

## BRÉF TIL RITSTJÓRA

Mig langar til bæta nokkrum orðum við skemmtilega grein Einarssonar, "Skilaboð með hræði", sem birtist í 6. tölublaði frétabréfsins 1984.

Yfirverkfræðingurinn á geimstöðinni Pharos hefur, eins og Einar getur sér réttlæga til, skammtafræðina sína ekki alveg á hreinu. Hann er þar ekki einn á báti, því eins og heimildarmáður hans, Feynmann, segir á einum stað: "I think I can safely say that nobody understands quantum mechanics"<sup>1</sup>. Fáir munu þó draga eftirfarandi staðreyndir<sup>2</sup> í efa:

(1) Setjum svo að við höfum raftvennd, þ.e.a.s. atóm sem er samsett úr rafeind og jáeind, í grunnástandi. Ef nú rafeindin og jáeindin gleypa hvor aðra, þá þjóta tvær ljóseindir hvor í sína átt út frá sundrunarstaðnum. Sterk fylgni er þá milli skautunar ljóseindanna: Ef önnur þeirra fer í gegn um skautunarsíu með stefnu **a**, má ganga að því visu að hin fari í gegn um síu með stefnu **b**, hornrétt á **a**.

(2) Hvernig sem stefnan **a** er valin, eru jafnar líkur á að fyrrnefnda ljóseindin fari í gegn um sína síu og að hún geri það ekki. Teljari, sem komið er fyrir aftan við síuna sýnir þá slembirunu: +, +, -, -, -, +, -, -, +, +, -, -, ..., þar sem + merkir að eindin fari gegn um síuna. Vegna fylgninnar í skautun ljóseindanna sýnir teljari aftan við hina síuna sömu slembirunu, ef **b** stendur hornrétt á **a**.

Þetta virðist hönnuðum vitans vera ljóst, og eins hitt, að slembirunur eru ekki vænlegar til að bera boð milli fjarlægja stjarna. En þeim hefur dottið snjallræði í hug: Skautunarsíum er komið fyrir á vitanum, með stefnu **a** fyrir þá ljóseind sem fer til jarðar og stefnu **b** (hornrétt á **a**) fyrir þá sem fer til Proxima Centauri. Á viðtökustöðunum er nú einnig komið fyrir síum. Ef þær hafa sömu stefnu og síurnar á vitanum, þá verður svörin teljara aftan við þær ávallt +, +, +, +, ... . Ef sían á jörðu hefur hins vegar aðra stefnu, **a'**, þá verður svörin þar slembiruna; líkindin á jákvæðri svörin eru  $\cos^2(\mathbf{a}, \mathbf{a}')$ . Nú álykta vitahönnuðir sem svo: Vegna fylgninnar í skautun ljóseindanna hlýtur eftirfarandi að gilda: Í hvert sinn, sem teljari aftan við **a'** sýnir jákvæða svörin, hefur ljóseindin á Proxima Centauri skautunarstefnu **b'** með  $\angle(\mathbf{b}, \mathbf{b}') = \angle(\mathbf{a}, \mathbf{a}')$ . Ljóseind með skautunarstefnu **b'** fer hins vegar með ákveðnum líkindum í gegn um síu með nýja stefnu **b''**. Setjum nú svo að  $\angle(\mathbf{b}, \mathbf{b}'') = 90^\circ$ . Ef  $\mathbf{a} = \mathbf{a}'$ , þá fara engar ljóseindir í gegn um þessa síu. Gerum nú hins vegar ráð fyrir að  $\angle(\mathbf{a}, \mathbf{a}') = 45^\circ$ , þá eru líkindin til að ljóseindir fari gegnum síuna stærri en núll (nánar tiltekið 1/2), vegna þess að um það bil helmingur ljóseindanna á Proxima Centauri hefur skautunarstefnuna **b'**, og hornið milli **b'** og **b''** er  $45^\circ$  en ekki  $90^\circ$ . Hér er kominn fram mælanlegur munur, sem stafar af snúningi skautunarsíunnar á jörðu niðri. Þennan mun er ætlunin að nýta til fjarskipta.

En hér hefur þessum ágætu verkfræðingum skjátlázt. Skautunarsíurnar við vitann eyðileggja fylgnina milli skautunar ljóseindanna. Þessu verður ekki

nákvæmlega lýst nema á tæknimáli skammtafræðinnar: Eftir að síurnar hafa verið settar upp, er ástand ljóseindatvenndarinnar beint margfeldi af bylgjuföllum hvorrar ljóseindar um sig, án síu er ástandið summa af tveimur slíkum margfeldum. Fyrir ljóseindirnar á Proxima merkir þetta. Ef síur eru á vitanum, þá er ljóseindin ávallt í ástandi með skautunarstefnu **b**. Þá eru engin líkindi til þess að hún fari í gegn um síu með stefnu hornrétt á **b**. Ef engar síur eru á vitanum er ástand ljóseindarinnar hins vegar blanda (mixture, density matrix) af tveimur ástöndum með hornréttar skautunarstefnur. Ljóseindin fer þá með líkindunum 1/2 í gegn um síu með hvaða stefnu sem er. Þessi atriði eiga reyndar einnig við, þótt ekki sé nema ein síu á vitanum: Hið fyrra, ef sían snýr að Proxima, hið síðara ef sían snýr að jörðu.

Þótt vitinn geti þannig ekki komið skilaboðum um eitt eða neitt milli jarðar og Proxima Centauri, er hann engu að síður hið merkasta kerfi, eins og Einar segir réttlæga. Hliðstæður viti olli Einstein miklum heilabrotum á sínum tíma og hefur haldið áfram að angra menn æ síðan. Nýlega hefur slíkur viti meira að segja verið smíðaður, að visu ekki á geimstöðinni Pharos heldur á jörðu niðri. Smíðinni er lýst í greinum A.Aspect et al., sem þegar var vitnað til. Hefur viti þessi á allan hátt hegðað sér í samræmi við forspár skammtafræðinnar. Af hverju halda menn þá áfram að velta vöngum? Ástæðan er í stuttu máli þessi: Ef engar síur eru á vitanum, er sterk fylgni milli skautunar ljóseindanna tveggja, í þeim skilningi sem lýst var í (1) hér að framan. Í þessum skilningi ákveður mæling á jörðu fullkomlega hvaða niðurstaða verður úr samsvarandi mælingu á Proxima. Þetta eitt er að visu ekkert skritið: Ljóseindirnar eiga sér sameiginlegan uppruna. En vegna þess að mælingin á jörðu getur ekki haft nein áhrif á ljóseindina á Proxima, draga menn þá ályktun, að hver einstök ljóseind á Proxima hljóti að hafa ákveðna skautun, allt frá því hún yfirgefur sundrunarstað raftvenndarinnar í vitanum. Þessi síðasta ályktun er hins vegar röng. Ein leið til að sannfærast um þetta er eftirfarandi: Ef hringsskautunarsíur eru notaðar í stað linulegra síu, þá kemur fram hliðstæð fylgni í hegðun ljóseindanna tveggja. Ef fyrrgreind ályktun væri rétt mætti með sömu rökum fullyrða, að sérhver ljóseind hafi annað hvort hægri eða vinstri hringsskautun. Þar sem ljóseind getur ekki bæði verið linulega skautuð og hringsskautuð, fær ályktunin ekki staðizt. Fyrir efasemdammenn er til miklu ítarlegri sönnun. Hún er byggð á svonefndri ójöfnu Bells og mælingum Aspects og féлага. En niðurstaðan er alla vega sú, að skautun hvorrar ljóseindar um sig er fullkomlega óákveðin þar til hún hefur víxlverkað við skautunarsíu. Engu að síður er sterk fylgni milli hegðunar ljóseindanna tveggja, sem geta verið í ljósára fjarlægð hvor frá annari. Hvernig má þetta vera? Kannski er réttast að fara að ráðum Feynmans, loc. cit.: "Do not keep saying to yourself, if you can possibly avoid it, 'But how can it be like that?' because you will get 'down the drain', into a blind alley from which nobody has yet escaped. Nobody knows how it can be like that."

1. R.P. Feynmann: The Character of Physical Law, BBC Publications, 1965, bls 129.

2. A.Aspect et al. Phys.Rev.Lett. 49, 91-94, 1982; 49, 1804-1807, 1982.