

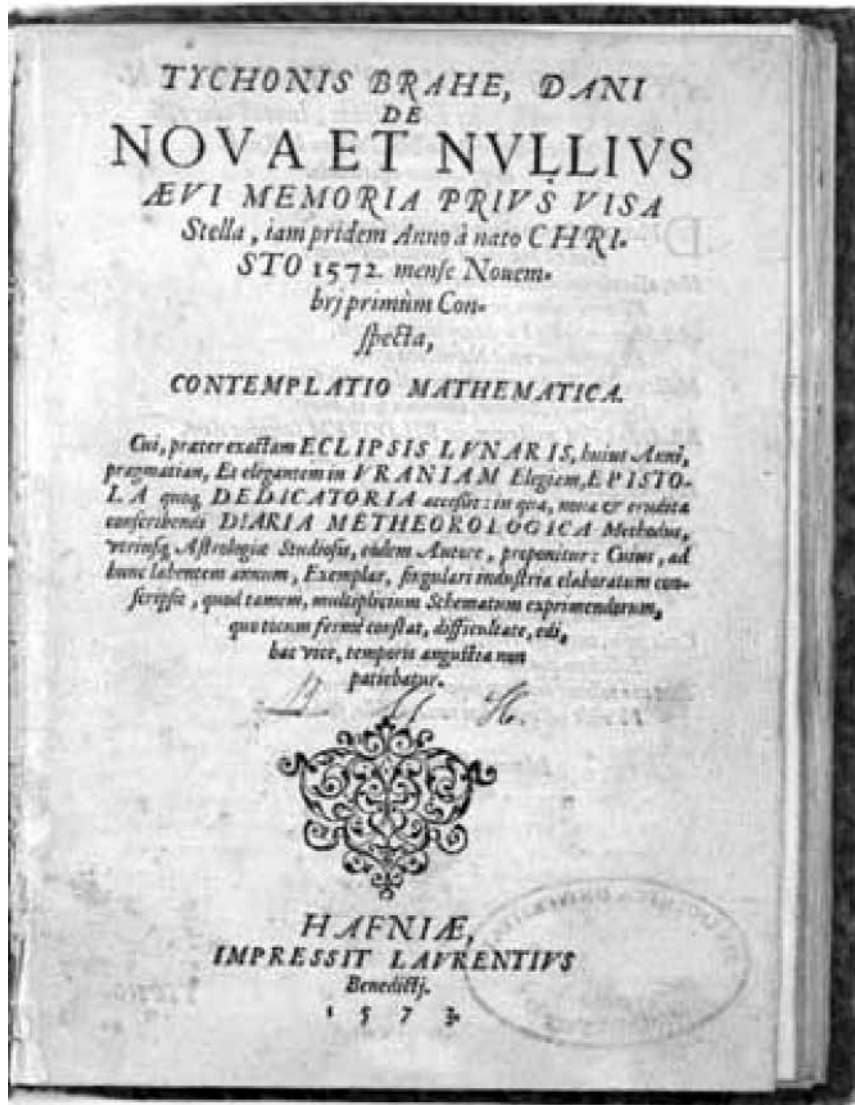
# Mellem stjerner og planeter

Et undervisningsmateriale for gymnasieklasser om begrebet parallakse og statistik.

Titelbladet fra Tycho Brahes bog „De Nova Stella“, udgivet i 1573.

Oversat fra latin står der foroven på bladet:

„Danskeren Tycho Brahes matematiske overvejelse over en ny stjerne, som aldrig i nogen tidsalders minde har vist sig, men nu for første gang blev observeret i november måned år 1572 efter Kristi fødsel.“

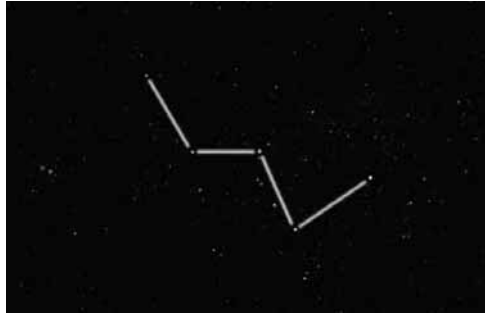


# 1 Tycho Brahes Stella Nova

I november 1572 befandt Tycho Brahe sig hos sin morbror på Herrevad Kloster i Skåne. Det var derfra, han opdagede en ny stjerne på himlen i stjernebilledet Cassiopeia.

Han døbte den Stella Nova, som betyder „ny stjerne“ på latin, og betragtede den som „det største under siden verdens begyndelse“. I dag ved vi, at det han opdagede, var en eksploderende stjerne af den type, som kaldes en supernova. Den nye stjerne blev på himlen i 16 måneder, inden den forsvandt igen. På *Figur 2* ser du, hvordan Tychos supernova ser ud i dag. Et af de flotteste eksempler på en supernova-rest er Krabbetågen. Den eksploderede i år 1054 og blev observeret af nogle kinesiske astronomer.

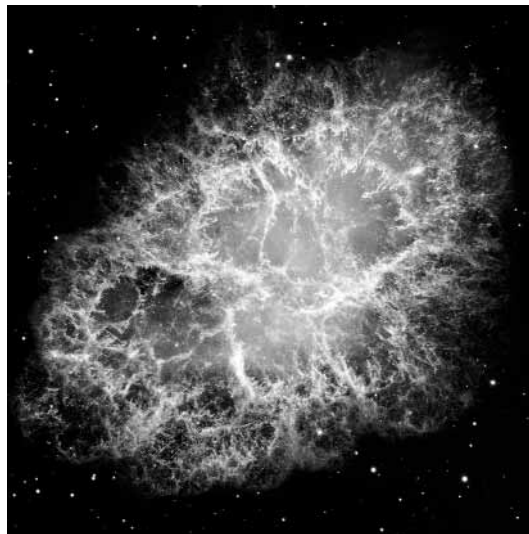
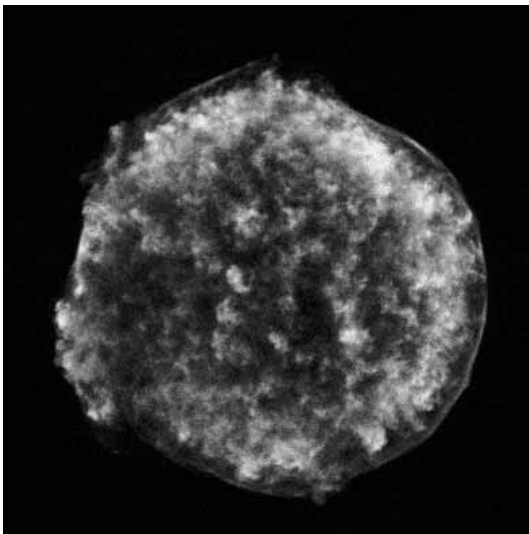
Opgaverne i dette hæfte går ud på at måle positionen af Tychos Stella Nova på himlen så præcist som muligt. På Tychos tid troede man, at stjernerne og planeterne sad fast på nogle krystalfærer (kugler), som drejede rundt om Jorden sammen med Solen. Derfor bevægede stjernerne sig ikke i forhold til hinanden, og de kunne bruges som faste referencepunkter, man kunne måle i forhold til. Dette verdensbillede kaldes det ptolemæiske geocentriske verdensbillede efter det græske ord for Jorden, Gaia, og efter den oldgræske astronom, geograf og matematiker Ptolemæus, der var den første til at beskrive dette verdensbillede skriftligt.

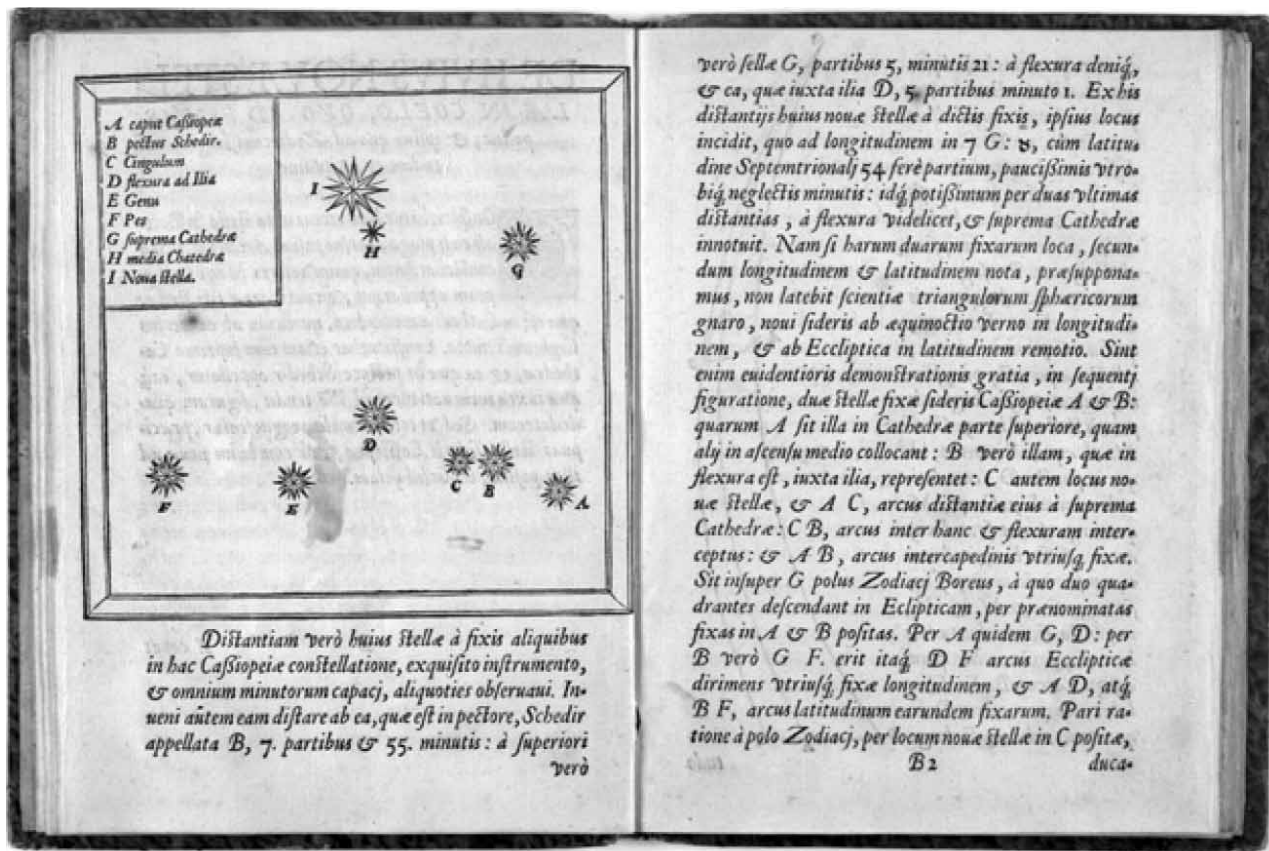


*Figur 1.* Tycho Brahes Stella Nova viste sig i stjernebilledet Cassiopeia..

*Figur 2.* Resterne efter supernovaen i år 1572, som Tycho observerede. Billedet er taget med røntgenteleskopet Chandra, fordi gassen stadig er så varm, at den udsender røntgenstråling.

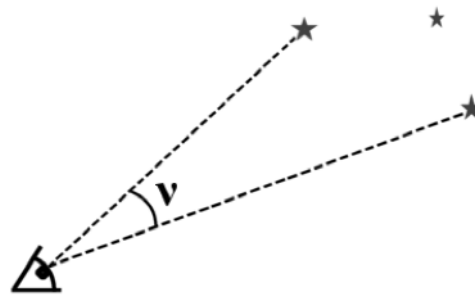
Højre: Krabbetågen, resterne efter en supernova, der eksploderede i vores egen galakse, Mælkevejen, i år 1054. Billedet er taget med Rumteleskopet Hubble.





Figur 3. Her ser du, hvordan Tycho markerede Stella Novas position (bogstavet I) i forhold til stjernerne i Cassiopeia i sin bog „De Nova Stella“ fra 1573.

For at angive positionen af Stella Nova nøjagtigt, skal vinklerne til to af stjernerne i Cassiopeia bestemmes ved hjælp af nogle af de metoder, Tycho brugte. Vinklen mellem to stjerner er en måde at udtrykke stjernernes position på himlen set fra Jorden. Denne vinkel kaldes også vinkelafstanden.



Figur 4. Vinklen mellem to stjerner er en måde at udtrykke stjernernes position på himlen set fra Jorden. Den kaldes også vinkelafstanden.

## 2 Introduktion til parallakse

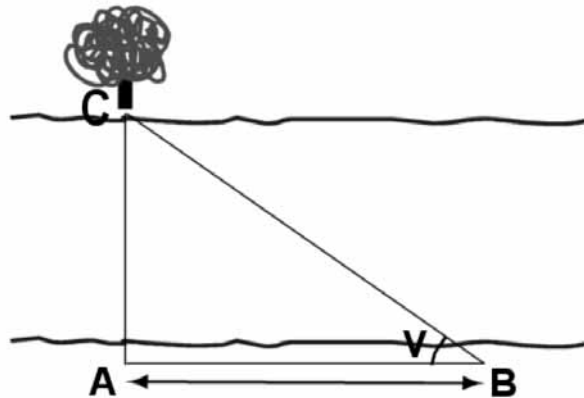
Parallakse er et udtryk, man bruger i forbindelse med vinkelmåling i astronomi. I dette afsnit vil vi kort gennemgå, hvordan man kan måle afstanden til forskellige ting ved at måle vinklerne til dem fra to forskellige steder.

Forestil dig, at du står på bredden af en flod, og du vil gerne vide, hvor langt der er over til et træ, der står på den anden bred. Du kan selvfølgelig svømme over floden med et målebånd, men du behøver slet ikke at blive våd. Du kan finde afstanden ved at markere to punkter på den bred, hvor du står, og kalde dem A og B som vist på *Figur 5*. Nu måler du afstanden mellem A og B samt vinklen mellem A og træet (set fra B) og vinklen mellem B og træet (set fra A – denne vinkel er i det viste tilfælde  $90^\circ$ ). Vinklerne kan måles ved hjælp af forskellige sigteinstrumenter, eller man kan sjusse sig frem. Ud fra de to vinkler og afstanden mellem A og B kan afstanden fra A til træet findes som:

$$\tan \nu = \frac{|AC|}{|AB|} \Leftrightarrow |AC| = \tan \nu \cdot |AB|$$

Når du går frem og tilbage, vil det se ud, som om træet flytter sig på den modsatte bred. Det er det fænomen, der kaldes parallakse.

*Figur 5.* Man kan beregne afstanden til træet,  $|AC|$ , ved at måle vinklerne fra A og B.



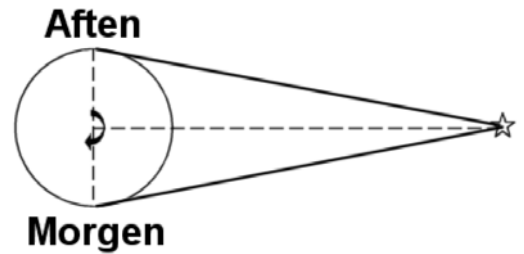
På samme måde kan afstanden til en stjerne på himlen bestemmes ved at måle vinklerne til den fra to forskellige steder. Stjernerne befinder sig meget langt væk fra jorden, så det er ikke nok at gå et par meter frem og tilbage mellem de to steder, hvorfra målingerne foretages. Det er derimod nødvendigt at måle fra hver sin side af Jorden. Se *Figur 6*. Heldigvis drejer Jorden rundt, så 12 timer efter at man har foretaget den første måling, har Jorden drejet en halv om-

gang, og man er nået om på den anden side. Halvdelen af vinkelforskellen mellem stjernens position målt med 12 timers mellemrum kaldes „daglig parallakse”. Fordi Solens lys er meget kraftigere end stjernernes lys, kan vi kun se stjernerne om natten. Derfor er det bedst at måle om morgenen og om aftenen.

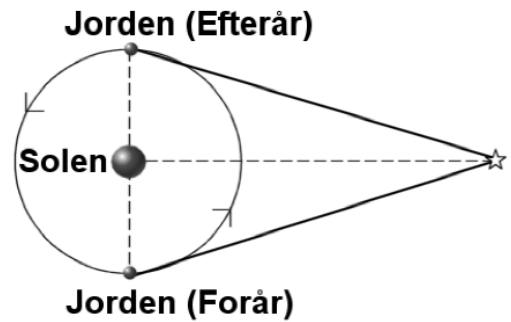
Den daglige parallakse kan kun ses for de nærmeste stjerner. For at måle parallaksen af en fjernere stjerne, skal man have endnu større afstand mellem de to punkter, man måler fra. Til det må man udnytte, at Jorden bevæger sig rundt om Solen og måle vinklen til stjernen med seks måneders mellemrum. Se *Figur 7*. Halvdelen af denne vinkelforskel kaldes „årlig parallakse”.

### 3 Tychos målinger

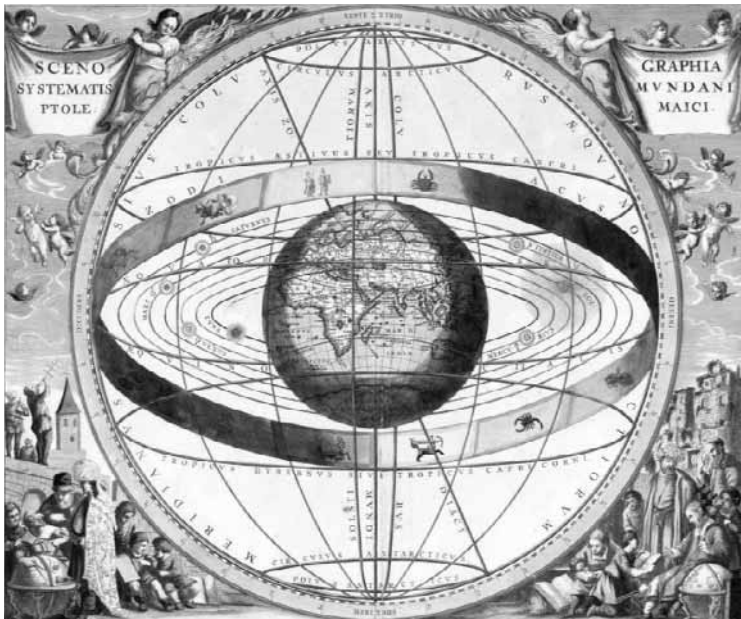
En af de ting Tycho forsøgte at måle, var den daglige parallakse til Stella Nova, således at han kunne bestemme afstanden til den. På Tychos tid troede man, at Jorden befandt sig i centrum af Universet med Solen og planeterne i baner omkring den. Stjernerne sad fast på en krystalfære, som også drejede rundt om Jorden. Heldigvis har det ingen betydning for den observerede parallakse, om det er Jorden eller stjernerne der bevæger sig. Det kan illustreres ved at holde en finger op foran ansigtet i strakt arm. Hvis du flytter hovedet lidt fra side til side, vil det se ud, som om fingeren flytter sig. Det vil



*Figur 6.* Jordens rotation om sig selv giver den daglige parallakse af en stjerne på himlen.



*Figur 7.* Jordens bevægelse rundt om Solen giver den årlige parallakse.



*Figur 8.* Ifølge det ptolemæiske geocentriske verdensbillede befinder Jorden sig i midten af Universet omgivet af Solen, planeterne og krystalfæren med stjernerne.

se ligesådan ud, hvis du flytter fingeren lidt, mens du holder hovedet stille.

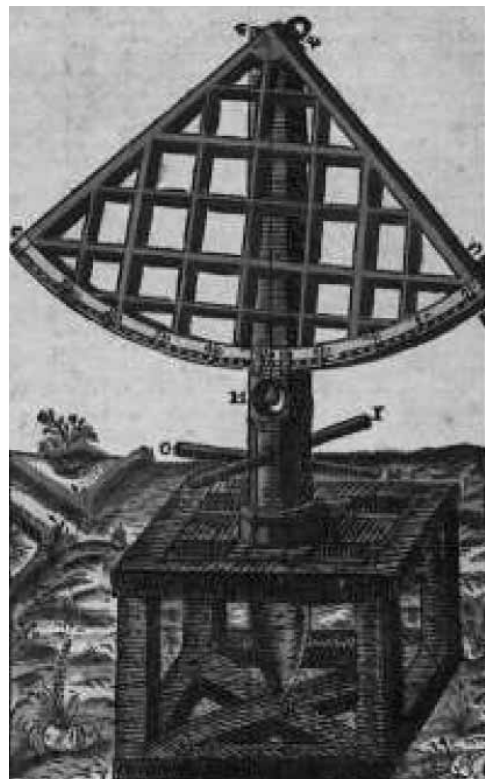
Kikkerten blev først opfundet omkring Tychos død, så de eneste hjælpemidler Tycho havde til sine observationer, var forskellige sigteinstrumenter, som byggede på principper, man havde kendt helt fra oldtiden. Tycho forbedrede sine instrumenter gennem hele livet, og selv efter kikkertens opfindelse gik der et stykke tid, inden nogen udførte flere og mere præcise målinger af stjernepositioner end Tycho.

## 4 Skitse

Som du ser på *Figur 3*, var det første Tycho gjorde, da han opdagede Stella Nova, at lave en skitse af, hvor den befandt sig i forhold til de andre stjerner i Cassiopeia, således at han kunne forklare andre, hvor på himlen Stella Nova befandt sig.

### Opgave 1

- Lav en skitse af Cassiopeia og Stella Nova. Markér de to referencestjerner, som vinklerne til Stella Nova skal måles til, med henholdsvis A og B.

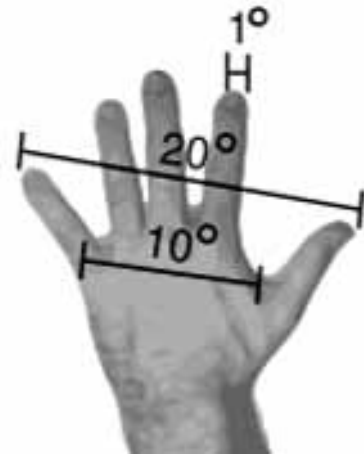


*Figur 9.* Et eksempel på et af Tychos instrumenter taget fra hans bog „Astronomiæ Instauratæ Mechanica“ („Astronomiske mekaniske instrumenter“). Instrumentet hedder en kvadrant og blev brugt til at bestemme stjernernes højde over horisonten.

Skitsen kan eventuelt forbedres ved hjælp af et koordinatsystem og koordinater på stjernerne.

## 5 Simpel vinkelmåling

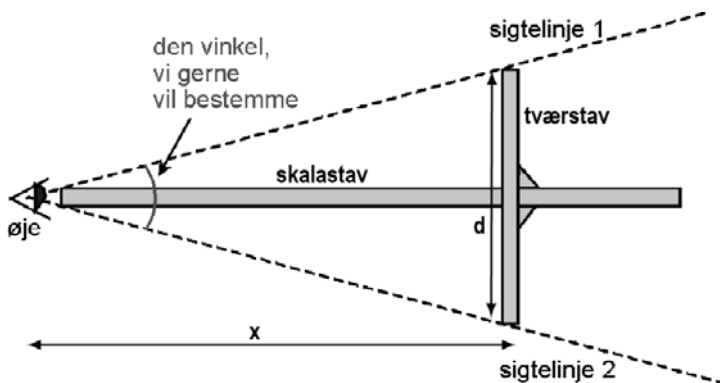
Det simpleste instrument vi har til at måle vinkler med, er vores krop. Hvis du holder en knyttet hånd op foran ansigtet i strakt arm, vil den vinkel, du måler hen over knoerne, være ca.  $5^\circ$ . Hvis du derimod holder en strakt finger op, vil den svare til ca.  $1^\circ$ . Hvis du strækker tommel- og lillefinger ud, vil vinklen mellem dem være ca.  $10^\circ$ .



## 6 Vinkelmåling med jakobsstav

En jakobsstav er et simpelt vinkelmålingsinstrument, hvis historie kan føres tilbage til 1300-tallet. På *Figur 10* kan du se, hvordan en jakobsstav bruges til at måle en stjernes højde over horisonten. Jakobsstaven blev oprindeligt brugt som astronomisk instrument, men i 1600- og 1700-tallet blev den mest brugt til navigation af sejlskibe.

Som du ser på *Figur 11*, består en jakobsstav af en sigtestav med en skala og en tværstav, der kan skydes frem og tilbage. Man holder enden af sigtestaven op til øjet og skyder tværstaven frem eller tilbage, således at de to ender ser ud til at befinde sig ved de to genstande, man ønsker at måle vinklen mellem. Derefter aflæses vinklen på skalaen.



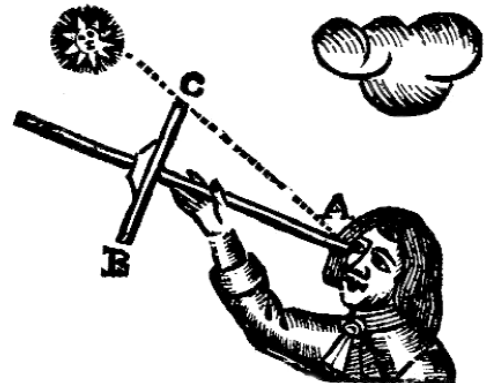
*Figur 11.* Jakobsstav.

### Opgave 2

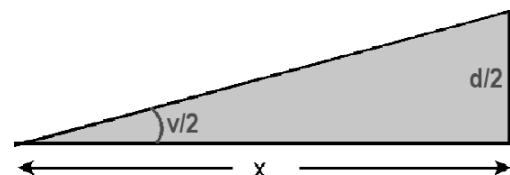
■ Stil dig på målepunktet og mål vinkelafstanden fra Stella Nova til de to referencestjerner (A og B) ved hjælp af dine fingre og hænder.

Vinkel til A: a=

Vinkel til B: b=



*Figur 10.* Et træsnit fra 1500-tallet viser, hvordan man bruger en jakobsstav til at måle en stjernes højde over horisonten.



### Opgave 3

■ Stil dig på målepunktet og mål vinkelafstanden fra Stella Nova til de to referencestjerner (A og B) ved hjælp af jakobsstaven.

Vinkel til A: a=

Vinkel til B: b=

Vinkelskalaen på skalastaven er bestemt af den følgende ligning:

$$\tan \frac{\nu}{2} = \frac{\frac{d}{2}}{\chi} \Leftrightarrow \chi = \frac{d}{2 \cdot \tan \frac{\nu}{2}}$$

Vi ved, at Tycho brugte en jakobsstav til sine tidlige målinger, blandt andet af Stella Nova.

## 7 Vinkelmåling med sekstant

En sekstant er et instrument til vinkelmåling, der spænder over en sjettedel af en cirkel ( $60^\circ$ ). Moderne sekstanter er forsynet med to spejle og en lille kikkert og bruges kun til at måle Solens højde over horisonten ombord på skibe. Tycho fik fremstillet særlige sekstanter til måling af stjernernes positioner på himlen. Nogle af sekstanterne kunne kun måle stjernernes højde over horisonten, mens andre – som den på *Figur 12* – var bygget, så de kunne måle vinklen mellem to stjerner på himlen.

Vi har fået fremstillet en simpel version af sekstanten vist på *Figur 12*. Den spænder kun over  $30^\circ$ , men det er også rigeligt til at måle vinklerne til Stella Nova.

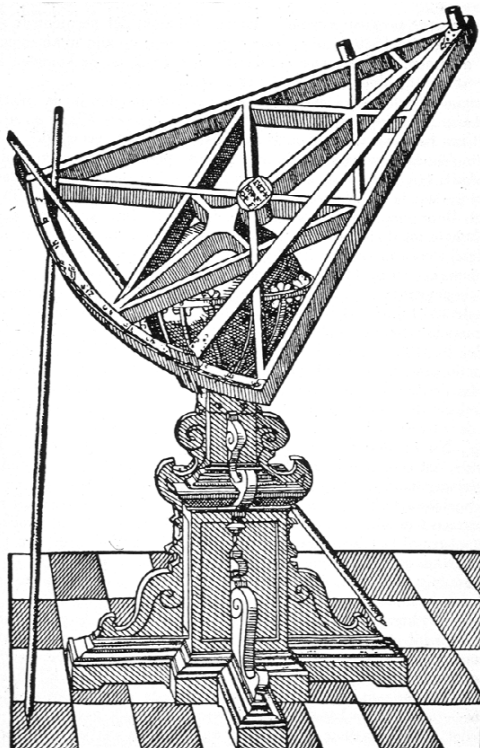
### Opgave 4

■ Hvorfor står sekstanten på et stativ?

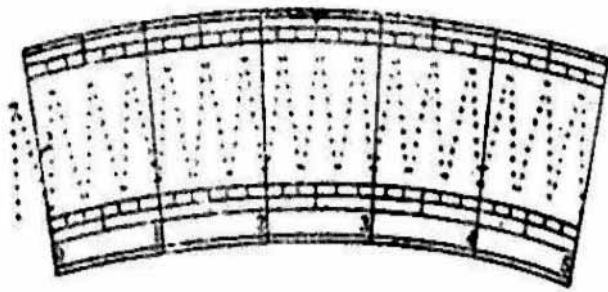
*Figur 12.*

Venstre: Tychos egen tegning af hans trekantede sekstant til måling af vinkler. Billedet er taget fra hans bog „Astronomiæ Instauratæ Mechanica“ fra 1598.

Højre: På Tycho Brahe-museet på Hven findes en kopi af Tychos sekstant fremstillet efter de gamle tegninger og beskrivelser..



Tycho udviklede selv skalaen på sekstanten (se *Figur 13*). Hver streg markerer  $1^\circ$ . Hver af de små streger over og under det prikkede område markerer  $1'$ . Mellem hver streg er der 10 prikker, som hver markerer 6 bueminutter. 1 bueminut er  $1/60$  grader og skrives som  $1'$ .



*Figur 13.* Tycho udviklede selv skalaen på sekstanten. Hver streg markerer  $1^\circ$ . Mellem hver streg er der 10 prikker, som hver markerer seks bueminutter.

### Opgave 5

■ Stil dig på målepunktet og mål vinkelafstanden fra Stella Nova til de to referencestjerner (A og B) ved hjælp af sekstanten.

Vinkel til A:  $a =$

Vinkel til B:  $b =$

## 8 Præcision og statistik

### Opgave 6

■ Hvilken metode tror du giver det mest præcise resultat?

For at afgøre matematisk hvilken metode der er mest præcis, er det nødvendigt at måle den samme vinkel mange gange og derefter bestemme variationen af resultaterne. I stedet for at måle mange gange kan vi benytte alle de resultater, hele klassen har opnået.

### Opgave 7

■ Indsaml de andres resultater, så du har ti sæt resultater i alt og notér dem i tabellen.



	Måling med hånd		Måling med Jakobsstav		Måling med sekstant	
	a	b	a	b	a	b
Middelværdi						
Spredning						

Metoden med den mindste spredning er statistisk set den mest præcise. Det samlede resultat af alle jeres målinger er middelværdien.

**Opgave 10**

■ Hvilken måling er mest præcis?

**Opgave 11**

■ Hvorfor er den mest præcis?

## 9 Stella Novas mindste afstand

Det Tycho observerede var, at Stella Nova ikke ændrede position i forhold til de andre stjerner i Cassiopeia i løbet af en nat. Da vi kender præcisionen, hvormed Tycho målte, og Jordens radius, kan vi beregne en mindste afstand til Stella Nova som:

$$d_{SN} = \frac{R_{Jord}}{\tan \frac{\nu}{2}}$$

For små vinkler ( $\nu < 5^\circ$ ) kan dette skrives som:

$$d_{SN} = \frac{R_{Jord}}{\frac{\nu}{360^\circ} \cdot \pi}$$

Præcisionen af Tychos sekstant er ca.  $\delta\nu = 0,5$  bueminutter (det er det samme som  $0,0083^\circ$ ).

Jordens radius er ca.  $R_{Jord} = 6\,380\,000$  meter.

Hvis Stella Nova for eksempel havde været en komet, kunne dens bane komme inden for Månens bane omkring Jorden, og Tycho skulle have observeret en tydelig parallakse.

**Opgave 12**

■ Indsæt værdierne ( $R_{Jord}$  og  $\delta\nu$ ) og beregn den mindste afstand til Stella Nova. Hvilken afstand får du?

**Opgave 13**

■ Afstanden til Månen er:  $d_{Måne} = 384\,000\,000$  meter. Var Stella Nova længere væk eller tættere på Jorden end Månen?

### Opgave 14

■ Hvor stor en parallakse ville Tycho have målt, hvis Stella Nova befandt sig i Månens afstand fra Jorden? (Isolér  $\nu$ )

### Opgave 16

■ Ville Tycho have kunnet måle denne parallakse med jakobsstaven?

### Opgave 15

■ Ville Tycho have kunnet måle denne parallakse med hænderne?

### Opgave 17

■ Ville Tycho have kunnet måle denne parallakse med sekstanten?

## 10 Supernovaer i dag

I 1572 regnede Tycho ud, at Stella Nova befandt sig længere væk fra Jorden end Månen. Det betød, at den lå ude ved krystalfæren med stjernerne, som ellers regnedes for evige og uforanderlige. Men Stella Novas tilsynkomst var jo netop en forandring, som ledte til, at man måtte ændre det generelle syn på Universets opbygning.

*Figur 14.* Very Large Telescope („Meget Stort Teleskop“) i Chile er et af de moderne teleskoper, der blev brugt til at observere de 186 supernovaer.



Men det skulle ikke blive sidste gang, at supernovaer ændrede vores opfattelse af Universet. I moderne tid forklares Universets historie med Big Bang-modellen, hvor Universet begyndte i et punkt. Siden da har Rummet udvidet sig (som en ballon der blæses op) til den størrelse, vi kender i dag. I 1998 viste observationer af 186 supernovaer, at Universet ikke bare udvider sig, men at udvidelsen faktisk accelererer – det vil sige, at Universet udvider sig hurtigere og hurtigere. Denne effekt tillægges noget, som kaldes mørk energi, som ingen endnu har fundet ud af, hvad er.

## 11 Internettet

På Rumteleskopet Hubbles engelske hjemmeside kan du finde rigtig mange billeder af stjerner, galakser, supernovaer mv.  
<http://hubblesite.org>.

<http://www.rummet.dk> er en dansk hjemmeside om astronomi og rumfart.

<http://www.rundetaarn.dk> er Rundetaarns hjemmeside om astronomien og dens historiske udvikling i Danmark.

På <http://www.kb.dk/elib/lit/dan/brahe/> har Det Kongelige Bibliotek lavet en dansk internetbog om Tycho's instrumenter, blandt andet med en oversættelse af Tycho's egen bog.

<http://www.skoletjenesten.dk>

<http://www.natmus.dk>

© Skoletjenesten  
Nationalmuseet 2006

Dette materiale er udviklet for Skoletjenesten  
Nationalmuseet af Camilla Juul Hansen, Desiree  
Della Monica Ferreira, Peter Laursen og Signe  
Riemer-Sørensen fra Dark Cosmology Centre  
ved Niels Bohr Institutet.

Lay-out: Kristin Wiborg MDD/Skoletjenesten

Print: Schultz Grafisk

