

Oude horloges

In de jaren '60 en '70 kwamen er horloges op de markt waarin nieuwe technische ontwikkelingen werden toegepast. Eén van de ontwikkelingen was gericht op de nauwkeurigheid van de horloges. Horloges werkten tot dan toe mechanisch; de wijzers werden daarbij aangedreven door een veer. Een horlogemaker kwam in 1960 met de 'Accutron', het eerste elektronische horloge. Het horloge maakte gebruik van een stemvork. Zie figuren 1 en 2. De harmonische trilling van de stemvork werd gebruikt om de draaisnelheid van de wijzers te regelen.

figuur 1



figuur 2



- 1p **18** Hoe noemt men de frequentie waarmee de stemvork trilt na het aanslaan?

Op de uitwerkbijlage zie je een oscillogram van de stemvork. Hierin is de uitwijking uitgezet tegen de tijd. Eén hokje staat voor 1,0 ms.
De mens hoort frequenties tussen 20 Hz en 20 kHz.

- 3p **19** Toon met behulp van het oscillogram aan of de toon van de stemvork in het hoorbare gebied ligt.

De NASA wilde deze techniek ook gebruiken voor klokken in de ruimtevaart. Een stemvork kun je beschouwen als een massa-veersysteem met een bepaalde veerconstante C .
Voor de nauwkeurigheid van de klok is het belangrijk dat de trillingstijd van de stemvork heel constant is.

- 2p **20** Leg uit of de NASA voor de stemvork in deze klok rekening moest houden met een andere trillingstijd in de ruimte dan op aarde.

Een andere nieuwe ontwikkeling had te maken met de afleesbaarheid van horloges. De wijzers en getallen werden geleverd met een mengsel van promethium-147 en zinksulfide zodat deze oplichtten in het donker. Op de wijzerplaat werd dit aangegeven met een ©. Zie figuur 3.

figuur 3



Promethium-147 (Pm-147) is een radioactieve stof die alleen β -straling uitzendt.

- 3p **21** Geef de vergelijking van de vervalreactie van promethium-147.

De wijzers zenden ook röntgenstraling uit. Deze is niet afkomstig van het promethium-147. De behuizing van het horloge is gemaakt van ijzer. Het ioniserend vermogen van β -straling is groter dan dat van röntgenstraling. Toch blijkt de röntgenstraling voor (de pols van) de drager van het horloge een groter risico dan de β -straling.

- 2p **22** Leg uit hoe dit komt.

De röntgenstraling heeft een energie van 0,05 MeV per foton. De dikte van het ijzer aan de achterzijde van het horloge is 1,47 mm.

- 3p **23** Omcirkel in de tabel op de uitwerkbijlage hoeveel procent van de röntgenstraling de achterkant van het horloge doorlaat. Licht je antwoord toe.

Het deel van de pols dat wordt bestraald door de röntgenstraling heeft een massa van 75 gram en ontvangt gedurende een jaar gemiddeld 25 röntgenfotonen per seconde. De stralingsweegfactor voor röntgenstraling is gelijk aan 1. De jaarlijkse dosislimiet voor ledematen bedraagt $50 \cdot 10^{-3} \text{ Sv}$.

- 5p **24** Toon aan of de equivalente dosis als gevolg van het dragen van het horloge onder deze jaarlijkse dosislimiet blijft.

uitwerkbijlage

19

