

Tentamen Kosmologie 2002

vrijdag 15 november

Vincent Icke

Bij dit tentamen is uitsluitend het gebruik toegestaan van uw eigen handgeschreven aantekeningen en van de verstrekte notities Basic material for cosmology 2002. Ook een zakrekenmachine mag worden gebruikt (mits niet als spiekbriefje geprogrammeerd). Vermeld op elk blad papier uw naam, en op het eerste blad ook uw adres, en nummer de bladzijden. Schrijf bij beantwoording alles op wat u van toepassing acht, ook tussenstappen en dergelijke. Ook kladwerk mag worden ingeleverd, mits als zodanig aangemerkt. Geef bij ieder antwoord uw argumentering in voldoende detail! Wees zoveel mogelijk exact (i.e. gebruik formules) en kwantitatief. Onduidelijkheden worden onveranderlijk in uw nadeel uitgelegd.

(1). _____

De bindingsenergie in atoomkernen is van de orde van enkele MeV per nucleon. Toch worden in het Heelal de kernfusie-processen waarbij o.a. deuterium en helium worden gemaakt pas van belang bij $E \approx 0.1$ MeV.

- a. Leg uit welke omstandigheden en processen daarvoor verantwoordelijk zijn. Waarom worden koolstof en zwaardere elementen in het geheel niet gevormd?
- b. Laat zien dat dit tot gevolg heeft, dat de abundanties van de lichte elementen (welke?) belangrijke informatie geven over het vroege heelal (wanneer?)

(2). _____

Beschouw het meest algemene Friedmann-Robertson-Walker heelal, dwz. een heelal waarin ook de kosmologische constante Λ in de bewegingsvergelijkingen voorkomt. Neem hierin de toestandsvergelijking van 'stofdeeltjes'.

- a. Schets het verloop van $(da/dt)^2$ als functie van a .
- b. Laat aan de hand daarvan zien dat bij een bepaalde waarde van de kosmologische constante een lokaal stationaire oplossing $da/dt = 0$ bestaat. Bereken algebraïsch bij welke waarden van Λ die oplossing wordt bereikt.
- c. Schets het fasevlak $(da/dt, a)$. Wat gebeurt er in de omgeving van een punt waar $da/dt = 0$? Wat betekent dat kwantitatief voor de diverse versnellingstermen in de FRW-vergelijking?
- d. Er zijn waarnemingen die erop duiden dat $\Lambda \neq 0$, en dat de daarmee overeenkomende dichtheid van 'donkere energie' ongeveer hetzelfde is als die van de overige massa-energie van het Heelal. Is dat plausibel, gezien het gevondene in (a,b,c)?

(3).

De kosmische microgolf-achtergrondstraling (CMBR) is misschien wel de belangrijkste waarneembare grootheid in ons Heelal: de ‘gloed van de Oerknal’, te zien als een bijna exact zwarte straler met een temperatuur van 2.737 K.

- a. Laat zien dat het ontstaan van een CMBR in een Friedmann-Robertson-Walker heelal zo goed als onvermijdelijk is, in tegenstelling tot een statisch heelal.
- b. Waarom zien wij die CMBR op een roodverschuiving van $z \approx 1200$? Waarom is de CMBR-grens zo scherp in de tijd?
- c. Welke eigenschappen van het heelal op die roodverschuiving kunnen wij uit de CMBR afleiden? Maak onderscheid tussen de gemakkelijk te meten grootheden en de subtielere effecten.