

Het script van Wassenberg eindigt met een dilemma betreffende de verklaring van twee experimenten:

De proef van Young: een tralie met 2 spleten; zie Deel 6, pdf. pag.196

de proef van Fresnel: een fresnelprisma; zie Deel 6, pdf. pag. 190.

De proef van Young en de proef van Fresnel zijn twee interferentieproeven. De proeven zijn verschillend ingericht, maar bij de juiste maatvoering zijn de interferentiebeelden identiek.

Beide experimenten kunnen goed beschreven worden met elektromagnetische golven.

Een elektromagnetische golf bestaat echter uit fotonen.

Dilemma: hoe is het mogelijk een experiment te verklaren met elektromagnetische golven en met fotonen?

Essentieel in zijn verhaal is het ontbreken van kennis over de massa van het foton.

Hoe was de stand van de literatuur voorzover ik die begin jaren 60 kende (zonder de Feynman Lectures on Physics uit 1963)?

(Een literatuurlijst staat aan het einde van deze bijdrage)

Bij S & vV staat:

Fotonen hebben de rustmassa 0, maar een foton in rust bestaat niet.

De massa van een foton wordt gedefinieerd als de impuls massa (relativistische massa, trage massa)

Dat betekent: $m := \frac{E(\text{foton})}{c^2}$

Bij Kronig staat: Bij een foton kan van rustmassa geen sprake zijn (p. 348).

Verder geldt de definitie van S & vV.

Bij Joos staat: Het foton heeft trage massa. Formule zoals bij S & vV.

In Condon en Odishaw staat op pag.6-153 een aanwijzing dat het foton de massa nul heeft.

De auteurs zijn het over één ding eens: de snelheid van het foton = de lichtsnelheid.

Als je bovenstaande mening hebt over de massa van het foton, dan bemoeilijkt dat het Young-experiment met fotonen te verklaren.

Waar zat het massa-probleem?

De auteurs gebruiken/kennen niet de relativistische energie-impuls-relatie voor een vrij deeltje met rustmassa m ($m > 0$).

Ik gebruik de conventie zoals die nu gebruikelijk is.

De genoemde energie-impuls-relatie is: $\left(\frac{E}{c}\right)^2 - \vec{p}^2 = m^2 c^2$

In deze formule is $\left(\frac{E}{c}, \vec{p}\right)$ een lorentzvector en de linkerzijde is een lorentzinvariante scalar.

Dat betekent dat de linkerzijde in ieder inertiaalsysteem dezelfde waarde heeft.

De rechterzijde is dan ook een lorentzinvariante scalar.

Deze stelt per definitie de massa (= rustmassa als $m > 0$) van het deeltje voor.

Er was bekend (ook in de natuurkundeles) dat voor een foton geldt:

$$E = h f \text{ (Planck)} \text{ en } |\vec{p}| = \frac{h}{\lambda} = \frac{h f}{c} \text{ (Proef van Compton, Deel 6, pdf. pag. 208)}.$$

Als je aanneemt dat voor een foton het viertal $\left(\frac{E}{c}, \vec{p}\right)$ ook een Lorentzvector is,

$$\text{dan geldt ook voor een foton } \left(\frac{E}{c}\right)^2 - \vec{p}^2 = \text{constant}$$

(Als je niet beschikt over meer theoretische achtergrond/informatie van deze formule, dan is dit de enig redelijke aanname om verder te komen)

Als je de energie E en de impuls \vec{p} van een foton in het laboratoriumsysteem substitueert in de energie-impuls-relatie, dan vind je: $0 = \text{constant}$.

Dat betekent $m_{\text{foton}} = 0$. Een deeltje met massa 0 is wel heel bijzonder.

Als Wassenberg dit bekend geweest was en de tekst in Kronig op pag. 457, dan had hij waarschijnlijk de statistische quantumverklaring van de proef van Young beter gewaardeerd. De verklaring is echter slechts plausibel, maar niet overtuigend.

De theoretische quantumverklaring is pas expliciet geleverd in de quantumoptica.
Zie R. Loudon, The Quantum Theory of Light, second edition 1992, ISBN 0-19-851155-8

Het experimentele bewijs wordt door A. Aspect et al (1986 en 2005) geleverd.
Zie de publicatie V. Jacques et al, Single-photon wavefront-splitting interference, als bijlage 2005 Aspect-biprisma bijgevoegd.

De proef (Aspect 2005) is een Fresnelproef. Blijkbaar is een biprisma gemakkelijker te maken dan 2 spleten in een scherm.

Tevens is er een filmpje van het interferentiebeeld dat bij deze proef, foton na foton, ontstaat.
Zie bijlage biprisma_movie.mov
Het hulpprogramma dat ik gebruik om het filmpje te zien, is de VLC media player.

Op basis van experiment en theorie kan men dus stellen:

De som van de interferentiebeelden van N statistisch onafhankelijke experimenten (Young/Fresnel) met één foton per experiment

is gelijk aan

Het interferentiebeeld van één experiment (Young/Fresnel) met een zwerm bestaande uit N fotonen.

De samenhang tussen een willekeurige zwerm fotonen en de elektrische veldsterkte kan aan de quantumoptica overgelaten worden. Dat hoeft geen grote problemen op te leveren.

In tegenstelling tot de twee laatste pagina's van een wanhopige Wassenberg straalt het artikel van V. Jacques et al naar de toekomst:

" While our results may not appear as a big surprise, it is interesting to note that one century after Einstein's paper the intriguing properties of the photon still give rise to sometimes confused debates [25]. We hope that our experiment can contribute not only to clarify such discussions, but also to arouse the interest and astonishment of those who will discover the photon during the century to come."

Verder hebben we nog houvast aan de uitspraak van Hippocrates: "Vita brevis, ars longa".

Literatuur:

S & vV = J. Schweers en P.van Vianen : Natuurkunde op corpusculaire grondslag

R. Kronig : Leerboek der Natuurkunde, 1958

G. Joos : Lehrbuch der theoretischen Physik, 1959

E.U. Condon en H. Odishaw: Handbook of Physics, 1958

Interessante aanvullingen:

K. Hentschel: Lichtquanten, Springer, ISBN 978-3-662-55272-8

T. Fließbach: Die relativistische Masse, Springer, ISBN 978-3-662-58083-7