GPS-klokkene

Navn: _____ Dato: _____

Simuleringen

GPS-satellittene har svært nøyaktige atomklokker. Mottakeren din finner posisjonen ved å måle hvor lang tid signalene bruker fra satellittene. En tidsfeil på 1 µs gir en avstandsfeil på 300 m. Går klokkene i satellittene like fort som klokkene på bakken?

Oppgaver

Når v er mye mindre enn c, går en klokke i bevegelse saktere med andelen $v^2/(2c^2)$. Den generelle relativitetsteorien sier at en klokke høyere opp i tyngdefeltet går raskere med andelen $(GM/c^2)(1/R - 1/r)$. Bruk $GM = 3{,}99 \cdot 10^{14}\,\mathrm{m^3/s^2}$ og $R = 6371\,\mathrm{km}$.

1. **Gjett** Se bare på farten. Går klokka i en GPS-satellitt raskere eller saktere enn klokka på bakken? Hvor mye tror dere det blir per døgn?

2. **Regn** GPS-satellittene går i 20 200 km høyde. Regn ut farten deres, og hvor mange mikrosekunder klokka går for sakte per døgn. Sjekk med simuleringen.

3. **Regn** Hvor stor posisjonsfeil gir dette etter ett døgn?

4. **Forklar** Slå på tyngden. Hvilken effekt er størst for GPS? Hvor stor blir posisjonsfeilen etter ett døgn uten korreksjon, og etter en uke?

5. **Gjett** Trykk på ISS. Hvilken effekt vinner for en klokke på romstasjonen?

6. Utfordring I hvilken høyde opphever de to effektene hverandre? Bruk $v^2 = GM/r$ og vis at svaret er r = 1,5R.