

Fotonii și dualitatea undă-corpusul

Despre realism, cauzalitate și localitate

Laurențiu Mihăescu

București, Romania

Ediția a doua, Aprilie 2019

www.1theory.com

Cuprins

1. Noua paradigmă
2. Fotonii
 - 2.1. Fotonii ca particule
 - 2.2. Fotonii ca unde
3. Modelul "Arbore"
 - 3.1. Ipoteze
 - 3.2. Explicații
4. Concluzie
5. Referințe

1. Noua paradigmă

Pentru a putea justifica o descriere completă a naturii înconjurătoare, în legătură cu care am susținut și încă mai susțin un model clasic bazat pe cei trei piloni fundamentali ai materialității - realism, cauzalitate și localitate, ar trebui să putem construi și folosi modele ce au aceste trei caracteristici pentru absolut toate particulele elementare și interacțiunile acestora. Prin urmare, în acest context bine precizat, trebuie ca și fotonii - cunoscutele particule de "lumină" - să aibe o descriere ce pornește de la aceleași atribute, dar care să fie completată însă cu o definiție precisă a conceptului colateral de undă. Odată cu introducerea nivelului granular și a mecanicii sale speciale se produce o schimbare de paradigmă a întregului domeniu cuantic, iar materialitatea și determinismul pot reveni acum pe un loc central firesc.

Dar care este de fapt legătura între particule și unde în acest nou cadru, și cât de mult se potrivesc noile explicații cu incertitudinea prezentă în mecanica cuantică? Se redeschide astfel o veche dezbateră a fizicii cuantice, cu unele implicații filozofice, și ar trebui să aflăm unele răspunsuri clare la întrebări dintr-un domeniu guvernat totuși de neclaritate. De exemplu, de ce poziția unei particule este bine descrisă de funcția de undă, fiind evaluată ca o densitate de probabilitate? O particulă nu este "reală" tot timpul, nu are mereu o poziție bine definită în spațiu și o viteză exactă, chiar dacă aceasta nu este observată? Doar limitarea observațională dictează aceste legi probabilistice, în timp ce realitatea este clară și deterministă și la nivel cuantic?

Și ce este de fapt fotonul, care are un comportament și de undă și de particulă? Fotonul există ca o entitate ce are proprietăți intrinseci și când nu este măsurat?

Extinzând subiectul, ne întrebăm de fapt dacă realitatea este bine descrisă de Mecanica Cuantică actuală prin dualismul generalizat undă-particulă și prin funcția de undă. În plus, există cu adevărat retro-cauzalitate, poate viitorul să influențeze trecutul - așa cum rezultă din unele experiențe de laborator? Dar non-localitatea, este ea un fenomen real sau este o eroare atât teoretică cât și experimentală? Sunt toate sistemele cuantice practic indefinite până la momentul observării lor, totul este incertitudine și probabilitate la acest nivel dimensional, ca în Interpretarea Copenhaga? Sau putem aduce (măcar în mod ipotetic), printr-o mulțime de variabile suplimentare izvorâte și de la nivelul granular, ordine și determinism în haosul ce pare a domina tărâmul cuantic?

Putem efectua o serie de experimente simple și variante ale lor (cum ar fi experimentul celor două fante), iar rezultatele acestora vor naște imediat interpretări diferite pentru comportamentul fotonului - atât de undă cât și de corpuscul - ce susțin în esență că acesta nu este definit până nu se efectuează o măsurătoare. Care este de fapt adevărul despre fotoni și despre celelalte particule? Formează acestea un microunivers special - incert și nedeterminist, mult diferit față de macrocosmosul nostru clar și intuitiv - pe care practic nu îl putem sonda și măsura cu adevărat fără să îi afectăm starea curentă și eventualele caracteristici intrinseci?

2. Fotonii

Fotonii, așa cum i-am definit deja în lucrările anterioare, sunt structuri granulare multistrat cu o densitate mai mică decât aceea a particulelor elementare, dar mai mare decât cea medie a spațiului. Din aceste motive - valoarea densității și structura distribuită - este mai dificil să atribuim fotonului o masă de tip clasic, dar în mod cert acesta posedă energie și poate transfera impuls mecanic. Toate straturile compacte din componența fotonului au o mișcare unidirecțională, aceea a direcției lui globale de deplasare; mai mult, forma lui elicoidală de elice dublă (dublu helix, ca în Figura 1, în care tubul albastru conține și a doua traiectorie elicoidală) se păstrează absolut neschimbată în timpul propagării rectilinii. Succesiunile de straturi compacte copiază și reproduc în mod exact mișcarea avută de particula generatoare în timpul emisiei, și este evident că energia care se stochează în foton (și pe care o poate transfera) este proporțională cu variația distribuției acestor straturi în timp și spațiu.

Cu alte cuvinte, toți fotonii generici sunt de fapt niște concentrări granulare cu o anumită formă tridimensională (elicoidală în general), ce au rezultat în urma distribuției unidirecționale a micilor electrofotoni (mai denși și cu divergență nulă, așa cum au fost descriși în Gravităția [3]) produși de particula emitentă în timpul salturilor pe diverse nivele energetice din atomi sau în timpul ciocnirilor cu alte particule. Ei furnizează o copie fidelă, o imagine "înghețată" a traiectoriei particulei emitente, ce conține atât mișcarea ei internă de precesie cât și cea externă globală; astfel se condensează și se codifică într-o distribuție granulară specifică toată variația de energie de natură mecanică pe care a avut-o acea particulă în timpul emisiei.

2.1. Fotonul ca particulă

Modelul meu de foton, așa cum a fost introdus în Teoria Primară [1] și Universul [2], presupune o *structură fizică* și o *materialitate definitivă* a acestuia. Fotonul este în realitate o particulă specială, cu o structură granulară specifică, ce există numai în stare de mișcare cu viteza maximă permisă de spațiul local. Structura ei internă este *absolut fixă* și rămâne neschimbată în timpul mișcării uniforme; caracteristicile fotonilor se pot schimba însă odată ce aceștia traversează diferite medii materiale sau în câmpuri gravitaționale intense. Fie un foton normal γ (format din cele două părți relativ simetrice), așa cum este reprezentat în mod idealizat în partea superioară a Figurii 1. Se poate descrie acum corespondența dintre caracteristicile lui fizice și valorile mărimilor asociate, încercând să ne menținem doar într-o abordare clasică (bazată pe ecuațiile lui Maxwell) în care fotonul generic să fie tratat și interpretat ca pe o manifestare a câmpului electromagnetic.

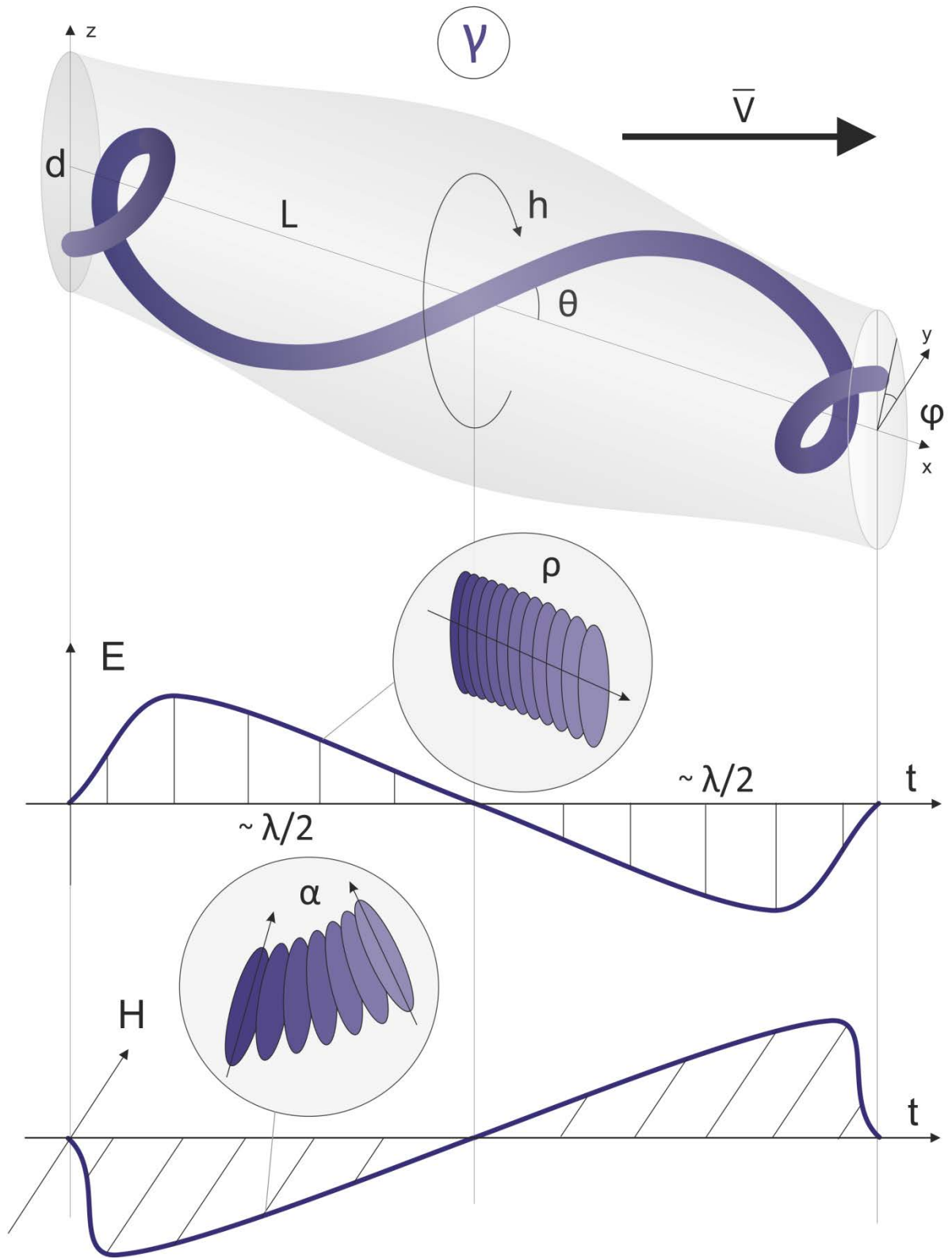


Figura 1 - Forma fizică a unui foton și distribuția câmpurilor acestuia

Viteza fotonului, v , este o mărime vectorială a cărei orientare corespunde direcției de deplasare a fotonului și a cărei valoare este în mod normal egală cu viteza luminii în vid, c . Această valoare este de fapt viteza absolută maximală pentru orice structură materială din Universul nostru, fiind dictată de fapt de densitatea granulară a spațiului local. Aici am presupus (pe lângă vacuumul perfect) și o uniformitate implicită a spațiului (adică lipsa gravitației) în care fotonul se propagă, fapt ce conduce la o rectiliniaritate perfectă a traiectoriei acestuia.

"**Câmpul electric**" este dat de succesiunea de electrofotoni unidirecționali (cu divergență nulă) ce alcătuiesc corpul fotonului, adică de variația densității straturilor granulare pe direcția de propagare. Pentru simplificare menționez că acesta se poate reprezenta prin mărimea vectorială E - intensitatea câmpului electric - cu o valoare instantanee mediată, ce nu ia în considerare și mișcarea de precesie memorată în straturile granulare. În partea centrală a Figurii 1 este ilustrată corespondența aproximativă dintre valoarea câmpului electric și modelul fizic tridimensional al fotonului. Dacă fotonul este complet, acesta va stoca în cele două jumătăți (din față și respectiv din spate) câte o semioscilație a câmpului electric, ce variază de la zero la un maxim și înapoi la zero. Curbura particulei emitente (adică tipul ei de sarcină electrică) nu este stocată în succesiunea de electrofotoni modificați, și prin urmare *nu putem atribui un semn valorii câmpului E* ; totuși, pentru a păstra coerența și compatibilitatea modelului, voi considera în context teoretic că prima jumătate (cea din față) a oscilației este pozitivă și cea de-a doua are semn schimbat, este deci negativă. Voi postula în consecință că *nu există diferențe structurale între fotonii emiși de particule și de antiparticulele lor* (de electroni și respectiv de pozitroni, de exemplu). Câmpul electric E nu va depinde direct de forma fizică a fotonului (fotonii sunt de fapt diferiți, nu există două exemplare identice - chiar dacă ar avea exact aceeași frecvență) sau de lungimea acestuia, ci depinde doar de *viteza medie de variație a densității granulare ρ* de-a lungul succesiunii de straturi componente (a se vedea detaliul din graficul central al Figurii 1). Am putea exprima proporționalitatea directă prin următoarea formulă:

$$E(t) \sim \partial\rho / \partial t$$

"**Câmpul magnetic**" este dat de orientarea variabilă a electrofotonilor succesivi ce compun corpul fotonului. Unghiul format de planul unui strat granular cu direcția de deplasare a fotonului variază în timp (se micșorează când densitatea granulară crește, straturile granulare replicând cu fidelitate orientarea suprafeței particulei generatoare la momentul emiterii aceluia electrofoton). S-a reprezentat câmpul magnetic prin mărimea vectorială H (se poate vedea în graficul de jos din Figura 1, unde este și un detaliu ce ilustrează orientarea variabilă a straturilor granulare), iar proporționalitatea acestuia se poate exprima prin formula:

$$H(t) \sim \partial\alpha / \partial t$$

Câmpurile H și E sunt variabile în timp, așa cum reiese și din aceste ecuații, dar doar din cauză că întreaga structură a fotonului se deplasează cu o viteză constantă într-o anumită direcție. Observate în referențialul local al fotonului, toate aceste așa zise "câmpuri" nu variază deloc, ele sunt parte integrantă a unei structuri granulare ce este practic înghețată în timp.

Dacă ne întoarcem puțin la fenomenul fizic în urma caruia s-a produs acest foton, observăm profunda corelare dintre câmpurile E și H la momentul emisiei. Odată ce electronul generator accelerează, electrofotonii produși cresc în densitate granulară, iar unghiul straturilor interne crește și se apropie de 90 grade față de direcția de propagare; fenomenul similar se petrece și la frânare. Mecanismul fizic prin care se produce un foton conduce astfel la legătura simplă dintre variația E și H, validând în final toate *ecuațiile lui Maxwell* - de exemplu ecuația Maxwell - Faraday:

$$\nabla \times E = -\mu \partial H / \partial t$$

Fotonul, privit ca o formațiune granulară staționară, nu conține de fapt câmpuri electrice și magnetice. Doar dacă îl privim dintr-un alt referențial inerțial, ce posedă o viteză absolută mai mică decât c, atunci se vor putea regăsi în corpul acestuia succesiunea inițială de straturi granulare, care acum au un comportament dinamic similar cu al unor câmpuri electrice și magnetice convenționale (fotonul a conservat practic distribuția electrofotonilor la momentul generării și o poate reproduce ulterior, atunci când se află în mișcare uniformă).

Mai mult, despre un *câmp magnetic independent* (de sine stătător) nu putem vorbi în general, și asta pentru că el este o doar consecință a celui electric, este un derivat al acestuia ce are la bază mișcarea intrinsecă de precesie a particulelor emitente. El este de fapt o variație (o rotație și o deplasare) în orientarea și poziția electrofotonilor generați de o particulă încărcată - deci a câmpului electric al acesteia, care se transmite și acționează ulterior asupra altei particule încărcate electric. Câmpul magnetic este generat prin urmare de variația în timp și spațiu a câmpului electric produs de particulă - și acesta este *singurul determinism fenomenologic real*, mecanismul de corelare fizică ce se află la baza emisiei fotonilor - care conduce în final și la posibilitatea reprezentării lui teoretice prin acele bine-cunoscute mărimi și ecuațiile specifice.

Remarcă. Variația reală a acestor câmpuri (E și H) nu este perfect sinusoidală, și cauza se află în neuniformitatea variației vitezei particulei emitente în zona relativistă; chiar dacă toate câmpurile de accelerare ar fi uniforme, variația masei particulei la viteze relativiste nu este liniară. Pe de altă parte, soluțiile de tip sinusoidal pentru evoluția câmpurilor E și H - văzute împreună ca un câmp electromagnetic - sunt doar o bună aproximare a realității fizice, dar practic se pot folosi cu succes în descrierea particulei speciale numită foton.

Polarizarea fotonului este în totalitate determinată de forma lui fizică și este dată de planurile în care se manifestă oscilația granulară. O formă elicoidală tridimensională a fotonului, așa ca în partea de sus a Figurii 1, exprimă o *polarizare circulară* a acestuia. În acest caz avem de-a face cu o rotație a câmpurilor E și H de-a lungul celor două oscilații complete, o rotație ce ajunge la un anumit unghi pe toată lungimea lor. Dacă ne vom referi la un sistem de referință XYZ (cu OX de-a lungul unei axe de simetrie internă), putem identifica și un unghi de început al rotației față de axa OY, o **fază inițială φ** a acesteia (nu este cea a undelor atașate de mai jos). Polarizarea circulară poate fi în sensul rotației acelor de ceas (față de direcția de propagare) sau în sens invers. Acest parametru al fotonului corespunde cu momentul unghiular de spin - ce se numește **helicitate** și se notează cu **h** - și care caracterizează *starea de polarizare circulară*; valorile lui sunt $\pm \hbar$, exprimând helicitate de dreapta și respectiv stânga. Dacă unghiul de rotație al câmpurilor E și H este cvasiconstant de-a lungul întregului foton, vom avea de-a face cu un singur plan de oscilație al acestora, și acest caz particular se va numi stare de **polarizare liniară**.

Remarcă 1: Polarizarea circulară a fotonului din figură este în sens invers acelor de ceas, dar aceasta va trebui privită în celălalt sens din punctul de vedere al acțiunii concrete asupra unei particule - în cazul absorbției.

Remarcă 2: Câmpurile E și H au fost reprezentate grafic ca niște oscilații într-un singur plan, identificând o stare de polarizare liniară a unui alt foton.

Remarcă 3: Fotonii pot fi incompleți, și prin urmare oscilațiile câmpurilor interne pot fi și ele de asemenea incomplete (fazele de început și sfârșit ale acestora nu sunt date de caracteristicile formei fizice elicoidale, ci de distribuția și variațiile densității granulare interne).

Frecvența ν este cel mai important parametru al unui foton, o caracteristică fundamentală a acestuia ce este stocată complet în distribuția lui granulară. Ea ne indică într-un fel "rapiditatea" cu care particula generatoare a accelerat și a oscilat în momentul emisie, adică energia mecanică implicată în acest proces ce a durat un anumit interval de timp.

Lungimea de undă este de asemenea un parametru important, legat și el de forma fizică și de natura corpusculară a fotonului. Se notează cu **λ** și exprimă un interval spațial virtual care, dacă este analizat în timp, va cuprinde o *oscilație completă* a câmpului electric (sau distanța dintre două maxime ale acestuia). Lungimea de undă este corelată în mod evident cu frecvența fotonului; dacă frecvența lui este mai mare (oscilația la emisie s-a petrecut mai rapid, pe o perioadă mai scurtă), aceasta conduce la o mai mică extindere spațială a structurii granulare. Cele două mărimi vor fi legate deci prin formula cunoscută (unde **c** este viteza luminii în vid):

$$c = \nu \lambda$$

Remarcă 1: Într-o perspectivă absolută asupra deplasării fotonului, am explicat într-un articol precedent (Mărimea Universului [4]) că fotonii ce sosesc de la galaxii îndepărtate au o deplasare spre roșu (lungimea lor de undă este mai mare) datorată creșterii vitezei luminii în timp. Am concluzionat că acest lucru a avut o cauză de nivel fundamental, și anume scăderea treptată a densității granulare a spațiului.

Remarcă 2: Forma fotonului, și implicit lungimea lui de undă, nu depinde direct de fluctuațiile cuantice ale mediului granular; acestea conduc doar la o sincronizare a vitezei fotonilor cu "absolutul" local [3].

Remarcă 3: Viteza fotonilor prin diverse medii și materiale este mai mică decât valoarea c , dar aceasta nu se datorează unor schimbări la nivel granular. Este vorba doar de o întârziere a fotonilor, fenomen repetitiv ce are loc odată cu procesele de absorbție și re-emisie produse de unii electroni atomici ce sunt excitați în timpul propagării. Electronii re-emit fotonul cu o anumită întârziere, și această durată va depinde și de lungimea lui de undă. Viteza medie de propagare și lungimea de undă echivalentă se micșorează astfel semnificativ în materiale cu indice de refracție supraunitar, dar frecvența (energia) fotonului rămâne practic neschimbată!

Remarcă 4: Fotonul nu se rotește în timpul propagării libere. Un punct din structura lui descrie o curbă doar în mod aparent, iar vârful vectorului câmpului electric de acolo descrie o elice doar dacă punctul este considerat în mișcare odată cu întregul corp al fotonului (care se deplasează în mod compact și uniform).

Masa, impulsul și energia. Putem asimila fotonul cu un corp unitar, cu toate că nu conține numai granule alipite și astfel nu putem să îi atribuim o masă în sens clasic. Densitatea lui granulară medie este mai mare decât cea a spațiului gol, cu toate că unele din straturile interne pot avea valori chiar mai mici decât aceasta. Prin urmare, această particulă specială va putea fi caracterizată de o masă granulară simbolică, dată doar de numărul de granule componente (Capitolul 5 - Echivalența masă-energie, din Gravitația [3]). Dacă extindem conceptul de masă la capacitatea unui corp de a transfera impuls, ajungem și la o masă de repaus a fotonului - ce este determinată de produsul scalar dintre masa simbolică și valoarea impulsului granular. Masa dinamică direcțională, aceea pe care fotonul ar putea să o afișeze într-o interacțiune cu o particulă imaginară de mari dimensiuni, este identică cu masa de repaus; acest lucru se datorează faptului că toate granulele din componența unui foton au exact aceeași direcție de deplasare.

În realitate situația este mult mai complexă, și o putem explica doar dacă vom analiza încă o dată modul în care se formează un foton și dacă înțelegem ce se stochează de fapt în structura lui granulară. Particula (cu sarcină electrică) generatoare trece printr-un proces de accelerare și apoi de frânare, lucru care modifică și concentrează electrofotonii emiși de aceasta pe o anumită direcție. Pentru asta se consumă o anumită cantitate de energie (într-o anumită perioadă de timp), a cărei mărime exactă depinde de intervalele valorice dintre cele trei viteze ale particulei: cea

inițială, cea maximă (să zicem c) și cea finală. Valorile acestea depind, în cazul atomilor, de orbitalii atomici în care se află electronii emitenți și de cei unde fac saltul - dar aici contează de fapt doar *pragurile lor relativiste*. De aici rezultă o *cuantificare*, destul de precisă, a energiei pe care o stochează un anumit foton și care se reflectă astfel direct în frecvența acestuia. Variațiile granulare din structura unui foton reproduc fidel "drumul" parcurs de particula emitentă, iar aici sunt incluse toate modificările ei de viteză și de orientare. În procesul de absorbție, totală sau parțială, fenomenul ce se petrece este identic - dar se desfășoară în sens invers. Dacă un foton întâlnește un electron dintr-un orbital atomic, mișcarea particulei (de precesie și globală) se sincronizează prin impulsurile primite de la straturile granulare succesive din foton. Variațiile de viteză ale electronului (datorate surplusului de energie pe care acesta îl capătă în timpul absorbției) vor fi *identice* cu cele avute de particula emitentă în câmpul de potențial, între pragurile menționate mai sus. Amplitudinea acestor oscilații este prin urmare destul de constantă, factorul ce discriminează de fapt energia fotonului la emisie este *durata acestei oscilații*, deci implicit frecvența ei. Și aici putem observa corelarea dintre dimensiunea fizică a fotonului și lungimea lui de undă, în final de energia lui. La fotonul cosmic ce a suferit o deplasare spre roșu - adică o alungire pe direcția de deplasare - vom înregistra și o aparentă scădere de energie, pentru că frecvența lui actuală (manifestată în timpul absorbției, la viteza curentă c) a scăzut și ea. Expresia energiei fotonului, validată ca mecanism și cuantificare încă de la primul experiment al efectului fotoelectric, este prin urmare corect exprimată de formula cunoscută (aici h este constanta lui Planck):

$$E = h \nu$$

Energia nu este dată implicit de amplitudinea așa ziselor câmpuri electric și magnetic ce sunt stocate în interiorul straturilor granulare ale fotonilor, ci este direct proporțională cu *rata* variației acestora între cele două praguri energetice și poziții spațiale avute de către particulele emittente. Cuantele de energie sunt emise, stocate și apoi absorbite în procese ce par a fi de tipul tot sau nimic, dar realitatea nu este întotdeauna așa. Există, după cum am văzut, fotoni incompleți și resturi de fotoni; absorbția, care poate fi urmată de emiterea în scurt timp a unui nou foton, poate fi și ea parțială. Spațiul și obiectele din jurul nostru sunt continuu traversate de fotoni din tot spectrul de frecvențe, de la radiația gama și X, până la cea vizibilă, infraroșie și unde radio. Fotonii - compleți sau nu - nu se "amestecă" între ei, dar efectele lor asupra particulelor se pot compune în mai multe feluri; aici nu trebuie să uităm nici de "zgomotul" care este adăugat tuturor proceselor de către fluctuațiile cuantice.

Procesul prin care o particulă absoarbe definitiv un foton este conservativ pentru impulsul global. Pentru că face parte dintr-un atom și respectiv dintr-o structură de atomi, particula ce va suferi o variație a impulsului propriu va transfera această diferență structurii de care aparține (iar straturile granulare ale fotonului absorbit se vor disipa în spațiul înconjurător). Fotonul s-a comportat deci ca un fel de particulă și a transmis o cantitate discretă, o cuantă de energie în timpul acestei interacțiuni.

Viteza de fază. Atât modelul de structură fizică a fotonului, cât și forma de undă exprimată prin termenii convenționali ai câmpului electromagnetic, toate ne conduc la o variație de tip *sinusoidal* a variației densității granulare și respectiv a undei câmpului electric asociate (pe care putem să o considerăm undă plană). Prin urmare, soluțiile teoretice ce vor putea exprima foarte bine evoluțiile undelor în timp sunt ecuațiile de această formă:

$$E = E_0 \cos(\omega t - kx + \varphi_0)$$

ω - frecvența unghiulară, adică viteza de variație a fazei undei

φ_0 - faza inițială a undei

k - modulul vectorului de undă, $k = \omega/v$

v - viteza de fază este viteza cu care suprafața de undă se deplasează pe direcția normalei sale. Într-un mediu obișnuit, faza straturilor din fața fotonului - ca distribuție spațială - cât și faza câmpurilor E și H din acea zonă frontală - văzute ca unde atașate - nu se va schimba în timpul propagării, și prin urmare viteza de fază este constantă $v = c$.

2.2. Fotonul ca undă

Cum fotonul este o structură fizică tridimensională de formă spirală ce se propagă uniform prin spațiu, similaritatea acesteia cu undele mecanice sinusoidale nu poate fi contestată. Indiferent de dispunerea straturilor granulare interne (ce oferă imaginea înghețată a câmpurilor E și H), fotonii se pot comporta deci și în mod ondulatoriu, așa ca niște unde mecanice clasice. Dar doi sau mai mulți fotoni ce se suprapun la un moment dat nu se compun efectiv, intensitățile câmpurilor lor interne nu se adună. Indiferent de frecvență, ei trec unul prin altul sau unul pe lângă celălalt, fără să se afeceteze reciproc (conform atributului de bozoni dat de mecanica cuantică, ei pot ocupa practic același spațiu). Doar efectele lor globale se vor putea cumula într-un mod particular, exact ca la o superpoziție de unde mecanice; date fiind asemănările caracteristicilor fizice ale fotonilor în timp ce se propagă (extindere spațială, fază, frecvență, lungime de undă) cu cele ale undelor mecanice, și "compunerea undelor" continui ale mai multor fotoni va avea ecuații și proprietăți similare, variabile cu acești parametri.

Experimentul celor două fante, prin care fotoni din spectrul vizibil trec unul câte unul prin două fante foarte apropiate și apoi formează un tipar de interferență ca cel al unor unde ce ar proveni din *ambele* fante, este cel mai simplu caz în care se poate observa direct natura ondulatorie a luminii. Mai mult, acest tip de experiment ilustrează un comportament non-clasic și pentru particulele obișnuite (electroni de exemplu, care au și ele o undă atașată prin regula *de Broglie*), acestea interferând și putând avea în final orice traiectorie posibilă - cu o anumită probabilitate exprimată

prin funcția lor de undă. Conform regulii introduse în mecanica cuantică de către fizicianul *Max Born*, particulele vor avea de fapt câte o probabilitate de distribuție spațială dată de existența fiecărei fante în parte și încă una dată de o interacțiune rezultată din trecerea particulei prin ambele fante (perechi de fante în general)! Interferența aceasta cuantică ar fi prin urmare rezultatul combinării constructive sau distructive a undelor (atât cele atașate particulelor normale cât și cele ale fotonilor). Dar care este mecanismul fizic din spatele acestei auto-interferențe postulate de Born, și de ce unda pare că urmează toate traiectoriile posibile? Și care ar fi explicația alternativă valabilă în contextul modelului meu granular de foton?

3. Modelul "Arbore"

Modelul meu de foton se bazează pe ipoteza că acesta este o entitate granulară complexă (așa cum a fost descrisă detaliat în Capitolul 2), care la nivel subcuantic poate fi asimilată unei structuri dublu-elicoidală fixă, mult extinsă pe o anumită direcție. Acesta va prezenta prin urmare atât caracteristici fizice similare unei *unde* (manifestate în timp ce se propagă) cât și similare unei *particule* cu masă (în timpul interacțiunilor cu materia). Cele două seturi de caracteristici se activează în mod exclusiv și par a induce un comportament diferit al fotonului - de undă sau de particulă - în funcție de tipul experimentului și măsurărilor. Dacă privim dincolo de această incertitudine specifică lumii cuantice, fotonul trebuie să fie însă ceva "real" pe toată perioada existenței lui, chiar și atunci când nu este observat. Este ușor de intuit că diferitele interacțiuni pe care fotonii le au cu materia în timpul unor experimente ar putea conduce la unele modificări în structura și parcursul lor, iar aceste schimbări ar putea forța un anumit tip de rezultat final. Prin urmare, modelul fotonului primar (ideal) descris mai sus trebuie să fie completat cu mai mulți parametri intrinseci ce să includă presupusele schimbări de formă și să permită o justificare adecvată a comportamentului acesta de tip dual - ca parte a dualității globale undă-particulă din mecanica cuantică.

3.1. Ipoteze

Așa cum am enunțat în Capitolul 2.1., densitatea granulară a fotonului primar (care nu a interacționat cu materia) atinge două maxime de-a lungul direcției axiale, iar acestea sunt separate de un interval de densitate foarte mică (adică cea medie a spațiului). La această simplă constatare mai adaug acum câteva ipoteze și detalii suplimentare, valabile pentru toate tipurile de fotoni:

a) *Structura duală a fotonului normal.*

Un foton primar normal posedă două regiuni distincte, **A** și **B**. A este regiunea frontală și este urmată la o anumită distanță de zona B, pe direcția propagării (așa

cum a fost descris inițial în Teoria Primară [1] și Universul [2], Capitolul 5). Această separare se poate asimila cu o variabilă ascunsă a acestui nou model.

Cele două zone conțin deci câte un maxim al densității granulare și au o extindere spațială axială proporțională cu jumătatea lungimii de undă a fotonului (așa ca în Figura 2 sus, unde s-a reprezentat fotonul ca variație a densității granulare în perspectivă tridimensională). La fel, din punct de vedere al câmpurilor E și H, cele două părți distincte conțin câte o semioscilație completă a acestora (despre "semnul" căreia nu se poate spune nimic).

Zonele A și B ce compun foton complet au aceeași viteză (de valoare c) și aceeași direcție. Ar fi posibil totuși ca, în anumite condiții speciale de interacțiune, aceste două zone ale fotonului să se separe și să evolueze pe direcții diferite.

Cele două zone nu sunt perfect simetrice față de centru. Totuși, față de un anumit plan de referință ce include direcția axială a fotonului (indiferent de starea lui de polarizare), proiecțiile celor două zone ar putea genera și alte descrieri concrete, gen sus/jos sau pozitiv/negativ.

Având în vedere distribuția granulară internă, cele două jumătăți vor avea un comportament diferit în interacțiunile lor cu materia. A este zona *activă*, cea care poate accelera eventual un electron atomic și care, în caz de "potrivire", poate declanșa absorbția. Procesul de absorbție este însă finalizat de zona *pasivă* B, care poate aduce rapid electronul în noul său orbital.

b) *Formarea fotonului real*

Structura tubulară a fotonului nu este perfect delimitată în spațiu, și prin urmare acesta își extinde distribuția granulară în secțiune. Odată ce un electron atomic intră în această regiune, se declanșează imediat un proces de captură prin care particula cu sarcină electrică preia impulsuri granulare și "execută" o mișcare adițională conformă cu tiparul impus de foton. Ca și în cazul materialelor transparente cu indice de refracție supraunitar, electronul implicat va reemite fotonul cu o anumită întârziere specifică (ce depinde și de lungimea de undă a acestuia). Repetarea procesului și compunerea acestor fragmente de foton micșorează lungimea de undă aparentă a noului foton emis și scade viteza efectivă de propagare a acestuia (viteza de fază) prin material. Mai mult, acesta va strânge în jurul lui o mulțime de porțiuni de "unde" - ce toate au un anumit defazaj față de fotonul inițial (o valoare cvasiconstantă pentru un anumit material). Putem reține deci că în cazul trecerii prin diferite materiale transparente, un foton oarecare din spectrul vizibil suferă multiplicări și astfel i se adaugă "clone" formate din straturile granulare rămase de la cei precedenți, straturi ce nu au fost dispersate complet în timpul absorbției. Datorită defazării produse prin întârzierea reemisiiei, majoritatea acestor clone ajung să fie poziționate în fața fotonului real, crescându-i acestuia dimensiunile în timpul propagării (atât pe direcția X cât și pe Y). Ca direcții în spațiu, cele mai multe clone

vor fi paralele cu direcția inițială a fotonului, dar putem presupune și un anumit nivel de *divergență* ce a rezultat în urma interacțiunilor cu electroni atomici în care se schimbă direcția impulsului final.

Acest lucru are două implicații importante:

- (1) În urma interacțiunilor cu materia, fotonul primar se transformă chiar imediat după generare într-un foton *real* - o structură granulară extinsă pe toate axele, complexă, rezultată prin adăugarea în față și în părțile laterale a clonelor omnidirecționale de aceeași frecvență și fază (Figura 3a).
- (2) Structura întretesută din jurul fotonului se mărește în timpul propagării libere a acestuia, dar în același timp își "pierde" continuu din numărul de clone datorită dispersiei (Figura 3b). În timp, suprapunerea clonelor din această rețea va deveni din ce în ce mai redusă, iar în final majoritatea pierd contactul dintre ele, se separă și fotonul primar rămâne înconjurat doar de clonele paralele (Figura 3c). Din cauza acestor fenomene de divergență inițială și paralelism final, clonele ce provin doar de la *o singură sursă* punctuală nu vor putea auto-interfera. Această configurație a fotonului, formată din fotonul primar și dintr-o înșiruire de clone ce-l preced, este probabil cea mai întâlnită în natură.

c) *Funcționalitatea extinsă a fotonului real*

Fotonul real are aceeași energie ca și cel primar. Clonele adiționale sunt electrofotonii rămași de la fotonii generați anterior și absorbiți, resturi granulare ce au temporar o direcție similară și formează tot temporar un foton "mai mare" - pentru construcția căruia *nu* s-a consumat o energie suplimentară.

În principiu, un foton real are *aceeași funcționalitate* ca și cel primar, doar că prezintă o extindere spațială mai mare pe mai multe "ramuri". Numărul mare de clone înlănțuite și corelate (ce sunt în fază și au aceeași viteză) permite formarea acestor ramuri și le dă o durată de viață semnificativă, perioadă în care clonele păstrează contactul cu fotonul primar și "comunică" cu acesta prin rețeaua de "tuburi" granulare ce se întrepătrund. Pe o durată scurtă de timp, până când se atinge un anumit grad de dispersie granulară, acest *grup funcționează ca un întreg (ca o singură particulă) cu anumită structuralitate internă*, în care dimensiunea și distribuția ramificațiilor reprezintă o nouă variabilă ascunsă a modelului.

În funcție de material și condiții, extinderea spațială a fotonului vizibil în partea lui frontală poate ajunge la foarte multe lungimi de undă (în echivalentul lor fizic), iar în cea laterală poate fi de ordinul lungimii de undă (pe perioada scurtă de dinaintea dispersiei). În cazul revenirii la deplasare liberă, cum toate clonele din față au aceeași viteză ca și fotonul primar, grupul de ramificații se va mai putea extinde doar lateral, nu și pe direcție axială.

Dacă fotonul trece prin zone cu o anumită geometrie, succesiunile de clone pot urmări contururile materiei la nivel de atomi și se adaptează formelor acestora; astfel se creează în unele puncte și regiuni, în funcție și de lungimea de undă a fotonului, mai multe surse distincte ce vor genera la rândul lor alte clone ale fotonului primar. Grupurile noi de clone sunt practic omnidirecționale și pot ajunge astfel să se intersecteze și să *interfereze* cu grupul fotonului primar, conducând la diferite tipare de interferență, îngroșând sau subțind ramurile lui inițiale sau producând unele secundare. Interferența constructivă conduce deci la apariția unor ramuri temporare, "solide" din punct de vedere al densității granulare mari, ce au o durată de viață suficientă pentru a se putea asimila unor *prelungiri* funcționale ale fotonului primar. Printr-unul din aceste canale continui, fotonul implicat poate interacționa cu un electron atomic și își poate transfera întreaga energie. Cum interacțiunea se propagă la nivel granular (schimb de impuls elementar) și multe dintre granulele implicate pot fi alipite, viteza globală a acestui proces de "comunicație" poate depăși valoarea c .

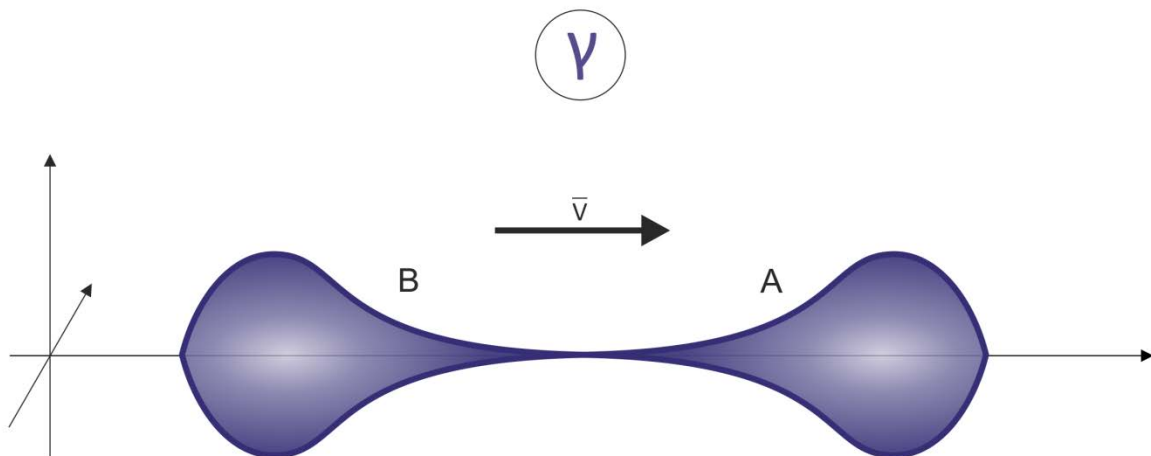


Figura 2 - *Reprezentare generică a unui foton ideal*

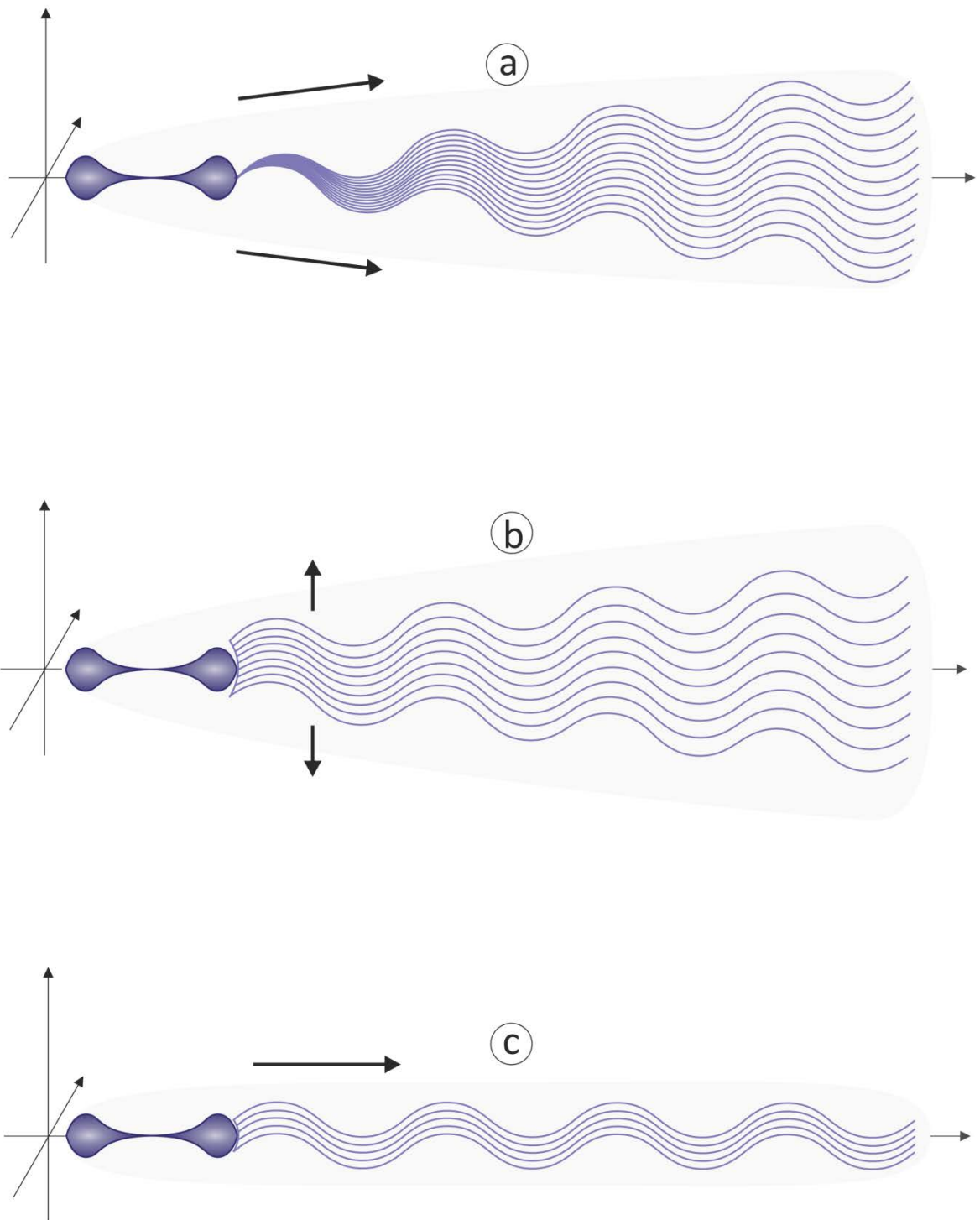


Figura 3 - *Reprezentări ale unui foton real în diferite stadii*

3.2. Explicații

Pentru două experimente clasice cu fotoni din spectrul vizibil voi încerca acum să formulez ambele tipuri de explicații și interpretări, și anume cele din perspectiva *mecanicii cuantice actuale* și respectiv cele de la nivel subcuantic, în care voi aplica Modelul Arbore ce este bazat pe principiile *mecanicii granulare*.

a) Experimentul cu fantă dublă (Young)

Richard Feynman: "Experimentul cu fantă dublă reprezintă inima mecanicii cuantice, conține cel mai important mister al ei."

Etapa 1. Pentru început vom considera un montaj simplu ce conține o sursă de lumină monocromatică (Laserul L) și un ecran S plasat la o oarecare distanță de aceasta, așa ca în Figura 4a - poza de sus. Un foton este emis la un anumit moment pe direcția ecranului, unde ajunge după un timp și poate fi observat. În acest caz am putea presupune o poziție certă a particulei-foton chiar și pe durata în care nu este observată, undeva pe o traiectorie rectilinie ce unește sursa L cu punctul luminos de pe perete (nu considerăm aici incertitudinea de timp și de poziție a emisiei).

Etapa 2. Dacă intercalăm pe această traiectorie o placă opacă ce are o singură fantă foarte îngustă (cu deschidere mică, chiar de ordinul lungimii de undă), lucrurile se vor desfășura în mod similar, iar pe ecran va apărea o pată luminoasă în același loc, dar mai extinsă și având două mici franjuri în jur din cauza difracției. În mod aparent nu au fost perturbate semnificativ propagarea și comportamentul fotonilor la trecerea prin acea fantă îngustă; doar unii dintre ei au fost deviați puțin de la traiectoria inițială, au "ocolit" obstacolul și s-au concentrat în anumite zone distincte de pe ecran (Figura 4b), acolo unde luminozitatea este maximă.

Etapa 3. Acum să schimbăm placa de mai sus cu o alta ce posedă două fante apropiate (Figura 4c). Acest fapt schimbă lucrurile în mod fundamental, pe ecran va apărea un tipar de interferență format din mai multe linii luminoase plasate la anumite distanțe - ca și când s-ar combina două unde de lumină ce ar proveni din cele două fante. Trebuie menționat un lucru important, anume că acest tipar va apărea și dacă fotonii sunt emiși pe rând, unul câte unul. Aici se pune în mod evident întrebarea firească ce traiectorie a avut de fapt fiecare foton? Urmează el una din toate traiectoriile posibile, dar ca o undă care a interferat chiar cu ea însăși? Și mai mult, în ce mod putem afla prin care dintre cele două fante a trecut, *ce cale a urmat?*

Etapa 4. Pentru a elucidă acest aspect vom adăuga un detector de fotoni D în fața unei fante (Figura 4d). Foarte interesant, tiparul de pe ecran dispare imediat. Acum ne punem întrebarea legitimă dacă observarea, adică adăugarea acestui detector în experiment, transmite un semnal înapoi și obligă fotonul să urmeze o anumită cale din cele posibile. Apar de altfel și alte întrebări mai generale, dincolo de misterul deja clasic cu formularea *undă sau corpuscul*, legate de probleme globale cum ar fi realismul, localitatea și cauzalitatea în sisteme cuantice cu fotoni.

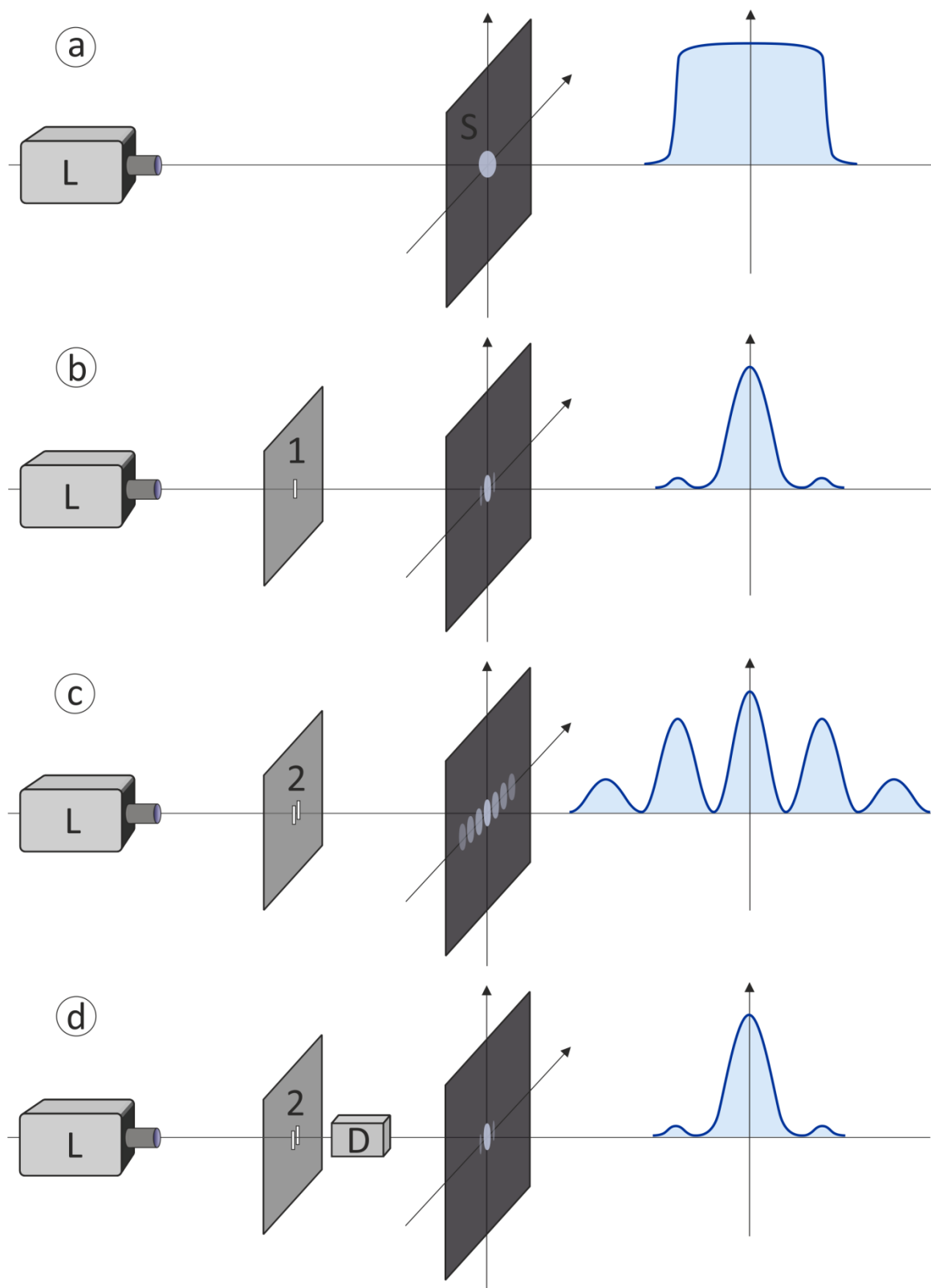


Figura 4 - Experimentul cu fantă dublă

(Mecanica Cuantică) Mai întâi, ce este de fapt fotonul - bozonul ce poartă forța electromagnetică - o undă sau o particulă? Putem presupune la început că fotonul este o particulă; după ce este emisă, aceasta (Etapa 1) călătorește drept și lovește ecranul. La Etapa 2 și Etapa 3 observăm însă că lumina se comportă ca undă, poate "ocoli" diferite obstacole și produce în final un tipar de interferență (difracție) pe ecran. Încercând să aflăm prin ce fantă a trecut fotonul (la Etapa 4), relevăm de fapt încă o dată caracterul lui de particulă. Cum se explică toate acestea? Tipul de măsurătoare afectează comportamentul lui?

Pe calea ondulatorie, am putea porni mai întâi de la Principiul lui Huygens, care spune că fiecare punct al unei unde este o sursă secundară de unde sferice, unde ce la rândul lor se compun și determină noul front de undă. Diferite părți ale undei au interferat și au parcurs căi diferite spre observator, generând maxime și minime, dovedind deci un clar caracter ondulator al fotonilor. Dar, plecând de aici, mecanica cuantică a ajuns la o mult mai bună explicație pentru interferență, luând în considerare faptul că orice particulă are o funcție de undă asociată - deci și fotonul. De Broglie a fost primul care a emis ipoteza că fiecare foton este ghidat de o *funcție de undă* și că el alege în mod întâmplător o cale din mulțimea de căi posibile de urmat. În cazul nostru experimental aceste căi ar fi determinate de configurația și componentele experimentului, iar soluțiile funcției de undă chiar asta ne vor oferi, ca răspuns sub formă de probabilități. Max Born a introdus regula, după cum am amintit mai sus, că probabilitățile de distribuție în tiparul de interferență rezultă de fapt din interacțiuni ondulatorii datorate atât fiecărei fante în parte, cât și a lor împreună.

Trebuie să mai amintim aici la partea de explicații și de *Principul complementarității* al lui Niels Bohr, unde se statuează că aspectele de undă și particulă ale obiectelor cuantice sunt *exclusive*, iar tipul de măsurători va determina care dintre aceste proprietăți sunt expuse.

În experimentul de mai sus se respectă de fapt și un alt principiu important al mecanicii cuantice. Dacă privim întregul proces dintr-un punct de vedere cauzal, o creștere de certitudine în poziție a fotonilor care trec prin fante va conduce automat la o creștere a incertitudinii momentului acestora (a direcțiilor lor), conform *Principiului incertitudinii cuantice* - Heisenberg.

Aparent, cadrul oferit de mecanica cuantică actuală prin aceste reguli și principii fundamentale este complet. Soluțiile la care ajungem sunt corecte, se potrivesc cu datele experimentelor. Ideea că totul are valențe ondulatorii și că obiectele se pot descrie printr-o funcție de undă potrivită aduce rezultate bune. Realitatea cuantică este prin urmare probabilistică, iar noi avem limite clare în a putea să observăm toate proprietățile și parametrii ei simultan.

Totuși ceva lipsește din aceste explicații! Ce se ascunde de fapt în spatele funcției de undă? Și cum se definește exact conceptul de undă în cazul fotonului, cum se împarte aceasta în alte unde pentru a produce interferență și cum se divide cuanta

lui de energie electromagnetică, câmpurile lui interne E și H ? Mai mult, hazardul din spatele mișcărilor și poliformismului acestuia nu ascunde niciun pic de determinism? Sunt întrebări justificate, care ne conduc în mod automat într-un alt teritoriu dimensional, acolo unde trebuie să se afle cauzele din spatele fenomenelor cuantice. Probabilitatea acestor fenomene trebuie să se afle într-o infinitate de variabile ascunse la această scară subcuantică, variabile pe care nu o să le putem măsura direct niciodată. Având în vedere incertitudinea și limitările observaționale cu care ne confruntăm, cauzalitatea și realismul ce izvorăsc la acest nivel granular și modelează lumea cuantică par a rămâne în continuare doar frumoase speculații teoretice... Totuși, modelele din această sferă dimensională pot oferi răspunsuri coerente și logice în cazul experimental descris aici, bazându-se doar pe reguli mecanice extrem de simple; dar nici această demonstrație nu poate să evite însă bariera obiectivă impusă de configurația discretă a realității.

(Mecanica Granulară) Am văzut că un foton real are o anumită distribuție granulară, ocupând un spațiu tridimensional de formă aproximativ cilindrică, foarte lung și cu un diametru efectiv comparabil cu lungimea de undă. Ca și fotonul primar, cel real este tot o particulă cu o configurație ondulatorie în timpul deplasării - dar în care replicile undei primare se repetă (în general) în număr mare pe lungime. Când această entitate cu margini bine conturate încearcă să traverseze un "spațiu" mai îngust, în mod automat se va produce o interacțiune cu atomii periferici ai materialului opac (dispersiv sau nu) și electronii ai acestora vor începe să vibreze în "ritmul" impus de frecvența undei. Impulsul primit de atomii periferici va fi propagat și transversal ca soliton, conform configurației barierei, și această vibrație se va suprapune cu reemisia continuă a clonelor și va crea unde staționare. În acest proces complex de vibrație sincronă se multiplică accelerat numărul clonelor, și tot mai multe copii granulare ale fotonului primar sunt reemise pe toate direcțiile posibile. Chiar am putea compara fenomenul cu curgerea și împrăștierea unui *fluid* extensibil pe întreaga suprafață a obstacolului material, fluid compus din clonele de diferite faze ce întrepătrund și se compun continuu în funcție de conturul microscopic al acestuia și de lungimea lor de undă (Figura 5a). În corelație cu discontinuitatea dată deci de configurația fantei și de lungimea de undă, se vor forma foarte repede unele direcții favorizate, în care clonele ce au rezonat și au suferit o interferență constructivă (care înseamnă acum o alipire fizică temporară a clonelor cu aceeași fază) sunt mai dense. Fanta sau fantele devin astfel niște *replicatoare* ale clonelor care au ajuns în zona lor și se constituie astfel în *surse secundare* ce le retransmit pe toate direcțiile. Aceste grupuri de unde din surse diferite se intersectează și interferența acestora se continuă pe traseul spre ecran, și asta se întâmplă chiar dacă fotonul primar nu a trecut de zona fantelor. Dacă aceste "ramuri" mai groase (care sunt mai mult sau mai puțin divergente) din rețeaua creată în acest mod rămân în contact cu fotonul primar pe drumul lui spre ecran, ele vor deveni practic niște extensii ale acestuia și chiar ele vor putea interacționa direct cu un electron atomic. Prin acest canal granular dens (il putem considera solid) se poate transmite astfel întreaga energie a fotonului primar, cvasiinstantaneu (viteza am precizat-o la

Capitolul 3.1, se respectă și cauzalitatea și viteza limită a luminii pentru foton ca particulă), și putem considera că fotonul a "lovit" deja ecranul. La momentul finalizării absorbției, atât fotonul primar (indiferent de poziția în care a ajuns) cât și ramura prin care a interacționat vor fi dezintegrate, iar restul clonelor - devenite inactive - își continuă drumul și se vor disipa într-un final. O succesiune continuă de fotoni și de procese similare petrecute pe diverse "ramuri" vor face ca acest tipar de auto-interferență să devină vizibil pentru om pe ecran.

Din cauza separării fizice și materiale, cele două fante s-au constituit practic în surse *independente* de unde ce pot prin urmare să interfereze (Figura 5b); astfel s-au creat *noi* canale granulare ce reprezintă *trasee posibile* prin care se poate transmite acțiunea fotonului primar. În ambele cazuri (și o fantă și două fante) putem privi lucrurile fie ca pe o transformare prin extindere spațială și funcțională a fotonului primar în foton real, fie ca pe o simplă multiplicare a acestuia prin mai multe surse generatoare de clone. Practic nu mai are sens să ne punem problema prin care fantă a trecut fotonul, *ce cale* a urmat; clonele lui s-au împrăștiat (în funcție de geometria spațiului înconjurător și de caracteristicile materialelor), au creat mai multe canale granulare ce au propagat interacțiunea și nu mai contează, din punct de vedere al efectelor, unde este poziționată partea lui primară la momentul absorbției.

Dacă se încearcă observarea (ceea ce ar presupune absorbție sau eventual modelarea emisiei clonelor după noul contur) unei unde provenite de la una dintre fante (văzute ca sursă independentă), pe unul din canalele ei granulare se transmite înapoi "informația" că această cale este blocată și sursa respectivă se va opri pe toate direcțiile (Figura 5c). Unda provenită de la sursa rămasă nu mai are cu ce alte unde să interfereze și lucrurile devin similare cu cele din cazul unei singure fante, când interacțiunea se propagă printr-una din ramurile existente.

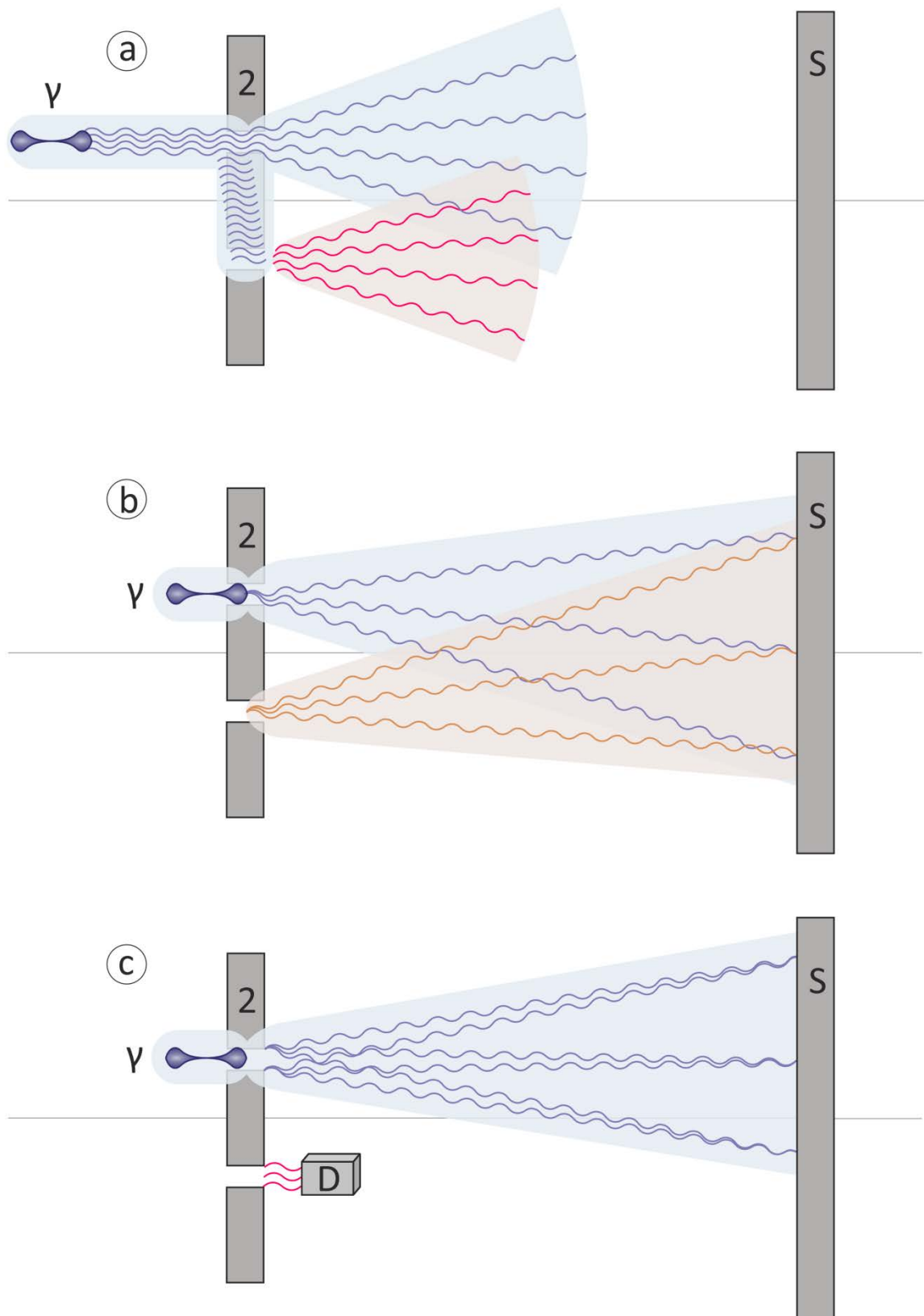


Figura 5 - Formarea tiparelor de interferență

b) Experimentul cu alegere întârziată (Wheeler)

Acest experiment se bazează pe o versiune modificată a interferometrului Mach-Zehnder, la care s-a mărit cu mult dimensiunea traiectoriilor urmate de fotoni (pentru a se permite o "insertie" întârziată a celui de-al doilea *Beam Splitter*). În Figura 6 este prezentată configurația simplificată a experimentului, iar acum voi descrie cele trei situații în care un foton pare a se comporta diferit - ca o particulă când urmează o singură cale și ca o undă când urmează ambele căi și interferează. Acest experiment este folosit într-o manieră în care se alege cu întârziere tipul măsurătorii, adică prezența unui *beam splitter* secundar. Și cum se constată prezența interferenței după adăugarea acestuia, concluzia de tip clasic ar fi că fotonul "s-a întors în timp" și "și-a schimbat decizia" de a călători ca particulă în cea de a fi o undă... Sau că fotonul nu are proprietăți intrinseci până ce nu este măsurat...

Dispozitivul experimental cuprinde o sursă de lumină monocromatică (Laserul L), două oglinzi semitransparente (A și B), două oglinzi normale (M1 și M2) și două detectoare de fotoni (D1 și D2), aranjate ca în figură. Precizez că sursa de lumină este special configurată să emită câte un foton pe rând.

Situația 1: Un foton este emis și ajunge la BS A, de unde urmează Calea 1 sau Calea 2 și va ajunge la unul dintre detectoare cu o probabilitate de 50%. În acest caz fotonul s-a comportat ca o particulă (Figura 6a).

Situația 2: Fotonul se comportă ca o undă și merge pe ambele căi, iar semi-undele produse vor interfera în BS B. Căile sunt astfel alese încât se produce o interferență constructivă doar pe Calea 1, și prin urmare Detectorul D1 va semnaliza fotonul în 100% din cazuri (Figura 6b).

Situația 3: Acest caz este identic cu primul, doar că BS B se adaugă cu întârziere, când fotonul ar fi ales deja una din căi și în mod aparent s-ar fi comportat la început ca o particulă. La fel ca în Situația 2, doar Detectorul D1 va semnaliza prezența fotonului (Figura 6c).

(Mecanica Cuantică) Paradoxal, acest simplu experiment nu este încă pe deplin explicat, chiar dacă validăm ideea că tipul măsurătorii afectează caracteristica afișată de foton. Retrocauzalitatea implicată de rezultate, sau lipsa de realism a unui obiect cuantic în lipsa măsurătorii (Interpretarea Copenhaga) sunt aspecte foarte greu de acceptat în mod normal.

Un mare pas înainte a fost însă efectuat odată cu *Interpretarea Bohm* [5] a mecanicii cuantice, în care se reface cauzalitatea și se redă comportamentul clasic tuturor particulelor. Teoria *de Broglie-Bohm* (a undei pilot) postulează că evoluția poziției particulelor este dată de bine cunoscuta funcția de undă, dar printr-o *ecuație de ghidare*. Din păcate, poziția unei particule va depinde de poziția tuturor celorlalte particule din univers, ceea ce dă teoriei un caracter de nonlocalitate și o face incompatibilă cu teoria relativității speciale.

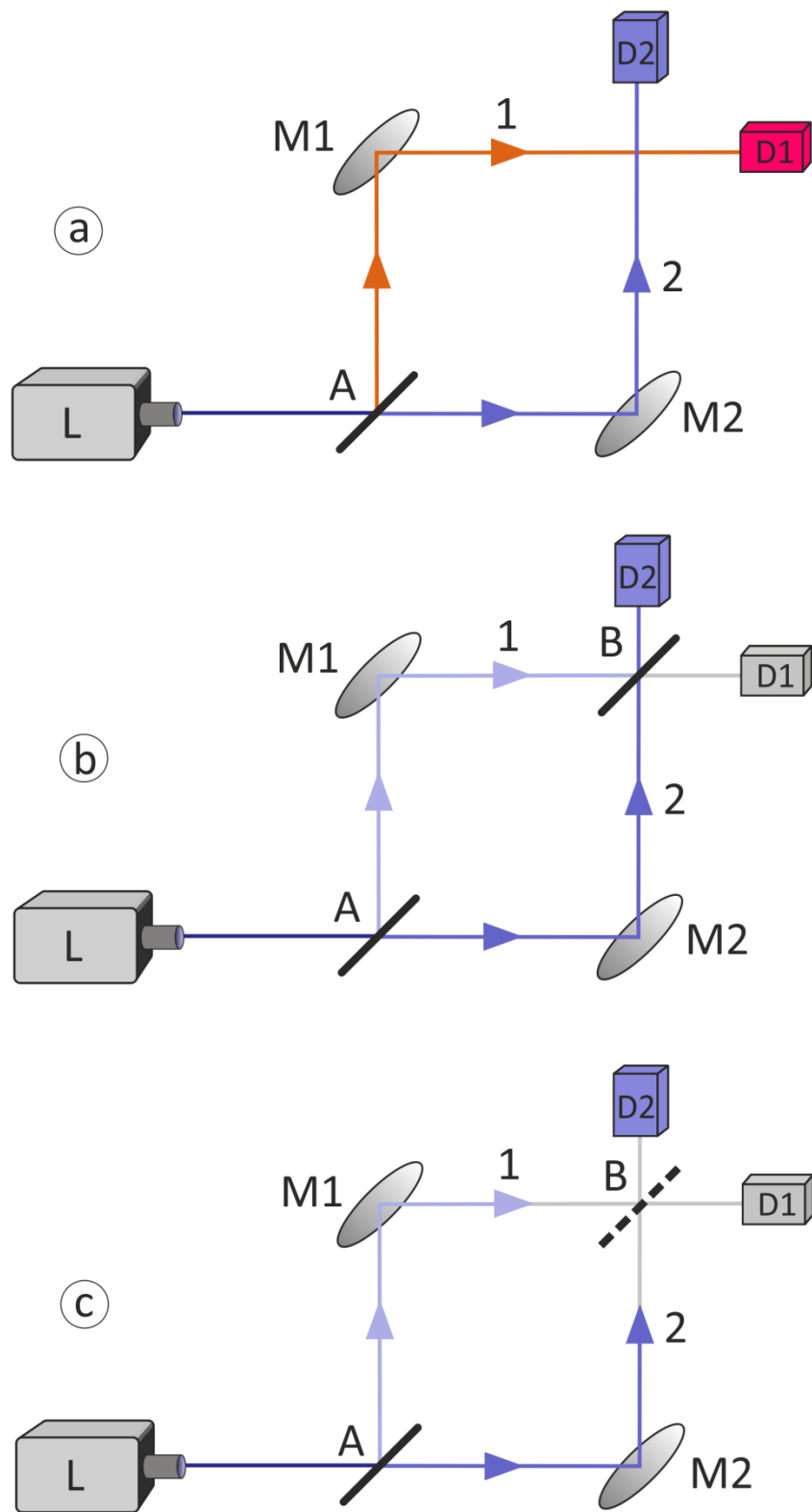


Figura 6 - Experimentul cu alegere întârziată

În cazul experimentului nostru se apreciază că fotonul este o particulă ce are mereu o poziție clară (care este o variabilă ascunsă) și urmează doar una din cele două căi posibile, iar unda care o ghidează urmează ambele căi. Funcția de undă se schimbă însă odată cu modificarea configurației globale a aparatului (la adăugarea BS B în Situația 3), și schimbarea aceasta se petrece cu o viteză mai mare decât viteza luminii. Această interpretare deterministă, alternativă la mecanica cuantică standard, oferă bune rezultate și explică foarte bine întreaga dualitate undă - particulă din experimentul cu alegere întârziată.

(Mecanica Granulară) Fotonul emis de Laserul L (Figura 6a) ajunge la BS A, unde se vor emite clone granulare cu aceeași fază, atât pe direcția de propagare cât și pe cea perpendiculară. Din aceleași considerente ca și cele de la experimentul precedent, aceste clone se vor constitui în unde granulare continue ce vor precede fotonul (a cărui viteză va scădea puțin în interiorul BS), adăugându-se la cele deja existente și extinzând fotonul pe cele două direcții. Undele vor călători astfel pe Căile 1 și 2 (razele roșii, respectiv albastre), se vor reflecta de oglinzi și vor trece una prin alta, ajungând la Detectoarele D1 și D2. Fotonul va urma și el una din aceste căi, probabilitatea fiind de 50% să lovească fiecare detector; el doar pare că s-a comportat ca o particulă, în realitate unda lui primară și undele granulare secundare au fost prezente tot timpul.

În cazul (b) este instalat și BS B; cele două unde urmează Căile 1 și 2 și vor ajunge în interiorul acestui material, unde vor genera încă un set de unde secundare pe direcțiile spre detectoare. Acestea se vor suprapune și vor interfera, fiind în fază doar pe calea spre Detectorul D2. În urma acestui proces s-au creat astfel două ramuri granulare, una foarte groasă (densă) spre Detectorul D2 și una subțire spre D1, ramuri ce au durată de viață suficient de mare pentru a permite sosirea fotonului la BS B. În exact acel moment, indiferent de calea urmată de foton (care acum nu mai este relevantă), interacțiunea se va propaga prin *ramura granulară cea mai groasă* și un atom din Detectorul D2 va fi excitat. Acest detector va înregistra prin urmare 100% din fotoni.

În ultimul caz (c) se presupune că BS B este inserat în sistem (sau activat) după ce fotonul ar fi trecut de BS A, adică după ce "și-ar fi ales calea de urmat ca particulă". Dar, la fel ca în cazul (b), undele granulare au fost generate deja și urmează ambele căi, producând unde secundare și interferând în BS B. În mod evident, Detectorul D2 va înregistra 100% din fotonii emiși de laser.

Cum acțiunea unui foton este unică, este normal să nu putem afla în aceste condiții ce cale a urmat acesta; oricum, interacțiunea lui cu diverse materiale și modul în care este conceput experimentul relevă așa-zisele comportamente diferite, dar în realitate aveam de-a face cu un sigur fel de particulă. Aceasta are în permanență o configurație "reală", indiferent de calea pe care ar merge.

4. Concluzie

Se poate observa o apropiere a modelului meu de teoria *de Broglie–Bohm* "Pilot Wave" [7], din punct de vedere al realismului, determinismului și a unor așa zise "variabile ascunse" pe care le presupune. Dar în formalismul folosit de aceasta ar trebui să fie cuprinsă o altă descriere a funcției de undă și a momentului colapsului acesteia, care să includă schimbările produse în undele reale ce însoțesc fotonul și influența limitată a geometriei spațiului înconjurător. Non-localitatea se bazează pe explicații pornite de la nivel fundamental (așa cum am prezentat deja în Teoria Primară [1] și Universul [2]), și aici modelul meu teoretic se integrează perfect în cadrul general furnizat de Teoria Relativității în forma completată cu Teoria Absolutului ([2], Capitolul 3). Pe direcția realismului am observat mai multe păreri pro, alături de o adaptare potrivită a formalismului Mecanicii Cuantice și de unele date experimentale ce susțin acest lucru (ca în [6]).

Caracteristicile definitorii ale Modelului Arbore:

- Fotonul este o entitate granulară cu structură variabilă care, la trecerea prin diverse medii cu diferite configurații și caracteristici, *se poate extinde în spațiu prin multiplicare*, adică prin adăugarea de numeroase clone ce au aceeași frecvență. Clonele pot interfera ca niște unde, mărindu-și densitatea și înlănțuindu-se pe anumite direcții, formând un "arbore cu mai multe ramuri".
- Acest foton real are *aceeași funcționalitate* ca și cel inițial, dar poate interacționa printr-una din ramurile continui create de clonele cu aceeași fază.
- Din mulțimea de astfel de ramuri, energia se va transmite doar pe unul din canalele *cu grosimea mai mare* (ales în mod aleator) sau pe cel paralel cu direcția de propagare (dacă este unic). Interacțiunea poate avea loc prin urmare direct cu o clonă frontală, chiar dacă fotonul inițial nu a ajuns în contact cu particula ce îl absoarbe. În urma interacțiunii, canalul respectiv și fotonul inițial de disipă în spațiu, la fel și clonele divergente ce au rămas.

Implicațiile majore ale Modelului Arbore:

- Interacțiunea produsă de un foton real se poate petrece înaintea "sosirii" fotonul primar din el, și nu mai este așa importantă calea pe care acesta ar fi mers; cu toate acestea, relația cauză-efect nu este afectată în niciun fel, iar *retrocauzalitatea nu există* în fapt - căci vorbim de o aceeași entitate cuantică!
- Din același motiv putem vorbi și de *principiul de localitate* în cazul interacțiunii fotonului real. Clonele divergente ce îl însoțesc o perioadă de timp se disipă într-un final și nu mai pot constitui ramuri active; mediile care generează clonele și respectiv cele unde ajung acestea nu pot fi "sondate" în totalitate în această perioadă, ceea ce face ca să se *limiteze* influența împrejurimilor și deci ca traiectoria fotonului să fie determinată doar *local*.

- Fotonul este prin urmare *o particulă ce are tot timpul formă fizică de undă*, dar extinderea și structura acestei unde este variabilă în timp. Tipul de experiment va dicta ce trăsătură este manifestată de acesta când se face măsurarea, dar separarea și complementaritatea undă/particulă devine artificială în contextul acestui model. Putem vorbi deci de *realism* în cazul oricărui foton, el având o formă bine definită și atunci când nu este observat.

Unele din implicațiile de mai sus se referă și la particulele "clasice", de exemplu la electroni, pentru că și acestea descriu tot timpul o traiectorie sub formă de undă în timpul deplasării. În toate cazurile se manifestă însă o incertitudine observațională intrinsecă a lumii cuantice, pe care nu o putem ocoli prin niciun fel de experiment ales în mod "inteligent". Unele mărimi prezente în acest model teoretic ca variabile ascunse nu vor putea fi măsurate niciodată, iar altele nu pot fi măsurate simultan. Lumea cuantică își păstrează ascunse unele aspecte, ele sunt deci secrete absolute. Oricum, comportamentul exclusiv de undă sau de particulă al fotonului a devenit acum mai mult o caracteristică observațională legată de experiment și nu o afectare a unei proprietăți intrinseci a acestuia prin efectuarea unei măsurători.

5. Referințe

[1] Laurențiu Mihăescu, 2014. *Teoria Primară*, Editura Premiuss
<http://www.1theory.com/TeoriaPrimara.pdf>

[2] Laurențiu Mihăescu, 2015. *Universul*, Editura Premiuss
<http://www.1theory.com/Universul.pdf>

[3] Laurențiu Mihăescu, 2018. *Gravitația*, Editura Premiuss
<http://www.1theory.com/Gravitatia.pdf>

[4] Laurențiu Mihăescu, 2018, *Mărimea universului*, articol
<http://www.1theory.com/MarimeaUniversului.pdf>

[5] Bohm, David, 1952, "A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of 'Hidden' Variables, I and II", *Physical Review*, 85(2): 166–193.
<https://doi.org/10.1103/PhysRev.85.166>

[6] GuiLu Long et al, Realistic interpretation of quantum mechanics and encounter-delayed-choice experiment, *Science China Physics, Mechanics & Astronomy* (2017).

[7] Rober Dabin, *De Broglie-Bohm Theory: A Hidden Variables Approach to Quantum Mechanics* (2009)