

Astrolabium-workshop: Inleiding

Tegenwoordig meten wij de tijd met klokken en horloges. Kwartsklokken zijn een twintigste eeuwse uitvinding, en het slingeruurwerk werd kort na 1650 uitgevonden door Christiaan Huygens. Vanaf de dertiende eeuw waren er in het Westen mechanische torenklokken, en sinds de oudheid werden waterklokken en zonnewijzers gebruikt, maar al deze hulpmiddelen waren niet erg nauwkeurig.

De middeleeuws Islamitische en Europese sterrenkundigen hadden bij het doen van waarnemingen behoefte aan een nauwkeurige manier van tijdmeting, overdag en 's nachts. Hiervoor gebruikten zij het astrolabium. Het achterliggende wiskundige principe was door de Griekse sterrenkundige Hipparchus ontdekt, en een eerste vorm van het astrolabium in de late oudheid (ca. 400 na Chr.) ontwikkeld. De Islamitische sterrenkundigen hebben het instrument uitgebreid met de azimuthale cirkels (wat dat zijn zal verderop worden uitgelegd).

Er zijn ongeveer 1000 middeleeuwse astrolabia bewaard, voornamelijk uit de Islamitische cultuur en uit Christelijk Europa, waar het astrolabium sinds de elfde eeuw bekend was geworden. Veel van deze astrolabia zijn ware kunstwerken, en daarom zijn astrolabia regelmatig te zien op tentoonstellingen van middeleeuwse of Islamitische kunst, en in boeken over kunst. Alleen door ernaar te kijken leren de meeste mensen nog niet hoe een astrolabium werkt.¹ Daarvoor is nodig, zelf zo'n instrument in handen te hebben om het uit elkaar te kunnen halen en er mee te spelen. Dit is uiteraard niet doenlijk met authentieke instrumenten, maar wel met simpele modellen. In deze workshop zullen we aan de hand van een model leren hoe het astrolabium als klok en ook als kompas kan worden gebruikt.

Door het ontwikkelen en geven van deze workshop heb ik ontdekt dat het astrolabium niet alleen historische, maar ook een didactische waarde heeft. Dit heeft te maken met het feit dat het astrolabium geniaal is in zijn eenvoud. Vele mensen (inclusief ikzelf) hebben door het werken met het astrolabium allerlei dingen geleerd over de sterrenhemel, de seizoenen, de lengte van de dagen, enzovoort, die nu nog even waar zijn als in de middeleeuwen. In het

¹Aan de beschrijvingen bij astrolabia in kunsttentoonstellingen en kunstboeken is vaak duidelijk te zien dat de organisatoren van de tentoonstellingen en de auteurs van de boeken geen flauw benul hebben van de werking van het instrument.

moderne onderwijs aan de middelbare school komen dit soort elementaire dingen allang niet meer aan de orde.

Als voorbereiding op de workshop kunt u eventueel de volgende tekst lezen. Het is helemaal niet erg als u bepaalde gedeelten niet precies of helemaal niet begrijpt. Echt inzicht in het astrolabium komt vanzelf, als u tijdens de workshop uw eigen modelletje in handen krijgt en er (met hulp van de begeleiders) zelf “sometjes” mee zult gaan maken.

Vanwege de korte tijd maken we alleen een model van de voorkant van het instrument. Het model is gebaseerd op een van de oudste astrolabia dat bewaard is, en dat gemaakt is door al-Khodjandī (AD 984-5). Deze wiskundige kwam uit Tadjikistan en werkte in Bagdad. Zijn astrolabium wordt tegenwoordig in een museum in Doha (Qatar) bewaard.

Het model bestaat uit (1) een stuk papier met een tekening van de “moeder” en de “plaat” van het astrolabium; (2) een splitpen of drukknoop; en (3) een transparant met daarop een andere tekening, de “spin”. De tekeningen (1) en (3) staan op de volgende bladzijden afgebeeld. Iedere deelnemer ontvangt aan het begin van de workshop een exemplaar van het model met tekening, transparant en drukknoop.

De “spin” (3) is een afbeelding van de sterrenhemel met daarin ook de dierenriem. De dierenriem is de schijnbare baan van de zon tegen de achtergrond van de vaste sterren. De drukknoop (2) is de poolster - preciezer: het punt waarom de sterrenhemel schijnt te draaien (doordat de aarde eens in de 24 uur om zijn as draait).

Op het papier (1) zien we een cirkelvormige rand die verdeeld is in 360 graden, en die vastzit aan een ring.² Dit gedeelte heet de moeder. In de moeder vinden we een gebied met een stel kromme lijnen. Dit heet de de “plaat”, die hier getekend is voor een plaats met breedte van 52 graden (Utrecht). We zien hierin de horizon, dat is een deel van een cirkel met de kompasrichtingen Oost, Noord en West (Zuid zou buiten het astrolabium vallen). Het gebied boven de horizon is de zichtbare hemel, die door allerlei cirkels en cirkelbogen is verdeeld. Het punt recht boven je hoofd is de “90” binnen het kleine cirkeltje. Men zou eventueel boompjes, flatgebouwen, enz. op de horizon kunnen tekenen.

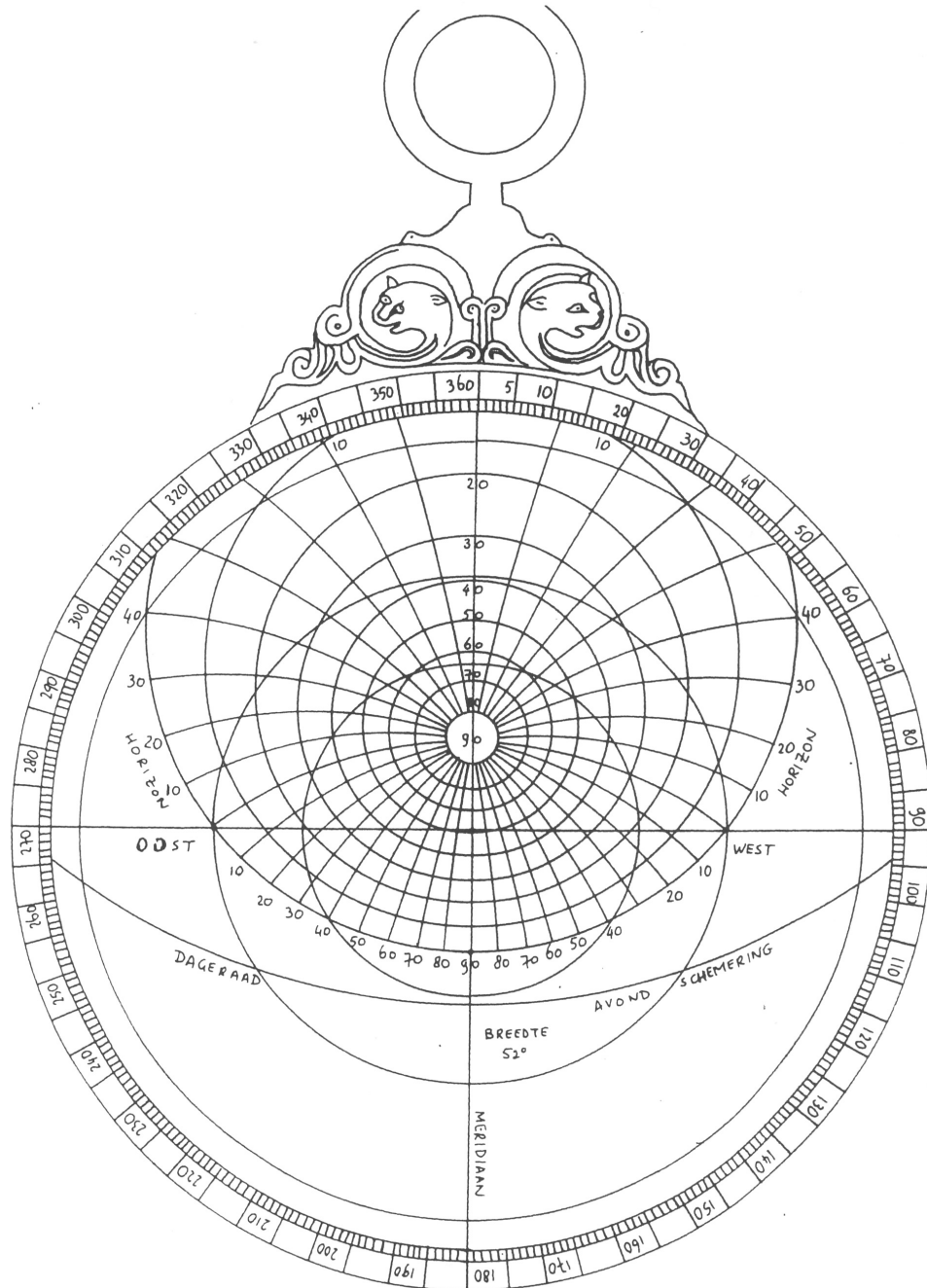
²Een metalen astrolabium kan aan de ring verticaal gehouden worden, om hoogtemetingen te doen met de achterkant.

Verder hebben we nodig: een marker met wateroplosbare inkt, en een pen of potlood. En een tabel van de twaalf tekens van de dierenriem en de intervallen in het jaar waarin de zon (bij benadering) in deze tekens staat:

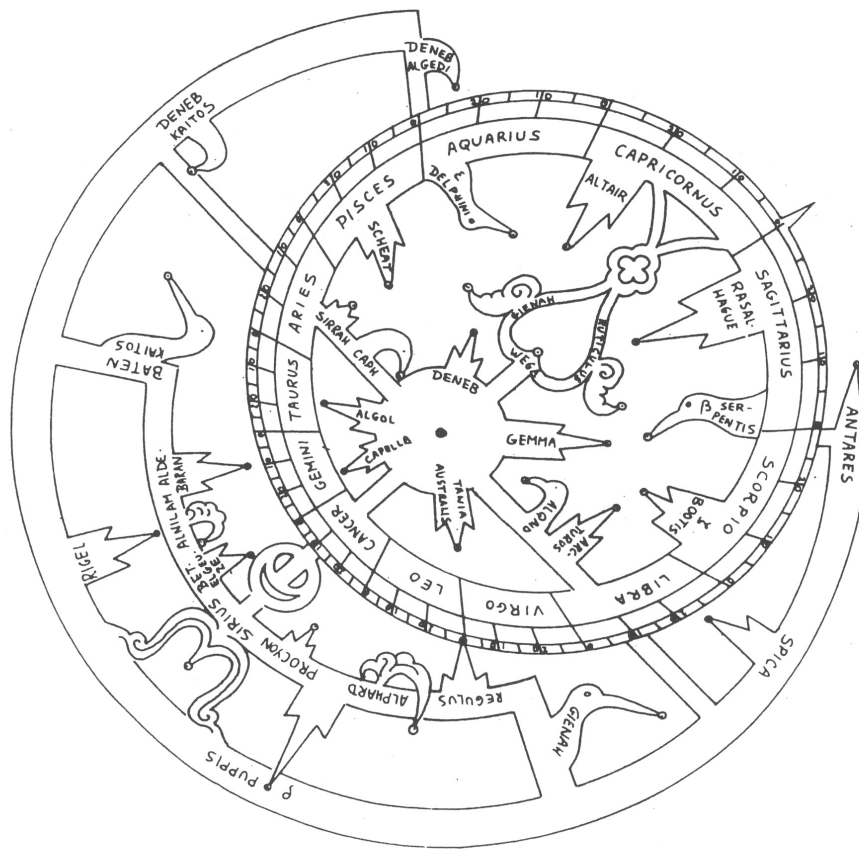
Seizoen	Nederlandse naam	Latijnse naam	Periode
Lente	Ram	Aries	21 maart - 21 april
	Stier	Taurus	21 april - 21 mei
	Tweelingen	Gemini	21 mei - 21 juni
Zomer	Kreeft	Cancer	21 juni - 21 juli
	Leeuw	Leo	21 juli - 21 augustus
	Maagd	Virgo	21 augustus - 21 september
Herfst	Weegschaal	Libra	21 september - 21 oktober
	Schorpioen	Scorpio	21 oktober - 21 november
	Schutter	Sagittarius	21 november - 21 december
Winter	Steenbok	Capricornus	21 december - 21 januari
	Waterman	Aquarius	21 januari - 21 februari
	Vissen	Pisces	21 februari - 21 maart.

De dierenriem wordt verdeeld in 360 graden, elk van deze 12 tekens is 30 graden lang. Deze verdeling is in het Babylonisch cultuurgebied ingevoerd, en later door de oude Grieken en in de Islamitische en Europese sterrenkunde overgenomen. De verdeling van de (d.w.z. elke) cirkel in 360 graden is hiervan afgeleid. Om de positie van de zon op een bepaalde dag te kunnen vinden gebruiken we dat de zon ongeveer 1 graad per dag beweegt, zoals in het volgende voorbeeld: stel uw verjaardag is 29 mei. Op 21 mei staat de zon in 0 graden Tweelingen. 29 mei is acht dagen later, zodat de zon op die dag in 8 graden Tweelingen staat.

De data kunnen iets accurater, maar voor een klein astrolabium is deze nauwkeurigheid genoeg!



Tekening (1) van de moeder en de plaat van het model van het astrolabium



Tekening (3) van de spin van het model van het astrolabium

Astrolabium-workshop: Niveau 1

De volgende stappen zullen door de begeleiders worden toegelicht (zie eventueel alvast de gebruiksaanwijzing op de volgende bladzijden). U kunt de antwoorden invullen op dit formulier, dat tijdens de workshop opnieuw zal worden uitgedeeld.

1. Kies een datum (bijvoorbeeld: uw verjaardag), alleen dag en maand, (jaar hoeft niet): dag, maand
2. Dan is de zon in het teken van de dierenriem
3. En in de graad (tussen 0 en 30) in dit teken.

U kunt nu de positie van de zon in de dierenriem op de spin aangeven. Zorg ervoor dat u het stipje aan de buitenkant van de cirkel zet, met wateroplosbare inkt (liefst rood)!

4. Noteer de positie van de wijzer (op de buitenste schaalverdeling) tijdens zonsopgang (zon op de Oostelijke horizon)
5. Noteer de positie van de wijzer tijdens zonsondergang (zon op de Westelijke horizon)
6. Verschil: positie zonsondergang minus positie zonsopgang (dus: getal uit 5 minus getal uit 4) is
(als de het getal van de zonsopgang groter is dan dat van zonsondergang, dan eerst 360 bij het getal voor zonsondergang optellen)
7. Dus is de lengte van de dag op die datum:
(15 graden = 1 uur)

Niveau 2

Veronderstel dat u NU met de achterkant van het astrolabium,³ of met een stok, de hoogte van de zon meet, en dat u een hoogte van 10 graden boven de horizon vindt. Hoe laat is het nu? (U moet ook weten of het ochtend of namiddag is)

8. Bepaal de positie van de wijzer NU
9. Bepaal de positie van de wijzer op het begin van de MIDDAG (12:00 ware lokale zonnetijd; de zon staat dan op de meridiaan)
10. Verschil
11. Lokale ware zonnetijd NU
12. Kompasrichting van de zon NU

Niveau 3

Gebruik het astrolabium voor het bepalen van de richting van Mekka in Utrecht.

Gegeven: De geografische breedte van Mekka is $21^{\circ}40'$. Hieruit kan men afleiden dat de zon op 27 mei in Mekka door het zenith gaat (het punt precies boven het hoofd van de inwoners). Utrecht ligt op $5^{\circ}13'$ Oosterlengte, Mekka op $39^{\circ}50'$ Oosterlengte. Deze opgave is veel moeilijker! alleen voor als u de andere twee opgaven al af hebt.

Met het astrolabium kunnen nog allerlei andere berekeningen worden gedaan. Zie de literatuur aan het eind van deze tekst.

Opmerking voor wiskundig geïnteresseerden: Het astrolabium berust op stereografische projectie van de hemelbol. De pool van projectie is de hemelzuidpool en het projectievlak is evenwijdig aan de hemelequator. Stereografische projectie heeft de prettige eigenschap dat alle cirkels op de hemelbol worden afgebeeld op rechte lijnen en cirkels in het projectievlak. (Bij andere soorten centrale projectie kunnen cirkels ook op ellipsen, parabolen en hyperbolen worden afgebeeld. Cirkels zijn veel gemakkelijker te construeren dan ellipsen, parabolen en hyperbolen.)

³Zie de gebruiksaanwijzing hierna.

Gebruiksaanwijzing van het astrolabium

De hoogte van de zon kan met de achterkant van het instrument (niet bijgeleverd) worden gemeten door het instrument verticaal te houden en een wijzer rond te draaien todat deze precies naar de zon wijst. Op de achterkant zit een schaalverdeling en de wijzer wijst daarop de hoogte van de zon aan (tussen 0 en 90 graden). Om de wijzer naar de zon te kunnen richten was hij voorzien van loodrechte metalen plaatjes met rondjes waar het zonlicht doorheen kon vallen. s'Nachts kon de hoogte van een heldere ster gemeten worden door het astrolabium verticaal te houden, schuin boven het gezicht van de waarnemer, en dan net zo lang met het astrolabium en de lineaal te draaien tot de ster door beide gaatjes tegelijk kon worden gezien. Astrolabia waren van metaal, dus zwaar, en door de ring was een touw geknoopt waaraan het astrolabium verticaal kon hangen. Op zee was het astrolabium uiteraard onbruikbaar door de deining van de golven.

We zullen nu zien hoe we het astrolabium als klok en als kompas kunnen gebruiken.

Stap 1. We leiden uit de datum van het jaar de positie van de zon in de dierenriem af. De dierenriem is de ring op de spin met de tekens en de schaalverdeling, de zon staat altijd ergens aan de buitenrand van deze ring. We herhalen de informatie uit de bovenstaande tabel (zie het voorbeeld 29 mei). Nog een voorbeeld: 8 mei is 17 dagen na 21 april, dus de zon staat dan ongeveer in 17 graden Taurus, vlak bij het kleine streepje halverwege tussen 10 en 20. De positie van de zon markeren we op de spin met wateroplosbare inkt (liefst rood).

Stap 2. Op de plaat zien we de horizon en het Oosten en Westen. Let op: de horizon is *niet* de rechte lijn door het Oosten en Westen, maar een cirkelboog met de bolle kant naar beneden. Het Noorden ligt op de horizon bij het getal 90, (het andere getal “90” binnen het kleine cirkeltje is het zenith, dat is het punt recht boven uw hoofd). De verticale rechte lijn door het noorden en zenith heet “meridiaan”. Nu draaien we de transparant zodat het rode vlekje (de zon) op de meridiaan staat, en boven de horizon, de locale ware zonnetijd is dan 12 uur. We lezen af welk getal de wijzer van de transparant aanwijst (voor 8 mei: ongeveer 133.) De wijzer wijst naar buiten en zit vast op de grens tussen de tekens Sagittarius (boogschutter) en Capricornus (steenbok). Hier staat de zon op 21 december.

We kunnen op dezelfde manier de zon op de Oostelijke horizon plaatsen, en het getal aflezen dat door de wijzer aangewezen wordt; en op de Westelijke horizon, en dan weer het getal aflezen. Dit wordt in Niveau 1 van de workshop gedaan. We kunnen daaruit afleiden hoeveel 'streepjes' het duurt van zonsopgang tot zonsondergang. Een totale rondgang (360 graden) van de transparant duurt ca. 24 uur, één graad op de schaalverdeling komt dus overeen met 4 minuten tijd. Hieruit vinden we de lengte van de dag, d.w.z. het tijdsinterval van zonsopgang tot zonsondergang op uw verjaardag.

Stap 3. Op de plaat vinden we verder een groep cirkels tussen het zenith en de horizon; deze cirkels heten *almucantars* ("bruggen"). Ze geven de hoogte boven de horizon aan (10 graden, 20 graden, enz. tot 80 graden). We meten nu de hoogte van de zon, stel deze is 10 graden en stel het is ochtend. Dan draaien we de transparant zodat de zon (het rode vlekje) op de cirkel van 10 graden boven de horizon staat, en wel in het Oosten. We lezen de wijzer af (ongeveer 41). Het verschil met de 133 is 92. de 92 graden zijn 6 uur en 8 minuten. De locale ware zonnetijd is op dit moment dus 5 uur 52 minuten 's ochtends. (De (middelbare) zomertijd op uw horloge lijkt op de locale ware zonnetijd van Moskou, in de zomer is dit ca. 1 uur en 40 minuten later dan onze locale ware zonnetijd. Afhankelijk van de tijd van het jaar moet nog een correctie worden toegepast van "waar" naar "middelbaar." Deze correctie kan tot een half uur oplopen.)

Stap 4. Kompasrichtingen: op de plaat staan ook een bundel kromme cirkelbogen, die uitwaaieren vanuit het zenith. Deze bogen heten de azimuthale cirkels. Ze geven de kompasrichtingen aan. Op de horizon worden ze aangegeven met de getallen 40, 30, 20, 10, Oost, 10, 20, 30, ..., 90 (Noord), 80, 70, ..., 10, West, 10, 20, 30, 40. We zien op de plaat dat de zon "nu" (op 8 mei, 10 graden boven de horizon, in de morgen) 10 graden ten noorden van het Oosten staat. Dit betekent dat het Oosten 10 graden rechts van de zon is, en het Noorden 80 graden links van de zon.

Met deze informatie kunnen we nu "in het veld" het Oosten en het Noorden vinden.

Na de middag staat de zon rechts van de meridiaan. 's Nachts kan men deze metingen en berekeningen uitvoeren met de heldere sterren die op de transparant staan aangegeven.

Literatuur:

De informatie over het astrolabium van al-Khodjandī is ontleend aan: D.A.King, Early Islamic Astronomical Instruments in Kuwaiti Collections, in: Fullerton, A., Fehérvári, G., *Kuwait: Arts and Architecture. A Collection of Essays*. Kuwait: 1995, pp. 76-96. Voor een korte inleiding tot het astrolabium zie: John North, The Astrolabe, *Scientific American* **230** (i) (January 1974), pp. 96-106. In het Nederlands is aanbevolen: Rob van Gent, *De hemel in de hand: Twee astrolaben van het Museum Boerhaave / The Portable Universe: Two Astrolabes from Museum Boerhaave* (Museum Boerhaave, Leiden, 1994). Zie eventueel ook: Jan P. Hogendijk, Occulte Wiskunde, *Nieuwe Wiskant* 7 (1988), no. 3, pp. 35-44. Het standaardwerk is: Henri Michel, *Traité de l'Astrolabe*, Paris 1947 (Frans). De positions van de sterren in het model zijn ontleend aan: Alan Hirschfeld, Roger Sinnott (ed.), *Sky Catalogue 2000.0*, Vol. 1, Cambridge U.K.: Cambridge University Press, 1982. Doordat al-Khojandī uiteraard posities van de sterren in zijn tijd gebruikte, is het effect zichtbaar van de precessie van de equinoxen gedurende 1000 jaar. Hierdoor lijkt het moderne model van de spin ongeveer 15 graden gedraaid te zijn in vergelijking met het originele spin van al-Khojandī.

Dit document is ook beschikbaar via
<http://www.jphogendijk.nl/talks.html>