Nog twee "afstanden" haal ik uit het kosmologisch rariteitenkabinet : de Hubble-afstand en de volume-afstand.

De Hubble-afstand is een zeer theoretische construktie. Zoals bekend dijdt het heelal uit, dat is tenminste de conclusie die men trekt uit de gegevens dat 1) extragalactische objekten haast altijd roodverschuiving vertonen en 2) dat roodverschuiving een Dopplereffekt kan zijn (bij quasi-stellaire objekten houdt men rekening met de mogelijkheid van gravitationele roodverschuiving). Voor "kleine" afstanden - het maakt niet uit of je d_A, d_L of misschien d_p bedoelt, ze zijn numeriek toch bijna gelijk - blijkt het verband tussen afstand en wegvliedsnelheid lineair te zijn :

$$v \approx H_o d \qquad \text{(D17)}$$

waarin $H_o \approx 50$ km s^{-1} Mpc^{-1} de Hubbleconstante is. H_o heeft de dimensie van $(\text{tijd})^{-1}$. De Hubbleafstand is nu, ook voor grote z , gedefinieerd als

$$d_H \equiv \frac{cz}{H_o} \qquad \text{(D18)}$$

Veelal spreekt men liever van de roodverschuiving van een objekt dan van zijn Hubble-"afstand" ; in niet-populair wetenschappelijke literatuur durft men toe te geven dat men de afstand van zeg een QSO niet weet, zelfs bij benadering niet.(Omdat de absolute lichtkracht L en de werkelijke diameter van QSO's niet bekend zijn kan men d_L of d_A niet bepalen).

Nog een puur theoretisch gedefinieerde afstand is d_V, "distance by volume" . d_V is de afstand in termen waarvan het volume binnen $0 \leq r \leq r_1$ op het moment t_o gelijk is aan $V = \frac{4}{3}\pi d_V^3$

De definitie van d_V is dan (let op de notatie met r ipv $\bar{r}$):

$$d_V^3 \equiv 3 R^3(t_o) \int_0^r \frac{r^2 dr}{\left(1+\frac{k r^2}{4}\right)^3} \qquad \text{(D19)}$$

appendix E Is "proper distance" additief ?

In dit aanhangsel geef ik m'n eigen inzichten weer met betrekking tot de vraag of er een afstandsbegrip is dat als fundamenteel kan worden beschouwd. In plaats van de doodlopende discussie tussen North en McVittie te becommentariëren zal ik de standpunten van Weinberg[22] en van North tegenover elkaar zetten.

Weinberg geeft een vrij duidelijke operationele definitie van "proper distance". Zie appendix D. Hij stelt dat men een groot aantal, ongeveer op hetzelfde kosmische tijdstip t gemeten subafstanden moet optellen om de proper distance tussen twee ver verwijderde punten te bepalen :

$$d_{prop}(A_1,A_N) = d(A_1,A_2) + d(A_2,A_3) + \ldots + d(A_{N-1},A_N) \qquad \text{(E1)}$$

Je moet de subafstanden zo klein kiezen dat de meetmethode er niet veel toe doet. In dat geval kan d bijvoorbeeld staan voor de lichthelderheidsafstand d_L, de parallaxafstand d_p of voor d_{prop} zelf.

Uit (E1) volgt, met daarin d_{prop} gesubstitueerd, dat d_{prop} additief is. Dit is in tegenspraak met de bewering van North, dat dit alleen in speciale gevallen opgaat, zoals in een heelalmodel met k = 0 . North en Weinberg geven dezelfde wiskundige formulering voor d_{prop}, maar blijkbaar stellen ze zich er totaal verschillende meetprocedures bij voor. Of beter : North stelt zich er geen meetprocedure bij voor, Weinberg wel.

Laten we de procedure die Weinberg geeft eens formuleren in termen van coördinaten. Waarnemer A_1 heeft een coördinatensysteem gedefinieerd met de Robertson-Walker metriek (B3)

$$ds^2 = c^2 dt^2 - R^2(t)\left(\frac{d\bar{r}_1^2}{1-k\bar{r}_1^2} + \bar{r}_1^2 d\vartheta_1^2 + \bar{r}_1^2 \sin^2\vartheta_1 d\varphi_1^2\right) \qquad \text{(E2)}$$

waarin zijn eigen wereldlijn bepaald is door $\bar{r}_1(A_1) = 0$