

Om nøjagtighed og opløsningsevne

Erik Høg, Niels Bohr Institutet

I Kvants decemhernummer (2023, nr. 4) kan man læse, at opløsningsevnen er den maksimale målenøjagtighed, der kan opnås med et optisk apparat til astrometri. Men det er forkert, og da det er en ret almindelig misforståelse, synes jeg, den bør rettes i Kvant.

I en breddeopgave af Jens Højgaard Jensen [1] forklares den nøjagtighed på et bueminut, som Tycho opnåede. Forfatteren skriver, at “Tycho Brahes målinger var i nærheden af det fysisk mulige med den målemetode han anvendte”, idet opløsningsevnen for det menneskelige øje er et bueminut. Han observerede jo uden kikkert, der først blev opfundet efter hans tid.

Men der har været andre fejlkilder i Tychos instrumenter som årsag. Jeg vil nu forklare de forskellige begreber nærmere, og hvad der sætter grænsen for astrometrisk nøjagtighed. Det er ikke opløsningsevnen, der sætter grænsen.

Lad mig angive nøjagtigheden for et moderne instrument og vise, at den er meget bedre end opløsningsevnen. Opløsningsevnen beregnes ofte som vinklen $R = \lambda/D$ radian, hvor λ er lysets bølgelængde, og D er objektivets diameter. Somme tider sættes en faktor 0,61 på dette udtryk, men det er småting i denne sammenhæng. Hvis to lige klare stjerner i kikkerten står tættere sammen end R , smelter de to lyspletter sammen og kan ikke længere skelnes som to stjerner – sådan bruges ordet opløsningsevne i astronomi.

Nøjagtigheden ved måling af en stjernes position, altså standardafvigelsen, kaldes s , og tages fra Tabel 1 i en stor artikel om fotoelektrisk astrometri af Lindegren [2], hvis rigtighed er bekræftet fx ved observationer med den astrometriske satellit Hipparcos.

Størrelsen s er i radianer givet ved:

$$s = \frac{\lambda}{\pi D \sqrt{N}}, \quad (1)$$

hvor N er antallet af registrerede fotoner i billedet af en stjerne.

Denne formel udtrykker, at billedets position/beliegenhed bestemmes mere sikkert ud fra et stort antal fotoner, og at denne forbedring sker proportionalt med kvadratroden af antallet.

Med fx $\lambda = 500$ nm, $D = 10$ mm og $N = 10000$ fotoner fås $s = 0,16 \times 10^{-6}$ rad = 0.033” (buesekunder), altså meget mindre end opløsningsevnen på $\lambda/D = 50 \times 10^{-6}$ rad = 10”.

Lad os nu se på Ole Rømers observationer fra 1706. Ifølge Fabricius [3] har de en nøjagtighed på ca. 5” (5 buesekunder). Kikkerten på meridiankredsen havde en linse med en beskeden diameter, som vi ikke har nogen angivelse om, siger Claus Fabricius, som jeg også takker for en opmuntrende kommentar til dette indlæg. Måske

var $D = 10$ mm, så kikkerten havde en opløsningsevne på 10”, hvis linsen var perfekt.

I et senere værk [4] angives den indre nøjagtighed eller “indre fejl” eller reproducerbarhed for en observation af en stjernes declination til 4,2”. Det er den tilfældige del, som omfatter observatørens indstilling på stjernen, fejl fra aflæsning af mikroskoper, variation af den atmosfæriske refraktion fra nat til nat, og systematiske fejl fra inddelingerne på kredsen. Tilsvarende for stjernens anden koordinat, rektascension, angives en typisk fejl på 2”, altså meget mindre end opløsningsevnen.

Ved meridiankredsen indstiller observatøren en tynd tråd i synsfeltet gennem midten af stjernen. Det er en erfaring fra astronomi, at man kan stille en tråd gennem midten af en rund plet med en reproducerbarhed på en hundrededel af plettens diameter.

Litteratur

- [1] J. Højgaard Jensen (2023) “Tycho Brahe – Breddeopgave 106 med didaktisk kommentar”, *Kvant*, bind 34, nr. 4, side 39–40.
- [2] L. Lindegren (1978) “Photoelectric Astrometry – a Comparison of Methods for Precise Image Location”. <https://zenodo.org/records/10493823>
- [3] C. Fabricius (2011) “Ole Rømer – I kongens og videnskabens tjeneste”, Aarhus Universitetsforlag, side 292–307.
- [4] C. Fabricius, N.T. Jørgensen og C.G. Tortzen (2023) “Ole Rømer’s Triduum”, Society for Danish Language and Literature.

Jens Højgaard Jensen svarer

Erik Høg har ret i sin kommentar. Der er forskel på bredden af en fordeling og nøjagtigheden, hvormed tyngdepunktet af fordelingen kan bestemmes. Jeg har i sin tid været for hurtig ved formuleringen af breddeopgaven om Tycho Brahe. Da bedømmelsen af de studerende i højere grad går efter, om de tænker som fysikere, end om de finder frem til rigtige besvarelser, har skaden for de studerende på breddekurset formentlig været begrænset.

Men, selvom det ikke er første gang, vi har povet os ud på for dybt vand med en breddeeksamensopgave, forsøger vi, uden at skade genren, selvfølgelig at undgå det.