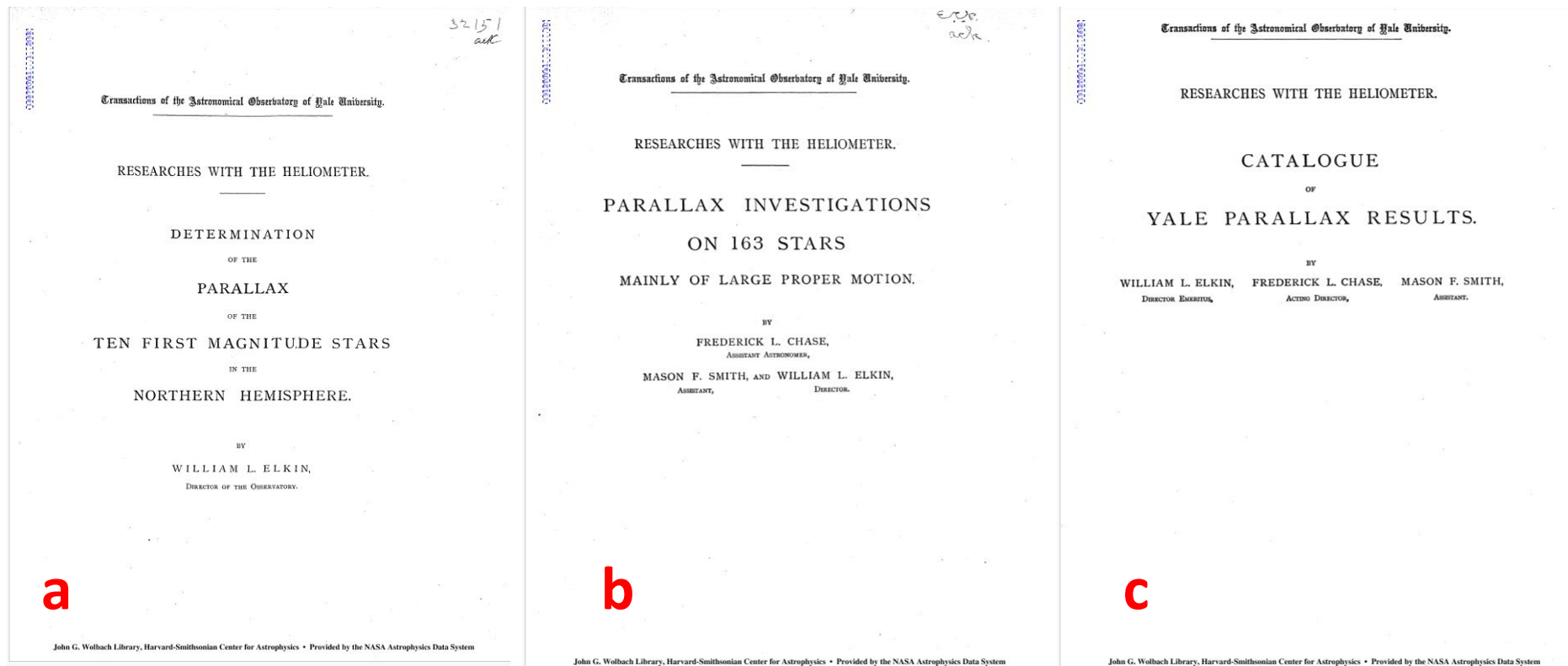


Fig.27 – Le ultime misure di parallassi con gli eliometri prima della fotografia astronomica

Le tecniche delle misurazioni angolari e della scelta delle stelle di riferimento sono ormai consolidate e sono quelle già viste. E' ormai prassi comune misurare le sole separazioni angolari tra le stella in esame e la coppia di stelle di confronto abbandonando completamente le misure degli angoli di posizione ritenute meno precise. Il numero di stelle contenute nel catalogo di parallassi di Fig. 27c, di cui quindi conosceva la distanza, ha raggiunto la quota di quasi 250 e questo lavoro rappresenta il massimo contributo del tempo nello studio delle distanze stellari.

Ma siamo ancora alle misure delle distanze di stelle distanti al massimo qualche centinaio di anni luce dal Sole e quindi all'interno della Via Lattea. Anche le misure di parallassi stellari con la fotografia astronomica rimarranno confinate all'interno della nostra Galassia. Con gli studi spettroscopici, dalla seconda metà dell'Ottocento, e le conseguenti misure delle velocità radiali delle stelle e sfruttando il moto del Sole intorno al centro galattico e non più quello della Terra intorno al Sole, sarà possibile estendere le misure di parallassi stellari secolari e statistiche a distanze maggiori ma sempre all'interno della Via Lattea. Per le distanze extragalattiche occorreranno metodi fotometrici con le cosiddette "candele campione" ma la conoscenza delle parallassi stellari avrà il suo ruolo fondamentale nella calibrazione di questi indicatori di distanza.

Conclusioni

Anche se l'eliometro ha avuto un ruolo importante nelle misure delle prime distanze stellari va comunque detto che diverse parallassi annue furono determinate, nella seconda metà dell'Ottocento e nei primi del Novecento, tramite l'impiego dei [cerchi meridiani](#) e dei telescopi rifrattori muniti di [micrometri filari](#).

Con l'impiego della fotografia astronomica le delicatissime misure di parallassi annue stellari vennero eseguite, già nei primi anni '20 del Novecento, sulle lastre fotografiche tramite appositi [misuratori](#).

Parte 2

Simulazioni di laboratorio didattico di un eliometro e del suo funzionamento per le misure delle parallassi annue delle stelle

Queste simulazioni sono state da me eseguite presso l'INAF – Osservatorio Astronomico di Capodimonte tra il 2025 e il 2026; il modellino dell'obiettivo dell'eliometro era stato da me già realizzato nel 2018. Queste simulazioni illustrano unicamente come si misurava la distanza angolare tra la stella in esame e una stella di confronto ma non la misura dell'angolo di posizione tra le due stelle che veniva eseguita con un eliometro.

Una simulazione didattica di una ellisse di parallasse



In questa simulazione il punto luminoso **1** indica la stella "lontana" di riferimento rispetto a cui cambia di posizione la stella "vicina" **2** per effetto del moto di rivoluzione terrestre. Questa variazione di posizione è qui simulata spostando la videocamera **4** (la Terra) successivamente in più punti del cerchio **5** che rappresenta la sua orbita intorno al Sole (che però è ellittica). Nella sequenza di fotografie la stella **1** è sempre inquadrata al centro dell'immagine. L'utilizzo del doppio filtro neutro **3** e tempi di esposizione molto rapidi hanno consentito di eliminare la luce diffusa della stanza lasciando, nelle successive inquadrature, solo i due punti luminosi **1** e **2**. Le immagini così ottenute sono state unite in un' unica immagine gif animata su cui si sono sovrapposti i piani di riferimento sulla sfera celeste. La gif animata è stata quindi ripresa con un video.

Vedi il video 1 dell'animazione al seguente link:

<https://www.oacn.inaf.it/pagine-personali/leliometro-e-le-misure-delle-prime-distanze-stellari/>

Fig.28 – Simulazione di un'ellisse di parallasse

Un modellino didattico di eliometro

Nelle pagine seguenti vengono illustrate le parti principali di un eliometro "vero", debitamente numerate, e, parallelamente nella stessa pagina, quelle del modellino didattico assemblato su di una scrivania che ha la stessa numerazione.

Fig. 29 - Eliometro di Repsold

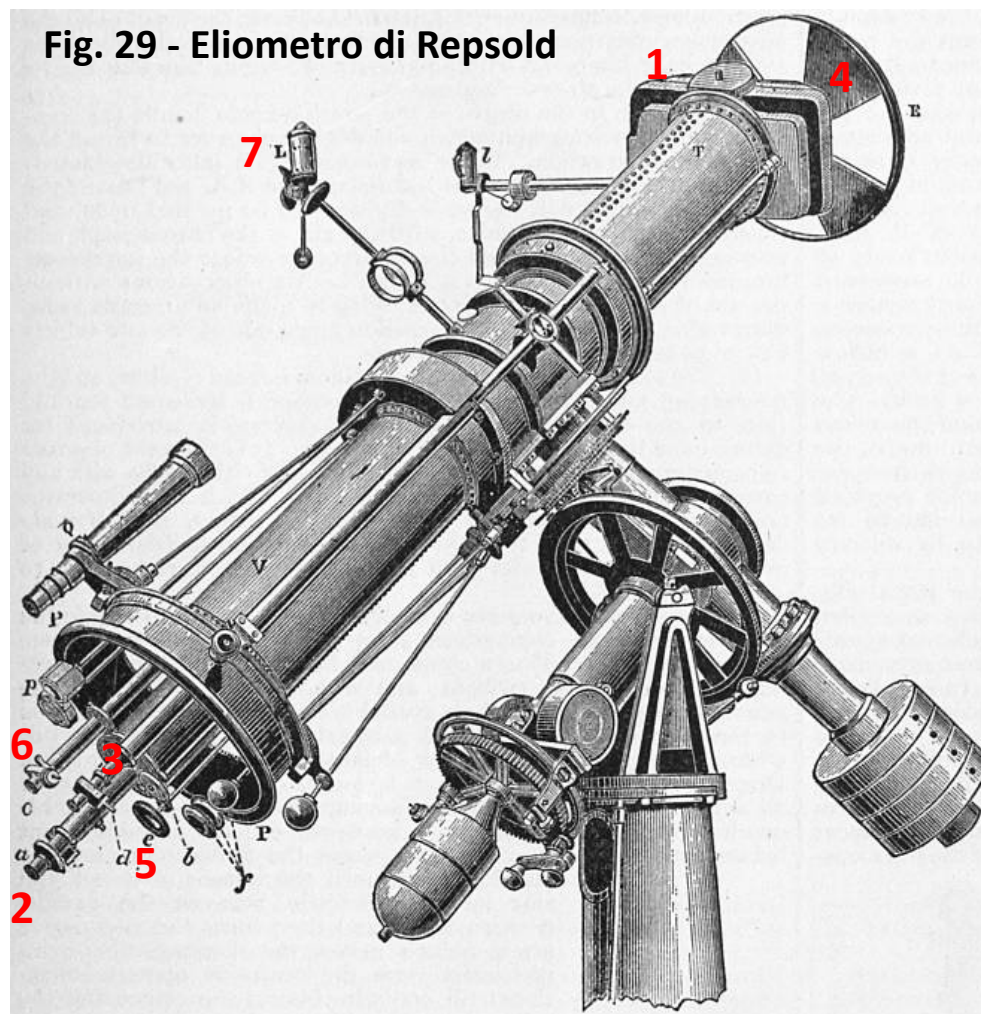
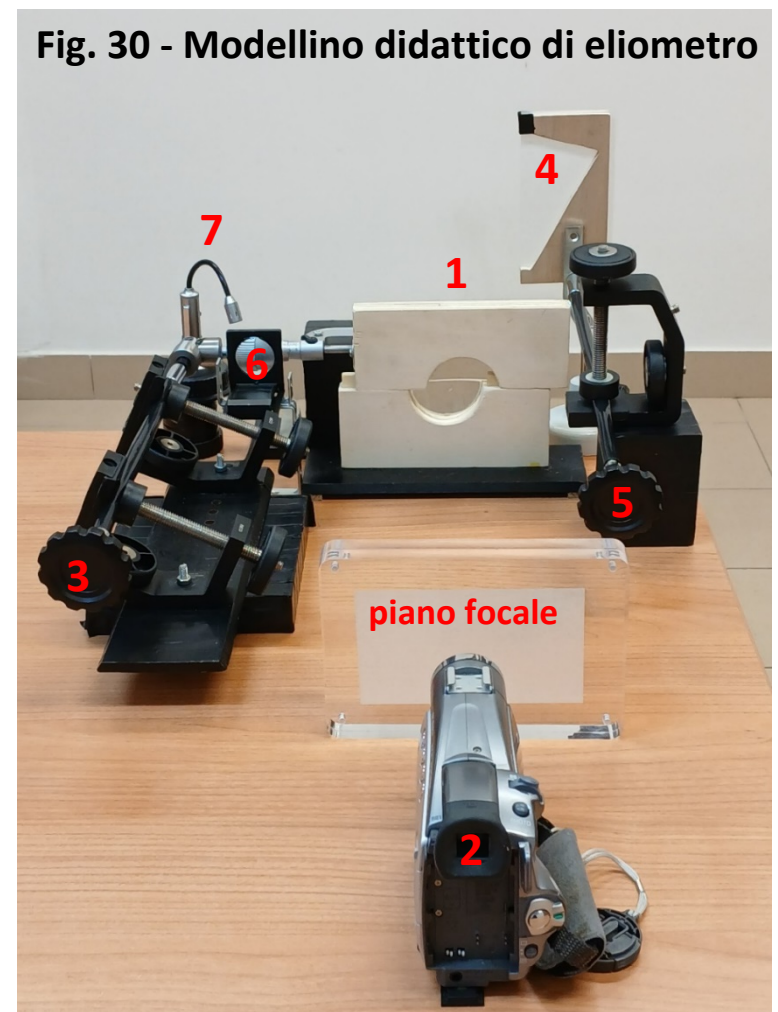


Fig. 30 - Modellino didattico di eliometro



- 1 obiettivo dell'eliometro composto da due semi obiettivi
- 2 oculare (nel modellino didattico la videocamera **2** guarda l'immagine formata sul **piano focale** rappresentato dal foglio di carta bianca)
- 3 manopola micrometrica per la traslazione dei semi obiettivi
- 4 schermo oscurante
- 5 manopola per il posizionamento dello schermo oscurante davanti al semi obiettivo superiore
- 6 microscopio per la lettura della scala graduata su cui leggere lo spostamento tra i due semi obiettivi
- 7 lampada per l'illuminazione della scala graduata del microscopio **6**

L'obiettivo del modellino didattico di un eliometro e la sua movimentazione

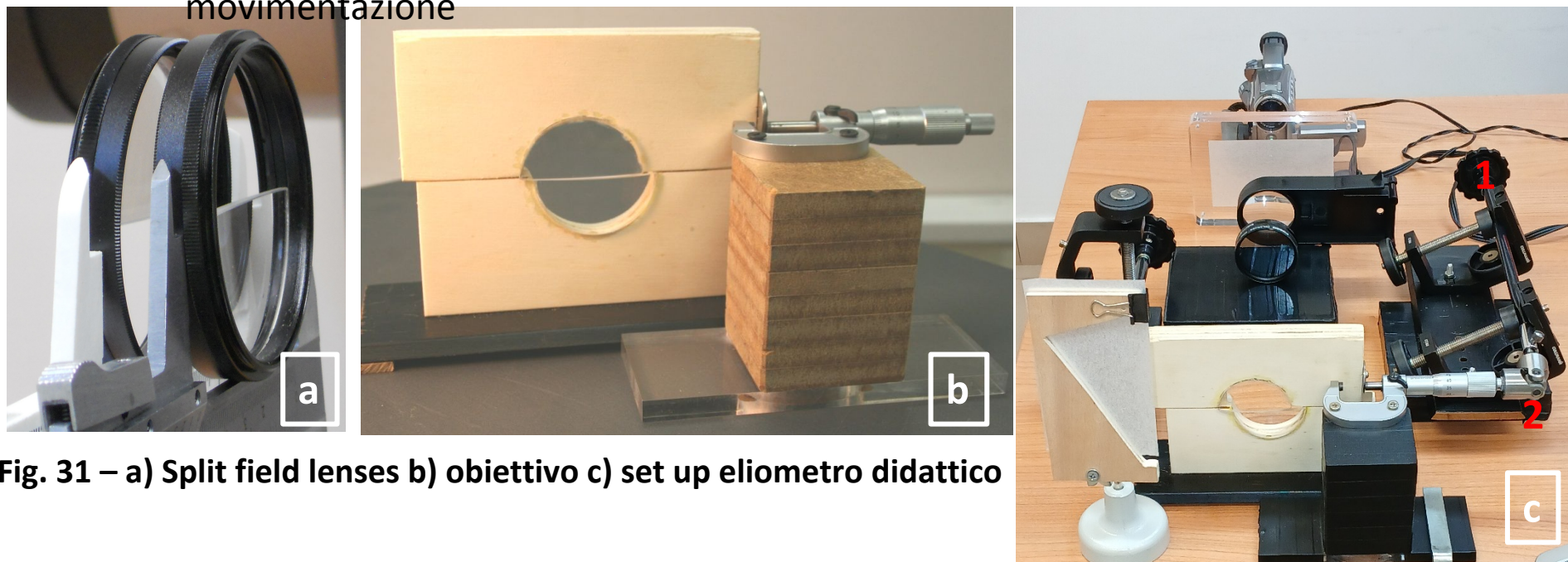


Fig. 31 – a) Split field lenses b) obiettivo c) set up eliometro didattico

E' stato realizzato acquistando due "split field lenses" usate nella comune fotografia. Queste due semi lenti, della stessa apertura e focale, sono state successivamente estratte dai rispettivi alloggiamenti filettati e incollate su di un apposito doppio telaio, realizzato in legno, le cui due metà possono essere traslate reciprocamente su di un piccolo binario posto sul telaio inferiore. Questa traslazione avviene tramite la rotazione di un comune calibro palmer che poggia sul telaio superiore. Nell'ultima versione (2025-2026) la rotazione del calibro palmer avviene ruotando un'apposita manopola **1** collegata al calibro palmer per mezzo del un giunto cardanico **2**. Questa configurazione può unicamente simulare la traslazione dei due semi obiettivi che, nei veri eliometri, avveniva per mezzo di apparati meccanici ben più complessi e sofisticati. Il modellino didattico di eliometro è qui ripreso frontalmente.

Le misure di Bessel

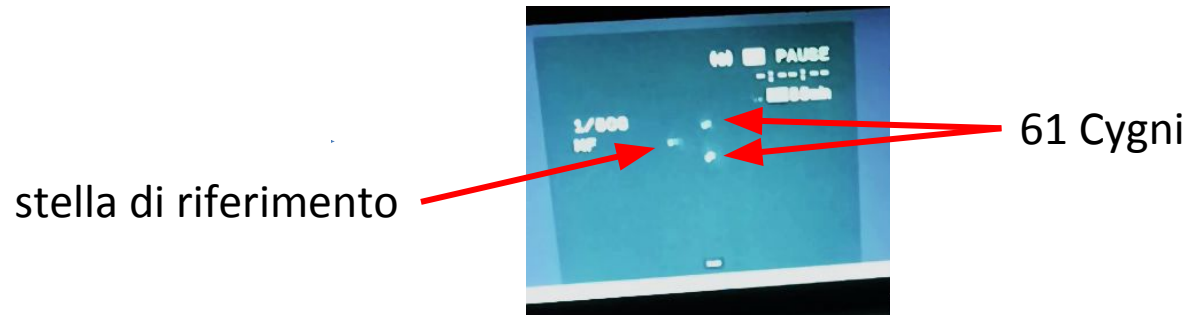
In questa simulazione i componenti dell'eliometro sono quelli già indicati nelle pagine precedenti. Vanno ulteriormente specificati:

- Il doppio filtro neutro **1** usato per attenuare la luce dei punti luminosi della sorgente **3** che simulano la stella doppia 61 Cygni e una delle due stelle di riferimento (le distanze relative tra queste stelle non sono in scala)
- la lente **2** usata come riduttore di focale per rendere possibile questa simulazione nello spazio disponibile
- Il pc per visualizzare sul suo monitor la movimentazione dei due semi obiettivi vista dalla videocamera.



Fig. 32 – Set up simulazione eliometro di Fraunhofer

Nel video 2 al seguente link: <https://www.oacn.inaf.it/pagine-personali/leliometro-e-le-misure-delle-prime-distanze-stellari/> nota come al ruotare della manopola micrometrica traslino i due semi obiettivi e, nel monitor, si sdoppi l'immagine delle stelle. Questo sdoppiamento termina quando la stella di riferimento è portata al centro della congiungente il sistema doppio 61 Cygni, come nelle misure di Bessel



Figg. 33 a) – b) – c): il modo di misurare di Bessel

Figg. 34 a) – b): Le misure con gli eliometri di Repsold



Tutte le componenti di questa simulazione sono identiche a quelle già indicate ad eccezione della stella di cui si vuol misurare la parallasse (e da quella di riferimento) indicate dalle due sorgenti luminose **1** che hanno magnitudini differenti.

Nel video 3 al seguente link: <https://www.oacn.inaf.it/pagine-personali/leliometro-e-le-misure-delle-prime-distanze-stellari/> nota come al ruotare della manopola micrometrica traslino i due semi obiettivi e, nel monitor, si sdoppi l'immagine delle stelle; la coppia **1** indica l'immagine del semi obiettivo superiore mobile e la coppia **2** l'immagine del semi obiettivo inferiore fisso. Guarda come il posizionamento dello schermo oscurante riduce la luminosità della stella **1** che viene successivamente sovrapposta alla stella **2** ora di pari luminosità.



Figg. 35 a) – b) – c): il modo di misurare con gli schermi oscuranti

Alcuni link a immagini e video on line su eliometri museali

Primi eliometri di Fraunhofer. Cliccando sull'immagine la si può ingrandire per osservarne meglio i dettagli costruttivi.

https://sammlungen.uni-goettingen.de/objekt/record_kuniweb_590386/1/-/

Video con diverse immagini che mostrano l'eliometro di Fraunhofer (Museo Università di Bonn).

https://www.youtube.com/watch?v=qEuWokU_95w

Immagine dell'eliometro dell'Osservatorio Kuffner. Cliccando sull'immagine la si può ingrandire per osservarne i dettagli.

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wien-Ottakring_-_Kuffner_Sternwarte_-_Heliometer_\(1896\)_-_Detail.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wien-Ottakring_-_Kuffner_Sternwarte_-_Heliometer_(1896)_-_Detail.jpg)

Video con immagini dell'eliometro dell'Osservatorio Kuffner.

<https://www.youtube.com/watch?v=xqMXrQ4Zdgg>



Come iniziare

Page 249

[SAO/NASA Astrophysics Data System \(ADS\)](#)

Title: Measurement of the distances of the stars
Authors: Dyson, F. W.
Journal: The Observatory, Vol. 38, p. 249-254 (1915)
Bibliographic Code: 1915Obs....38..249D
[Complete bibliographic record](#)

[Other article options](#) [Print this article](#)



Page 292

[SAO/NASA Astrophysics Data System \(ADS\)](#)

Title: Measurement of the distances of the stars
Authors: Dyson, F. W.
Journal: The Observatory, Vol. 38, p. 292-299 (1915)
Bibliographic Code: 1915Obs....38..292D
[Complete bibliographic record](#)

[Other article options](#) [Print this article](#)



Page 13

Measurements of the Distances of the Stars
Author(s): F. W. Dyson
Source: *Science*, Jul. 2, 1915, New Series, Vol. 42, No. 1070 (Jul. 2, 1915), pp. 13-22
Published by: American Association for the Advancement of Science
Stable URL: <https://www.jstor.org/stable/1640627>



Page 407

[SAO/NASA Astrophysics Data System \(ADS\)](#)

Title: Measurements of the Distances of the Stars
Authors: Dyson, F. W.
Journal: Journal of the Royal Astronomical Society of Canada, Vol. 9, p.407
Bibliographic Code: 1915JRASC...9..407D
[Complete bibliographic record](#)

[Other article options](#) [Print this article](#)



Page 475

Title: Pritchard's stellar parallax determinations
Authors: Dyson, F. W.
Journal: The Observatory, Vol. 38, p. 475-477 (1915)
Bibliographic Code: 1915Obs....38..475D
[Complete bibliographic record](#)

[Other article options](#) [Print this article](#)

<https://articles.adsabs.harvard.edu/full/1922Obs....45..341J>



[SAO/NASA Astrophysics Data System \(ADS\)](#)

Title: Early estimations of stellar distances, with special reference to hypothetical parallaxes and to the work of W. Struve
Authors: Jackson, J.
Journal: The Observatory, Vol. 45, p. 341-352 (1922)
Bibliographic Code: 1922Obs....45..341J
[Complete bibliographic record](#)

[Other article options](#)

[Print this article](#)

<https://articles.adsabs.harvard.edu/full/1949PA.....57..259H>



[SAO/NASA Astrophysics Data System \(ADS\)](#)

Title: The quest for stellar parallax
Authors: Hoffleit, D.
Journal: Popular Astronomy, Vol. 57, p.259
Bibliographic Code: 1949PA.....57..259H
[Complete bibliographic record](#)

[Other article options](#)

[Print this article](#)

<https://articles.adsabs.harvard.edu/full/1975JRASC..69..153F>



Title: The Historical Search for Stellar Parallax
Authors: Fernie, J. D.
Journal: Journal of the Royal Astronomical Society of Canada, Vol. 69, p.153
Bibliographic Code: 1975JRASC..69..153F
[Complete bibliographic record](#)

[Other article options](#)

[Print this article](#)

<https://articles.adsabs.harvard.edu/full/1975JRASC..69..222F>



Title: The Historical Search for Stellar Parallax
Authors: Fernie, J. D.
Journal: Journal of the Royal Astronomical Society of Canada, Vol. 69, p.222
Bibliographic Code: 1975JRASC..69..222F
[Complete bibliographic record](#)

[Other article options](#)

[Print this article](#)

<https://articles.adsabs.harvard.edu/full/1976JRASC..70...40F>



Title: The Historical Search for Stellar Parallax (Addendum)
Authors: Fernie, J. D.
Journal: Journal of the Royal Astronomical Society of Canada, Vol. 70, p.40
Bibliographic Code: 1976JRASC..70...40F
[Complete bibliographic record](#)

[Other article options](#)

[Print this article](#)

Crediti

Fig.1: https://www.eso.org/public/images/yb_big_dog_paranal_cc/

Fig.2: S. D’Orsi – INAF-Osservatorio Astronomico di Capodimonte, 2020

Fig.3: P. Paura – INAF-Osservatorio Astronomico di Capodimonte, 2026

Fig.4: https://archive.org/details/bub_gb_ZWrkAAAAMAAJ/page/n255/mode/2up

Fig.5: S. D’Orsi – INAF-Osservatorio Astronomico di Capodimonte, 2020

Fig.6: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-20723-0_8

Fig.7-8-12a sono estratte dal video: https://www.youtube.com/watch?v=qEuWokU_95w

Fig.9: https://it.wikipedia.org/wiki/61_Cygni#/media/File:61_Cygni_Proper_Motion.gif

Fig.10: <http://septclues.com/TYCHOS/Williams-MEW-1981-PhD-Thesis.pdf>

Fig. 11a,11b,11c e 11d sono tratte da: <https://ui.adsabs.harvard.edu/scan/manifest/1874MNRAS..34..279L?art=true>

Fig. 12a, 12b vedi Fig. 9 e video di Fig.7

Fig.13: a) https://divulgazione.uai.it/images/Seeing_scale.jpg b) Grafico di P.Paura

Fig.14: <https://archive.org/details/handbuchderastro02ambr/page/566/mode/2up>

Fig.15: <https://emuseum.aberdeencity.gov.uk/objects/143973/heliometer-made-for-dunecht-observatory>

Fig.16: https://en.wikisource.org/wiki/1911_Encyclop%C3%A6dia_Britannica/Heliometer

Fig.17: S. D’Orsi – INAF-Osservatorio Astronomico di Capodimonte, 2020

Fig.18 e 19: https://books.google.it/books?id=3HQW0QEACAAJ&printsec=frontcover&hl=it&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Fig.20: <https://archive.org/details/handbuchderastro02ambr/page/584/mode/2up>

Fig.21: https://books.google.it/books?id=3HQW0QEACAAJ&printsec=frontcover&hl=it&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Fig.22: <https://archive.org/details/heliometerobserv00gillrich/page/n3/mode/2up>

Fig.23: <https://adsabs.harvard.edu/full/1900AnCap...8....2G>

Fig.24: https://assa.sao.ac.za/sections/history/telescopes/repsof_helio_7i/#Gallery

Fig.25: <https://adsabs.harvard.edu/full/1900AnCap...8....2G>

Fig.26: https://en.wikisource.org/wiki/1911_Encyclop%C3%A6dia_Britannica/Heliometer

Fig.27a: <https://articles.adsabs.harvard.edu/full/1887TOYal...1..255E>

Fig.27b: <https://articles.adsabs.harvard.edu/full/1912TOYal...2....1C>

Fig.27c: <https://articles.adsabs.harvard.edu/full/1912TOYal...2..385E>

Figg. 28,29,30,31,32,33,34 e 35 sono di P. Paura – INAF Osservatorio Astronomico di Capodimonte, 2025-2026