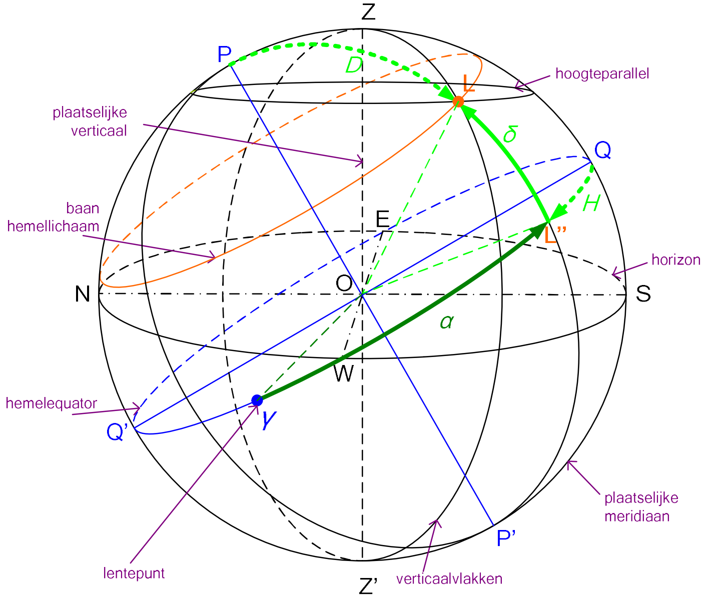
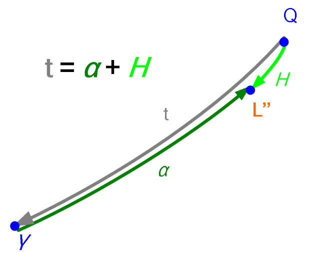
3.3 Equatoriale universele coördinaten



Figuur 3.4 – Equatoriale universele coördinaten



Figuur 3.5 – Relatie tussen sterrentijd t, rechte klimming en uurhoek

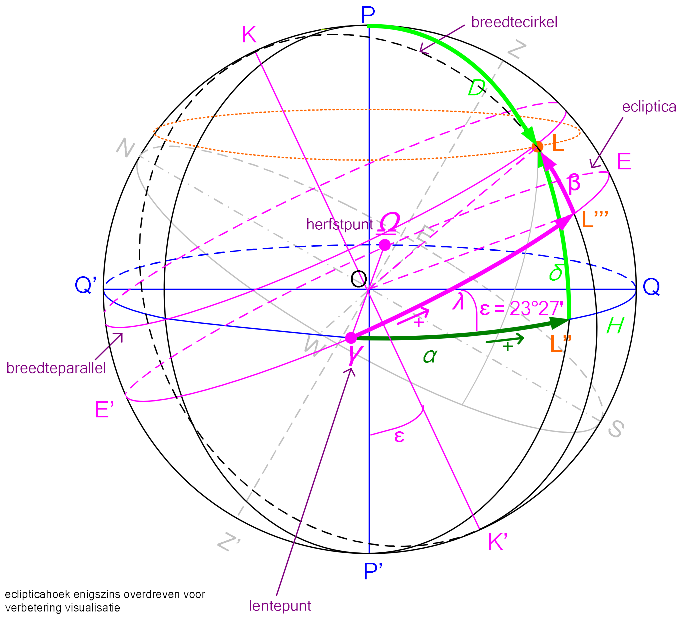
De overgang van een halfplaatselijk tot een absoluut coördinatensysteem vereist een oorsprongspunt voor de hoek gemeten in het equatorvlak dat onafhankelijk is van de plaats van de waarnemer. Als oorsprongspunt wordt het lentepunt γ beschouwd. Het lentepunt is bepaald door het snijpunt van het equatorvlak en het eclipticavlak en is nagenoeg[5] vast.

De equatoriale universele coördinaten van een punt L aan de hemelsfeer zijn de rechte klimming α en de declinatie δ.

- De **rechte klimming α** is de hoek tussen het uurcirkelvlak $P\gamma P'$ van het lentepunt γ en het uurcirkelvlak $PLL''P'$ van het punt L , namelijk de hoek $\gamma\hat{O}L''$, met L'' het snijpunt van de uurcirkel door L en de equator. De rechte klimming wordt gegeven door de boog $\gamma L''$.
De rechte klimming wordt gerekend vanaf γ rechtstreeks en wordt meestal uitgedrukt in h min s.
- De **declinatie δ** werd in vorige paragraaf gedefinieerd.

De **sterrentijd**[6] $\boldsymbol{t}$ is de uurhoek van het lentepunt γ. Er geldt dat $\boldsymbol{t = \alpha + H}$.

3.4 Ecliptische of astronomische coördinaten



Figuur 3.6 – Ecliptische coördinaten

---

[5] het lentepunt loopt terug, hierop wordt verder ingegaan

[6] sterrentijd wordt in het hoofdstuk 6 uitgediept

De ecliptische universele coördinaten van een punt *L* aan de hemelsfeer zijn de ecliptische lengte λ en de ecliptische breedte β.

- De **ecliptische lengte λ** is de hoek tussen het vlak van de breedtecirkel *KγK'* van het lentepunt γ en het vlak van de breedtecirkel *KLL'''K'* van het punt *L*, namelijk de hoek $\gamma\hat{O}L'''$, met *L'''* het snijpunt van de breedtecirkel door *L* en de ecliptica. De ecliptische lengte wordt ook gegeven door de boog $\gamma L'''$.

  De ecliptische lengte λ wordt gerekend vanaf γ rechtstreeks en wordt meestal uitgedrukt van 0° tot 360°.
- De **ecliptische breedte β** is de hoek tussen de gezichtslijn *OL* en het eclipticavlak; de ecliptische breedte is ook de boog *L'''L* op de breedtecirkel door *L*. Punten met eenzelfde breedte liggen op een **ecliptische breedteparallel**.

  De ecliptische breedte wordt gerekend van 0° tot +90° naar de noordelijke eclipticapool *K* toe en van 0° tot -90° naar de zuidelijke eclipticapool *K'* toe.

3.5 Galactische coördinaten

Voor het bepalen van de posities van objecten buiten het zonnestelsel, in het bijzonder voor objecten binnen onze Melkweg of galactisch stelsel[7], gebruikt men een coördinatensysteem dat is gebaseerd op de geometrie van de Melkweg zelf.

De **galactische equator** is de grootcirkel op de hemelsfeer die het best het (centrale) Melkwegvlak benadert en de zon bevat. De galactische equator heeft een inclinatie van 62°36' ten opzichte van de hemelequator.

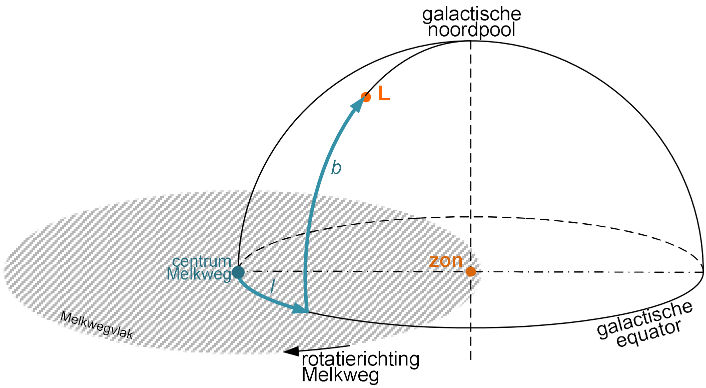
De noordpool van het galactische systeem bevindt zich op (J2000[8]) α = 12 h 51,4 min en δ = +27°07'. Het centrum van de Melkweg bevindt zich op α =17 h 45,6 min en δ = -28°56' (J2000) en ligt in het sterrenbeeld van de Boogschutter. De richting van het galactische centrum wordt als nulpunt van de galactische lengte *l* gedefinieerd.

De **galactische lengte *l*** neemt toe - tegen de richting van de klok, gezien vanuit vanaf het noordelijke galactische halfrond - van 0° tot 360°. De **galactische breedte *b*** is de hoek tussen een bepaalde positie en de galactische equator, gemeten langs een grote cirkel door de galactische noordpool en loodrecht op de galactische equator. De breedte wordt gerekend van ***b* = -**90° (galactische zuidpool) tot *b* = 90° (galactische noordpool).

---

[7] het Griekse γαλαξίας is Melkweg (melk: γαλα). Het is het sterrenstelsel waarin ons zonnestelsel zich bevindt

[8] J2000 verwijst naar de epoche waarvoor deze coördinaten geldig zijn, namelijk een bepaalde tijdsperiode waarin de hemelcoördinaten van een hemellichaam met voldoende nauwkeurigheid als constant kunnen worden beschouwd. De coördinaten veranderen onder andere door de precessiebeweging van de aarde, De epoche wordt steeds aangeduid voor het begin van het betreffende jaar, nl. J2000 is de toestand van 1 januari 2000 12:00 UTC



Figuur 3.7 – Galactische coördinaten

3.6 Correcties op waarnemingen

Doordat coördinaten waargenomen worden op een bepaalde plaats op aarde dienen op de waarnemingen correcties te worden toegepast. De belangrijkste correcties zijn:

- correctie voor de straalbreking;
- verwerken van de parallax;
- correctie voor de halve schijnbare diameter;
- correctie voor precessie en nutatie (zie § 5.4).

3.6.1 Correctie voor de straalbreking

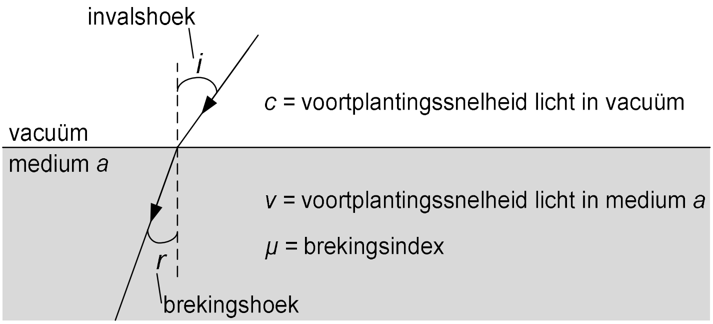
De interstellaire ruimte kent een zeer geringe dichtheid, die nabij het vacuüm is. Het licht van een hemellicht zal bij het naderen van de aarde doorheen de atmosfeer van de aarde komen, waar een veel grotere dichtheid aan gassen voorkomt. Bij het doorlopen van de gelaagde atmosfeer zal de lichtstraal een reeks van straalbrekingen of refracties ondergaan.

3.6.1.1 Het fysisch verschijnsel van de straalbreking

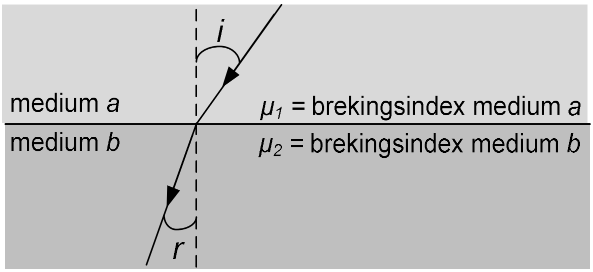
- De lichtbreking of refractie is een verschijnsel waarbij een lichtstraal van richting verandert bij de overgang van een isotroop midden naar een ander. De brekingsindex μ van een medium is de verhouding tussen de fasesnelheid[9] van het licht in het vacuüm en de fasesnelheid van het licht in het medium, namelijk $\mu = \frac{c}{v}$, met c de fasesnelheid van het licht in het vacuüm en v de fasesnelheid van het licht in het

[9] men gebruikt deze definitie omdat de voortplantingssnelheid van een golf deze is waarmee het golffront zich voortplant

medium. De snelheid van het licht is lager in media dan in het vacuüm; de brekingsindex is daarom altijd groter dan 1.



Figuur 3.8 – Lichtbreking bij overgang vacuüm - medium



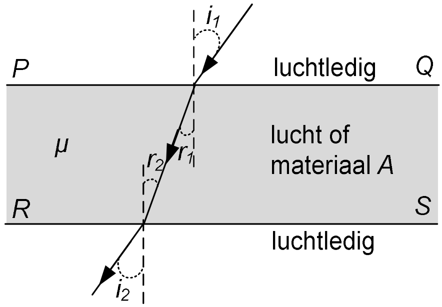
Figuur 3.9 – Lichtbreking bij overgang tussen twee media

Volgens de tweede wet van Snellius[10] (ook wet van Snellius-Descartes[11] genoemd) geldt dat de verhouding van de brekingsindices van twee media zich verhoudt als $\frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{\sin i}{\sin r}$ of $\mu_1 . \sin i = \mu_2 . \sin r$.

Bij loodrechte inval op het scheidingsvlak treedt geen lichtbreking op.

[10] Willebrord Snel van Royen (1580 - 1626), Nederlands astronoom, wis- en natuurkundige. Vaak geciteerd onder zijn gelatiniseerde naam Snellius

[11] René Descartes of gelatiniseerd Renatus Cartesius (1596 - 1650), Franse natuurfilosoof en wiskundige



Figuur 3.10 – Lichtbreking bij overgang vacuüm - medium - vacuüm

Indien het eerste medium een vacuüm is geldt uiteraard dat $\mu_1 = 1$ en dat $\mu_2 = \mu = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{c}{v}$.

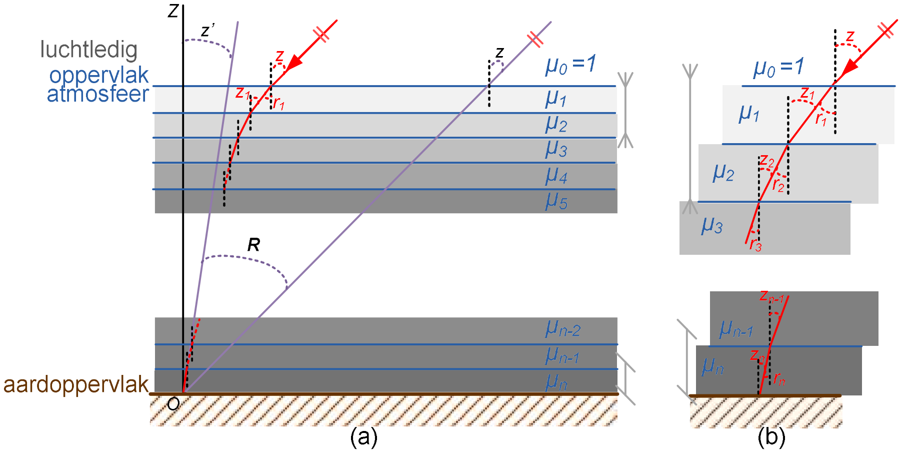
In een constructie waarbij een laagje stof *A* begrensd wordt door twee evenwijdige vlakken *PQ* en *RS* met langs de buitenzijden luchtledige media, dan zijn de hoeken r_1 en r_2 gelijk, alsook de hoeken i_1 en i_2. De uitgaande straal is dus parallel aan de invallende straal.

3.6.1.2 Straalbreking in de atmosfeer van de aarde

De brekingsindex μ van een luchtlaag is afhankelijk van de dichtheid van de luchtlaag en de dichtheid is o.a. afhankelijk van de temperatuur. Hogere densiteit impliceert een grotere brekingsindex van de luchtlaag. Algemeen kan men stellen dat de brekingsindex toeneemt naarmate men meer het aardoppervlak nadert.

Vereenvoudigd kan men, voor niet te grote zenitafstanden, aannemen dat de aardatmosfeer bestaat uit een groot aantal horizontale planparallelle lagen[12].

[12] deze vereenvoudiging is hier aanvaardbaar omdat de dikte van de atmosfeer tegenover de straal van de aarde zeer klein is. De normalen op de planparallelle scheidingslaagjes in de atmosfeer worden evenwijdig met de plaatselijke vertikaal beschouwd



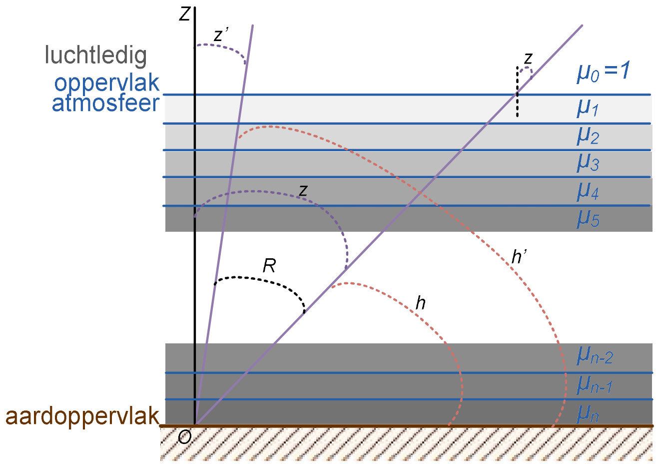
Figuur 3.11 – Lichtbreking door een gelaagde atmosfeer (planparallelle laagjes) (a) en uitvergroting (b)

Stel dat μ_1 de brekingsindex is van de buitenste luchtlaag en $\mu_0 = 1$ deze van de interstellaire ruimte, dan kan de betrekking $\mu_1.\sin i = \mu_2.\sin r$ geschreven worden als $\mu_0.\sin z = \mu_1.\sin r_1$ waarbij ***z*** de zenitale hoek is waaronder de lichtstraal op de rand van de atmosfeer invalt en r_1 de brekingshoek op dit grensvlak. Voor de tweede laag geldt $\mu_1.\sin r_1 = \mu_2.\sin r_2$, enzoverder. Voor de laatste atmosfeerlaag boven het aardoppervlak geldt dan $\mu_{n-1}.\sin r_{n-1} = \mu_n.\sin z_n$. De zenitale hoek z_n (verder ***z'*** genoemd) is de hoek waaronder het licht op het aardoppervlak valt.

Uit de reeks vergelijkingen $\mu_0.\sin z = \mu_1.\sin r_1$, $\mu_1.\sin r_1 = \mu_2.\sin r_2$, … , $\mu_{n-1}.\sin r_{n-1} = \mu_n.\sin z'_n$ volgt dat $\mu_0.\sin z = \mu_n.\sin z'$.

Het verschil tussen de zenitale hoek ***z'*** waaronder het licht op het aardoppervlak komt en de zenitale invalshoek ***z*** aan de buitenzijde van de atmosfeer is de zogenaamde **straalbreking**[13] ***R***, met andere woorden $z = z' + R$ of ook nog $h = h' - R$.

[13] voor straalbreking wordt het symbool *R* gebruikt, niet te verwarren met de aardstraal *R*



Figuur 3.12 – Straalbreking R

Gelet op het feit dat $\mu_0 = 1$ en $\mu_n = \mu$ kan $\mu_0.\sin z = \mu_n.\sin z'$ ook geschreven worden als $\sin z = \mu.\sin z'$.

De vergelijking $\sin z = \mu.\sin z'$ kan, gelet op $z = z' + R$, ontwikkeld worden als $\sin z = \sin z'.\cos R + \cos z'.\sin R = \mu.\sin z'$. Vermits R een kleine hoek is kan men in radialen stellen dat $\sin z' + R.\cos z' = \mu.\sin z'$, waaruit volgt dat $R = (\mu - 1).\mathrm{tg}\, z'$ of indien we dit in zestigdelige seconden uitdrukken men verkrijgt dat

$$\begin{aligned} R^{('')} &= \frac{180 \times 60 \times 60}{\pi}(\mu - 1).\mathrm{tg}\, z' \\ &= 206264,806\,(\mu - 1).\mathrm{tg}\, z' \\ &= 206265\,(\mu - 1).\mathrm{tg}\, z' » k.(\mu - 1).\mathrm{tg}\, z' \end{aligned}$$

met

$$\begin{aligned} k &= 206264,806 \times (\mu - 1) \\ &= 206264,806 \times (1,00029 - 1) \\ &= 206264,806 \times 0,00029 » 60 \end{aligned}$$

voor $\mu = 1,00029$ bij een luchttemperatuur van 0°C en een luchtdruk van 1013,25 hPa.

3.6.1.3 *Invloed van de straalbreking op de horizoncoördinaten van een hemellichaam*

Uit de vorige vergelijkingen kan men besluiten dat:

$$h - h' = \Delta h = -R = -k.\text{tg}\, z'$$

of

$$z - z' = \Delta z = +R = +k.\text{tg}\, z'$$

Er is echter geen invloed op de azimut *A* (*A* = *A'*), vermits de straalbreking zich in het verticaalvlak afspeelt. Hierbij kan men verwijzen naar de eerste wet van Snellius-Descartes die stelt dat de invallende straal, normale en uitgaande straal in hetzelfde vlak vallen.

3.6.1.4 *Invloed van de straalbreking op de equatoriale coördinaten van een hemellichaam*

De correctie op de waargenomen hoogte *h'* (of *z'*) van het hemellichaam, heeft natuurlijk een invloed op *H* en *δ*. In onderstaande figuur is *LL'* = *R* de straalbreking. De invloed van *Δh* (of het complement *Δz*) bestudeert men in de sterrenkundige driehoek *PZL*.

Beschouwt men de driehoek $LL'L_1$, geconstrueerd door de parallelcirkel door *L'* te beschouwen die *PL* in het punt L_1 snijdt, met rechte hoeken in *L'* en L_1. Deze driehoek is zeer klein, waardoor men deze als een vlakke driehoek kan benaderen.

Men stelt vast dat $R = z - z'$

en $LL_1 = R\cos\eta = \delta' - \delta = \pm\Delta\delta$

en $L'L_1 = R\sin\eta$ (in de rechthoekige driehoek LL_1L')

$= \Delta h\cos\delta$ (in de boldriehoek PL_1L')