

# BANGOS-DALELĖS DUALIZMO REPREZENTAVIMAS POPULIARIOSIOSE MOKSLINIŲ SĄVOKŲ VIZUALIZACIJOSE

*Miglė Anušauskaitė*

VILNIAUS UNIVERSITETAS

Tujų g. 7-43, LT-05116 Vilnius

migle.anusauskaite@gmail.com

Straipsnyje kalbama apie dvi populiarias jusliškai tiesiogiai nepatiriamų reiškinių reprezentacijas – atomo modelį ir Higgso bozono atradimo vizualizaciją. Skirtingos vizualizacijos ne tik adekvačiau ar mažiau adekvačiai pristato konkretų reiškinį, bet ir kuria tam tikrą pasaulio vaizdą. Straipsnyje keliamas klausimas, ar / kaip populiariosiose fizikinių reiškinių vizualizacijose atsispindi bangos-dalelės dualizmas bei kokį pasaulio vaizdą jos pristato. Vizualizacijos analizuojamos plastinės semiotikos metodu.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI: mokslinės vizualizacijos, atomas, Bohro modelis, Higgso bozonas, bangos-dalelės dualizmas, plastinė semiotika.

Vizualizacijos vaidina svarbų vaidmenį aiškinant ir suvokiant mokslines idėjas. Edukacinis vaizdinio informacijos pateikimo potencialas, lyginant su tekstinu, yra aptartas tiek kalbant apie mokslinį diskursą<sup>1</sup>, tiek pedagoginiame kontekste<sup>2</sup>. Vis dėlto paprastai vizualizacijos negali atspindėti *visų* vaizduojamo reiškinio aspektų. Taigi mokslinių sąvokų vizualizacijos

pasižymi selektyvumu, kai vieni reiškinio aspektai atspindimi, o kiti – praleidžiami. Straipsnyje daroma prielaida, kad skirtingos vizualizacijos ne tik adekvačiau ar mažiau adekvačiai pristato konkretų reiškinį, bet ir kuria tam tikrą pasaulio vaizdą. Kai kurie iš tų vaizdų geriau įsitvirtina populiariojoje kultūroje, o kiti į ją prasiskverbia sunkiau.

Jei moksliniuose straipsniuose bei vadovėliuose sąlyginai lengviau sukontroliuoti vaizdų interpretacijas (pvz., šalia pateikiant jų paaiškinimus), tai populiariojoje kultūroje vizualizacijos dažnai tiesiog atitrūksta nuo teksto ir ima funkcionuoti kaip savarankiški simboliai (pvz., Bohro atomo modelis) arba tipinės tam tikrų temų iliustracijos (Higgso bozono vizualizacija). Straipsnyje daroma prielaida, kad dėl to nedingsta jų

1 Zachary Irvingas pažymi universalių ir partikuliarių kognityvinių gebėjimų svarbą suvokiant mokslines vizualizacijas ir teigia, kad pateikiant vizualizaciją reikėtų atsižvelgti į auditorijos kognityvinius gebėjimus.

2 Albertas Burtonas kalba apie mokytojo vaidmenį, padedant „skaityti“ mokslines vizualizacijas: mokytojas turėtų pabrėžti, kad modelis nėra tiksli objekto reprezentacija, jis tik parodo kai kurias reiškinio konstrukcijos ypatybes. Burtono nuomone, vizualizacija vertinga edukaciniu požiūriu, kai joje pateikiami keli jau žinomi reiškinio aspektai ir vienas arba keletas naujų.

semantinis krūvis ir vizualizacijos, netgi būdamos sąlyginai savarankiškos populiariojoje kultūroje, nepranda semantinės įkrovos.

Straipsnyje keliamas klausimas, ar / kaip populiariosiose fizikinių reiškinių vizualizacijose atsispindi bangos-dalelės dualizmas bei kokį pasaulio vaizdą jos pristato. Kadangi populiariosios vizualizacijos paprastai pasirodo be jas aiškinančio teksto, jas analizuoti pasirinktas plastinės semiotikos metodas, kuris leidžia kalbėti apie vaizdo elementų savybes bei išsidėstymą, iš pradžių suspenduojant referentišką jų pobūdį. Jei klasikinė semiotika tiria turinio formą, tai plastinė semiotika kreipia dėmesį į išraiškos formą ir kelia klausimus apie tai, kaip elementarūs požymiai (linijos, spalvos, plotai, ritmas ir kt.) kuria ir perteikia prasmę<sup>3</sup>. Vis dėlto prieš analizuojant bangos-dalelės dualizmo reprezentavimą, paranku būtų pristatyti pačią sąvoką, šiuolaikinėje fizikoje<sup>4</sup> naudojamas prielaidas, akcentuojant jų skirtumą nuo klasikinio pasaulėvaizdžio.

## 1. BANGOS-DALELĖS DUALIZMAS

Pristatyti bangos ir dalelės dualizmo sąvoką bus pasitelkiami pavyzdžiai ir aiškinimai iš įvairių šaltinių. Nors kai kurie iš jų kvantinės fizikos vystymosi požiūriu yra gana seni (pvz., Richardo Feynmano paskaitos buvo skaitytos 1963 m.), juose pateikiami sąvokų aiškinimai vis dar aktualūs, o senesnių šaltinių palyginimas su naujesniais padės išvengti vienpusiško ar neaktualaus bangos-dalelės dualizmo reprezentavimo.

3 Plastinė semiotika – viena iš Algirdo Juliaus Greimo semiotikos šakų, kurią vėliau išplėtojo Jeanas Marie Flochas, tapęs pagrindiniu jos atstovu. Daugiau informacijos apie plastinę semiotiką galima rasti A. J. Greimo straipsnyje „Figūratyvinė semiotika ir plastinė semiotika“ (*Baltos lankos*, Vilnius: Baltos lankos, Nr. 23, 2006, p. 71–98) ir J. M. Flocho knygoje *Petites mythologies de l'oeil et de l'esprit: Pour une sémiotique plastique* (Paris-Amsterdam: Editions Hades-Benjamins, 1985).

4 Straipsnyje bus remiamasi standartiniame modelyje numatytais reiškinių savybėmis. Laikoma, kad standartinio modelio skirtumai nuo kitų modelių (pvz., nuo stygų teorijų) nėra reikšmingi analizės rezultatams.

### 1.1. Bangos elgiasi kaip dalelės

Lauko sąvoką patogų pradėti pristatyti nuo elektromagnetinio lauko, o pastarąjį suvokti gali padėti R. Feynmano paskaitose pateikta analogija<sup>5</sup>. Joje kviečiama įsivaizduoti baseine plūduriuojantį kamštį. Jei netoli pirmojo kamščio įmerksime antrąjį ir jį pajudinsime, sujudintas vanduo privers susiūbuoti ir pirmąjį kamštį. Dabar įsivaizduokime, kad vanduo mums nematomas. Tuomet atrodytų, kad antrasis kamštis priverstų judėti pirmąjį. Bet iš tiesų tiesioginio sąlyčio tarp kamščių nebuvo: antrasis kamštis pajudino vandenį, o vanduo – pirmąjį kamštį.

Elektromagnetinėse sąveikose panašų į vandens vaidmenį atlieka elektromagnetinis laukas. Taigi jei kaž kurios elementariosios dalelės turi krūvį ir dėl to krūvio sąveikauja tarpusavyje (teigiamo krūvio dalelės ir neigiamo krūvio dalelės traukia vienos kitas ir pan.), šitai padaryti joms leidžia buvimas elektromagnetiniame lauke. Esama dalelių, kurios su lauku nesąveikauja – panašiai kaip sunkus akmuo, gulintis baseino dugne, nebus paveiktas vandenyje keliamų bangų.

Bet čia analogija ir pasibaigia, nes tas pačias elektromagnetinio lauko bangas tam tikrais atvejais galime stebėti kaip diskretiškas daleles – *fotonus*. Tai nėra nedidelė paties lauko sritis, „gabalėlis“ (kaip, pvz., ledo kubelį galėtume laikyti baseino vandens dalele) – tai pati banga, tik pasireiškia (arba yra aprašomi) kitokie jos parametrai – būdingi dalelei. Korpuskulinės elektromagnetinių bangų prigimties hipotezę Albertas Einšteinas pateikė jau 1905 metais. Nors hipotezė netrukus buvo pripažinta kaip geriausiai paaiškinanti tam tikrus efektus, galutinai fotonų egzistavimas įrodytas tik 1977 m., kai techninės sąlygos leido įvykdyti eksperimentą, kurio rezultatų neįmanoma paaiškinti bangų veikimu. Vadinasi, negalima brėžti aiškios skirties tarp *bangų* elektromagnetiniame (ar kitokiame) lauke ir diskretiškų to lauko elementų – dalelių.

5 Richard P. Feynman, *Six Easy Pieces*, New York: Basic Books, 2011, p. 31.

Standartinis modelis numato, kad visos keturios fundamentaliosios sąveikos – gravitacija, elektromagnetinė, stiprioji ir silpnoji sąveikos – atspindi tam tikrus *laukus* (kaip baseino vandenį) ir diskretiškus tų laukų elementus – daleles. Taigi kiekvieną iš sąveikų galima aprašyti ir kaip elementų veikimą tam tikrame lauke (elektronas ir protonas traukia vienas kitą, nes abu yra veikiami elektromagnetinio lauko), ir kaip apsikeitimą to lauko dalelėmis (elektronas ir protonas traukia vienas kitą, nes apsikeičia fotonu). Tiesa, kartais tos dalelės yra *virtualios*, tačiau šis klausimas bus plačiau aptartas kalbant apie Higgso bozono reprezentacijas.

### 1.2. Dalelės elgiasi kaip bangos

Prieš tai aptariau reiškinių, kurie anksčiau buvo laikyti bangomis, korpuskulinį aspektą, o dabar trumpai pristatysiu reiškinių, anksčiau laikytų korpuskuliniais, bangos aspekto atradimą.

Kanoninis bangos-dalelės dualizmą atskleidžiantis pavyzdys – Youngo dvigubo plyšio eksperimentas, kuriame elektronų šaltinis (išspinduliuojantis po vieną elektroną vienu metu) pastatomas priešais plokštelę su dviem plyšiais. Už plokštelės esantis detektorius nustato, į kurią vietą pataikė kuris elektronas. Atlikus eksperimentą paaiškėjo, kad elektronų „smūgių“ išsidėstymas detektoriuje lygiai toks, kaip interferuojančių bangų. Kitaip tariant, atrodo, kad nors iš šaltinio elektronai išėjo kaip diskretiškos dalelės, plyšius perėjo tarsi bangos (vienas elektronas praėjo pro abu plyšius vienu metu ir patyrė interferenciją pats su savimi). Šis ir kiti panašūs eksperimentai parodo, kad kalbant apie kvantinius objektus kai kurios klasikinės mechanikos sąvokos, tokios kaip *kelias*, netenka prasmės. Beprasmiška klausti, per kurį plyšį praėjo konkretus elektronas, nes jei jis būtų praėjęs per konkretų plyšį, detektorius nefiksuotų interferencijos.

Ar tai reiškia, kad informacija apie konkretaus elektrono kelią mums apskritai yra neprieinama?

Ne: eksperimentą galima modifikuoti taip, kad būtų įmanoma atsekti, per kurį plyšį praėjo elektronas, bet tuomet interferencija išnyks. Toks „stebėtojo dalyvavimo“ poveikis skambės mistiškai, jei užmiršime, kad nemedijuotas kvantinių reiškinių stebėjimas negalimas. Kvantiniai reiškiniai yra susisieję su savo aplinka, taigi ir su mūsų naudojamais stebėjimo aparatais. Galėtume įsivaizduoti situaciją, kur norėtume nustatyti krepšinio kamuolio trajektoriją, bet vieninteliai būdai tai padaryti būtų: arba pataikyti į jį su kitu kamuoliu, arba pastatyti tinklą – abu šie būdai, nors ir suteiktų šiokios tokios informacijos apie tai, kaip juda kamuolys, pakeistų esamą kamuolio trajektoriją. Tačiau krepšinio kamuolys vis tiek judės kažkokia trajektorija, nepriklausomai nuo to, ar ją išmatuosime, o apie kvantinius objektus negalime pasakyti to paties. Jei kvantinis objektas gali būti vienoje iš dviejų vietų (pvz., šalia vieno arba šalia kito plyšio), išmatavę jį ir rasime vienoje iš tų vietų, bet būtų neteisinga sakyti, kad jis ten buvo ir prieš išmatuojant.

Wernerio Heisenbergo nelygybės išreiškia dar vieną kvantinių objektų savybę: jų vietos matavimai neduoda tikslaus rezultato, todėl patikimiausi rezultatai apie kvantinio objekto buvimo vietą yra gaunami išmatavus ją daug kartų ir sudarius tikimybinį modelį. Toks „neuztikrintumas“ atsiranda ne dėl mūsų matavimo aparatų netobulumo, o dėl to, kad tikimybinė prigimtis yra būdinga kvantiniams objektams. Tai nereiškia mažesnio kvantinių objektų „realumo“ laipsnio, lyginant su klasikiniais, – tiesiog jų buvimo būdas kitoks, nei prastas makropasaulyje.

### 1.3. Kvantinės fizikos interpretacijos kognityvinis požiūris

Taigi kvantinius objektus galima aprašyti ir kaip bangas, ir kaip daleles, o jų buvimo būdas yra toks, kokio nesutinkame makropasaulyje. Be to, tikimybinė kvantinių objektų prigimtis neleidžia jiems taikyti priežastinių klasikinės mechanikos modelių.

R. Feynmanas 1963 m. tame įžvelgė tam tikrą pesimistinį barjerą moksliniame gamtos pažinimo kelyje:

Vadinasi, fizika tam tikra prasme visiškai atmetė uždavinį, jei apskritai toks uždavinys pradžioje buvo iškilęs (visiems atrodė, kad buvo!), – surinkti pakankamai duomenų, kad, žinant aplinkybes, būtų galima atspėti, kas po to įvyks. <...> gamtos dėsniai yra tikimybiniai visai ne dėl to, kad nepažįstame vidinio mechanizmo, elektronų šaltinio vidinio sudėtingumo. Matyt, tai yra kažkokia neatskiriama gamtos savybė.<sup>6</sup>

Šiuolaikinėse kvantinės fizikos interpretacijose kvantinių reiškinių prigimtis priimama ne kaip barjeras, o kaip klasikinės mechanikos modelių ribotumo įrodymas. Michelis Le Bellacas Wernerio Heisenbergo nelygbes vadina ne mūsų žinojimo apribojimu, o „kliūtėmis, kurias reikia turėti omenyje, jei kvantinės fizikos dėsnių valdomoms situacijoms bandome taikyti tokias klasikines sąvokas kaip *pozicija* ir *judesio kiekio momentas*“<sup>7</sup>.

Kvantinės fizikos keliamus iššūkius jos objektams įsivaizduoti galėtume susumuoti šitaip:

- reiškiniai, kuriuos anksčiau laikėme bangomis, elgiasi ir kaip dalelės;
- reiškiniai, kuriuos laikėme dalelėmis (t. y. mažomis didelių materialiu objektų replikomis), elgiasi ir kaip bangos;
- beprasmiška kvantiniams objektams taikyti kai kurias klasikinės mechanikos sąvokas (tokias kaip *trajektorija*, *vieta* ir pan.): jiems aprašyti labiau tinka tikimybinis modelis;
- nepaisant skirtumo nuo reiškinių, su kuriais susiduriame kasdieniame gyvenime, kvantiniai objektai nėra mažiau „realūs“ ar labiau

besipriešinantys pažinimui: tiesiog jų buvimo būdas ne toks, prie kokio esame įpratę.

Vadinasi, kvantinių objektų pažinimas ir supratimas reikalauja tam tikro paradigminio posūkio mąstyme. Toliau straipsnyje bus aptartos dvi populiaros fizikos reiškinių vizualizacijos, kartu trumpai paminint kelias galimas alternatyvas. Vizualizacijos bus analizuojamos plastinės semiotikos metodu, kreipiant dėmesį į tai, ar / kaip jose atsispindi bangos-dalelės dualizmas ir kokį pasaulio vaizdą jos sudaro.

## 2. ATOMO MODELIS

Jei seksime atomo modelio vystymąsi, pastebėsime, kad kiekvienas jų yra susijęs su konkrečiu atradimu: mažų neigiamo krūvio dalelių egzistavimas, elektronų išsidėstymas orbitalėmis aplink branduolį, bangos-dalelės dualizmas, tikimybinė kvantinių reiškinių prigimtis... Vis dėlto žymiausias ir populiariausias atomo modelis, kuris veikia kaip pagrindinė atomo reprezentacija tiek ikonografijoje, tiek mokykliniuose vadovėliuose, yra stilizuotas Bohro modelio variantas [1 il.], išgrynintas daugiau kaip prieš šimtą metų. Plastinės semiotikos priemonėmis nagrinėjant Bohro modelį bus bandoma išskirti jo savybes, lemiančias populiarumą. Analizuojamo modelio savybės bus lyginamos ir su kitais, naujesniais atomo modeliais – de Broglie'io [2 il.] ir Schrödingerio [3 il.].

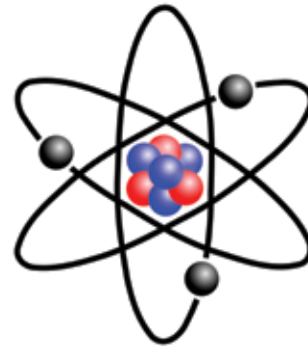
### 2.1. Atomo modelio vystymasis nuo 1911 m.

Jau iki Bohro modelio atradimo buvo žinoma, kad atomas susideda iš teigiamo ir neigiamo krūvio dalelių. 1911 m. atlikęs eksperimentus su  $\alpha$  dalelėmis (helio branduoliais) Ernestas Rutherfordas įsitikino, kad teigiamas krūvis yra susitelkęs mažoje atomo dalyje (branduolyje), o neigiamo krūvio elektronai skrieja aplink jį. 1913 m. Nielsas Bohras pasiūlė papildyti šį modelį elektronų orbitalėmis – mat jis įrodė, kad

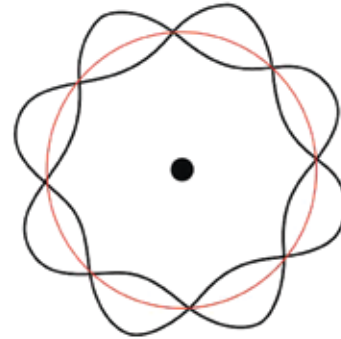
6 Richard P. Feynman, *Apie fizikos dėsnius*, Vilnius: Mintis, 1974, p. 138–139.

7 Michel Le Bellac, *The Quantum World*, Singapore: World Scientific Publishing, 2014, p. 69.

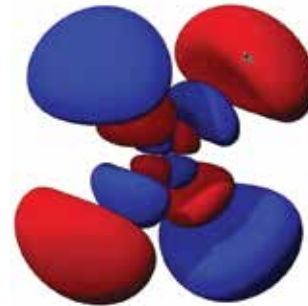
elektronai aplink branduolį yra išsidėstę „sluoksniais“. Peršokdami iš arčiau branduolio esančios orbitalės į toliau esančią elektronai suvartoja energiją, o peršokdami arčiau branduolio – atiduoda. Tai ir yra mums labiausiai pažįstamas atomo modelis, reprezentuojantis šią dalelę tiek logotipuose, tiek mokykliniuose vadovėliuose.



1924 m. Louisas de Broglie'is pasiūlė hipotezę, kad bangų savybių turi ne tik fotonai: visos materiją sudarančios dalelės elgiasi ir kaip dalelės, ir kaip bangos. Bangos aspektą elektronų elgesyje jau aptarėme. Šitai buvo išradingai pritaikyta atomo modelyje – de Broglie'io modelyje judėdami aplink branduolį elektronai elgiasi ne kaip maži skraidantys rutuliukai, o kaip aplink branduolį išsidėsčiusios bangos (bangą čia reikėtų įsivaizduoti kaip vibruojančią gitaros stygą, kurios galai yra sujungti). Orbitalių bangos nepersikloja.



Kalbėdami apie bangos-dalelės dualizmą taip pat trumpai pristatėme tikimybinę kvantinių reiškinių prigimtį: jei objektas gali būti vienoje iš kelių vietų, išmatavę jį ir rasime vienoje iš jų, bet tai nereiškia, kad jis ten buvo ir prieš matuojant. Tačiau tai lygiai taip pat nereiškia, kad kvantinis objektas gali būti absoliučiai bet kur – pavyzdžiui, konkretaus atomo elektronus su didesne ar mažesne tikimybe rasime tam tikruose regionuose aplink branduolį. Šie tikimybiniai elektronų „debesėliai“ vadinami orbitalėmis ir atsispindi Ervino Schrödingerio modelyje, sukurtame 1927 metais. Modelis naudojamas iki šiol, tik, žinoma, įvairių atomų (anglies, helio molekulių ir t. t.) modeliai atrodys kiek skirtingai.



Galime pastebėti, kad kiekvienas iš šių modelių koncentruojasi į konkretų atradimą ir nepateikia *visko*, kas šiuo metu žinoma (ar spekuliuojama) apie atomo sandarą. Nė viename iš jų neatsispindi *kvarkų* egzistavimas, kurie, pagal standartinį modelį, yra neutronų ir protonų sudedamosios dalys, taip pat modeliuose neatvaizduotos branduolines sąveikas pernešančios dalelės – *gliuonai* (vėl pagal standartinį modelį) ir kt. Gali būti, kad geresnis branduolį sudarančių elementų pažinimas (atitinkamai – branduolio sudėtingumo

1. Bohro atomo modelis, in: [periodictableofelements.wikia.com](http://periodictableofelements.wikia.com)  
Bohr's atomic model, in: [periodictableofelements.wikia.com](http://periodictableofelements.wikia.com)
2. De Broglie'io atomo modelis, in: [imgkid.com](http://imgkid.com)  
De Broglie's atomic model, in: [imgkid.com](http://imgkid.com)
3. Schrödingerio atomo modelis, in: [curiosity.com](http://curiosity.com)  
Schrödinger's atomic model, in: [curiosity.com](http://curiosity.com)

suvokimas) lėmė beveik visišką branduolio išnykimą de Broglie'io ir Schrödingerio modeliuose: negalint tinkamai atvaizduoti sistemos sudėtingumo, pasirinktas vieno jos elemento – elektronų – atspindėjimas.

## 2.2. Bohro modelio plastinė analizė

Analizėje iš eilės aptariamos modelio topologinės kategorijos (pagrįstos elementų išsidėstymu), tada – eidetinės (formų) ir chromatinės (spalvų) kategorijos. Toliau išskiriamos plastinių bruožų opozicijos ir keliamas klausimas apie Bohro modelio plastinių bruožų skirtumą nuo vėlesnių modelių.

Pirmiausia išskirkime topologines kategorijas. Žiūrėdami į Bohro modelį matome kompoziciją, kurios išsidėstymas pagrįstas centro ir periferijos priešprieša. Bohro atomo modelyje centras sudarytas iš didesnio kiekio objektų negu periferija, todėl jis atrodo /svaresnis/, /patvaresnis/. Visi centre esantys objektai yra panašūs, tačiau skirtingų spalvų. Periferija yra sudaryta iš dviejų objektų tipų – linijų ir apvalių objektų. Periferija, palyginti su centru, yra /mažiau stabili/, /judresnė/. Reizentacija pasižymi trečios eilės (trispindule) sukimo simetrija, nors ir neidealio – vienas iš raudonų rutuliukų persikloja tik su vienu, o ne su dviem mėlynais rutuliukais.

Pasirinktas Bohro atomo modelio variantas gali turėti kiek skirtingas spalvas negu kiti to paties modelio variantai, bet skirtingų spalvų priskyrimo skirtinoms atomo sudedamosioms dalims principas paprastai išlieka. Analizuojamas modelis turi tris spalvas: centre esantys objektai yra raudoni arba mėlyni (konkrečiau – trys raudoni, keturi mėlyni), o periferijoje esantys objektai ir linijos yra vienos spalvos – juodi. Toks chromatinis pasirinkimas padeda parodyti, kad apvalūs objektai, kurių forma vienoda, iš tiesų yra trijų rūšių. Linijoms palikta tokia pat spalva, kaip ir periferijoje esančių objektų.

Plastinius Bohro modelio bruožus galime suskirstyti į tokias opozicijas:

- centras vs periferija;
- tūriai vs linijos;
- polichromatika vs monochromatika.

Šiuos plastinius bruožus galima priskirti prie „centro“ ir „periferijos“ kategorijų: „centras“ (tūriai, polichromatinis) vs „periferija“ (linijos ir tūriai, monochromatinė).

Atkreipkime dėmesį į tai, kaip chromatinės kategorijos derinamos su eidetinėmis. Centre esantys tūriški objektai yra dviejų spalvų: mėlynos ir raudonos. Taip parodoma, kad nors objektų forma tokia pati, jie yra skirtingi. Periferijoje esantys tūriški objektai ir linijos savo spalva skiriasi nuo centre esančių – tai rodo, kad jie yra kitokie negu esantys centre. Tačiau linijų ir periferijoje esančių tūriškų objektų spalva yra ta pati – juoda. Jei skirtingų spalvų parinkimas apvaliems objektams leido parodyti, kad jie yra skirtingi, tai linijoms priskirti dar vienos spalvos nebuvo būtina – tarsi *ir taip aišku*, kad linijos yra kitokios prigimties negu apvalūs objektai.

Kalbėdami apie atomo modelio vystymąsi aptarėme signifikantą, todėl galime susieti plastinius bruožus su atomo, kurį siekiama reprezentuoti, bruožais. Kadangi tuo metu padaryti atradimai leido manyti, kad atomas sudarytas iš trijų rūšių materijos dalelių, kurių viena rūšis juda aplink kitas, galime pagrįstai sieti vizualinės reprezentacijos tūriškus objektus su materija, o linijas – su judesiu. Tuomet Bohro modelį galėtume apibūdinti kaip sudarytą iš dviejų dalių: centras (stabilumas, materija) vs periferija (judesys, materija).

Kaip jau minėta, centre objektų yra daugiau, jie susispaudę į krūvą, dėl to susidaro /stabilumo/ įspūdis. Tačiau stabilumas nėra objektas – jis yra centre esančios *materijos savybė*. Lygiai taip ir /judesys/, nors reprezentuojamas linijomis, egzistuoja tik kaip *savybė* periferijoje esančių objektų.

Kitaip tariant, Bohro modelis mums rodo *judrią sistemą*, sudarytą iš trijų rūšių tūriškų apvalių objektų. Nematome, kad sistema judėtų kitų objektų atžvilgiu: jos judėjimas yra vidinis. Linijos rodo judesį, tačiau

judesys nėra reprezentuojamos sistemos sudedamoji dalis. Sistema sudaryta iš objektų, kurie elgiasi tam tikru būdu, o linijos tik leidžia mums sekti objektų trajektorijas: t. y. sistemą laikome judria dėl to, kad joje juda objektai, o ne dėl to, kad joje *egzistuoja judesys*. Objektų judėjimo ir judesio egzistavimo skirtumas labiau išryškėja lyginant Bohro modelį su de Broglie'io.

Bohro modelis implikuoja, kad linija (judesys) ir tūriškas objektas (dalelė) yra iš esmės skirtingi ir neįmanoma jų supainioti, o de Broglie'io modelyje linijos užima tūriškų objektų vietą. Taigi de Broglie'io modelis mums pateikia sistemos vaizdą, kuris priverčia kvestionuoti vieną iš intuityvių suvokimų apie pasaulį – jog judesys ir objektas yra iš esmės skirtingi. Schrödingerio modelis yra tūriškas, dėl to atrodo labiau statiškas negu du aptartieji, bet tai nereiškia, kad grįžtama prie materijos reprezentavimo – Schrödingerio modelyje judesį pakeičia tikimybės. Su tikimybinio modeliu statistiniam žiūrovui dar sunkiau susitaikyti negu su judesio ontologinio statuso pasikeitimu, mat kasdieniame pasaulyje neturime atitikmens tokio buvimo būdo, kurį demonstruoja elementariosios dalelės. Taigi galime pastebėti, kad Bohro modelio plastiniai bruožai remiasi klasikiniu pasaulio suvokimu, paremtu tiek kasdieninės patirties stebėjimais, tiek klasikine mechanika – jame nekvestionuojamos mūsų kasdienės nuojautos apie materijos ir judesio prigimtį – lygiai taip pat Bohro modelyje neatsispiria bangos-dalelės dualizmas.

### 2.3. Bohro modelio konotacijos

Atomo modelyje vargiai būtų galima išskirti figūratyvinį lygmenį – nors galima sakyti, kad modelis vaizduoja natūralaus pasaulio objektus (elementariąsias daleles), šie objektai nėra jusliškai suvokiami. Bohro modelio keliamos konotacijos taip pat susijusios ne su jusliškai suvokiamais objektais, bet su kitomis reprezentacijomis arba simboliais.

Aplink sąlygiškai stabilų centrą koncentriškai judantys apvalūs objektai iškart verčia pagalvoti apie Saulės

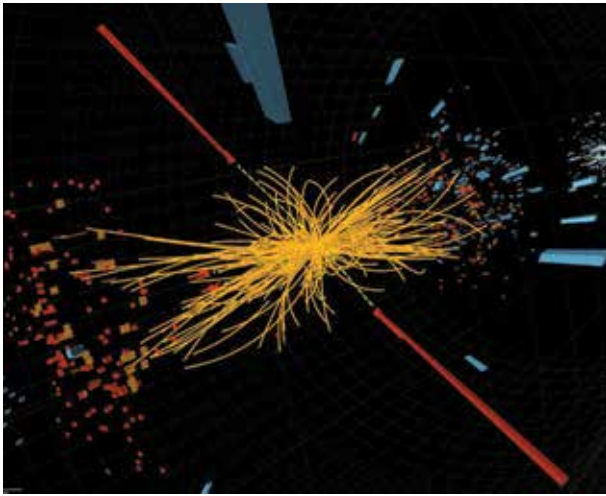
sistemą, kuri mums nėra prieinama tiesioginiu stebėjimu: geriausiu atveju galėtume apie ją sužinoti indukcijos būdu, stebėdami planetų judėjimą, bet paprastai (bent jau šiais laikais) ji mums pristatoma iliustracijos-schemos forma. Žinios apie Saulės sistemą panašios į žinias apie atomą tuo, kad abi šios sistemos pristatomos kaip natūralaus pasaulio reiškiniai, tiesiogiai susiję su mumis, tačiau jusliškai tiesiogiai nepatiriami. Mikrosistemų ir makrosistemų (tariamas) panašumas sukuria atpažįstamumo jausmą. Žmogaus santykį su abiem sistemomis būtų galima apibūdinti tokia schema:

Mikrosistema (atomas) → žmogus → makrosistema (Saulės sistema).

Įsitikinimas, kad abi jos yra panašios, ne tik sukuria simetrijos, harmonijos įspūdį, bet ir pastato žmogų į Visatos centrą. Nors žinios apie Saulės sistemą ir atomą nėra prieinamos tiesioginiu stebėjimu, tam tikru metu jos kėlė iššūkių antropocentristinei pozicijai. Atomistinis redukcionizmas rodo, kad žmogus yra sudarytas ne iš ypatingos (ar ypatingomis proporcijomis pasiskirsčiusios) substancijos, o iš tokių pačių elementų kaip ir visa kita. Saulės sistema yra tokia didelė, kad jos net negalime aprėpti žvilgsniu, be to, Žemėje net neužima centrinės pozicijos. Tačiau tariamas šių sistemų panašumas vėl leidžia pastatyti žmogų į vidurį, kur jis gali jaustis unikalus, tarsi „globojamas“ reiškinų, kurių tiesiogiai patirti negali.

Tiek vizualinė Bohro atomo dinamika, tiek informacija apie signifikatą – elementariąsias daleles (protonus, neutronus, elektronus) – leidžia susieti šį atomo modelį su kinų *in* ir *jang* simboliumi. Plastinėje plotmėje *in* ir *jang* simbolis panašus į Bohro modelį apskritimo forma, dinamiškumu, dviejų skirtingų spalvų apvalių objektų buvimu. Tačiau svarbesni panašumai išryškėja keliant klausimą, ką simbolizuoja *in* ir *jang*. Ši sąvoka apibrėžiama kaip „kinų mąstyme senovinė dviejų lygių, bet priešingų jėgų, *in* ir *jang*, kurios sudaro tikrovės pagrindą, sąvoka“<sup>8</sup>. Kadangi Bohro modelyje

8 Kevin Burns, *Rytų filosofija*, Vilnius: Margi raštai, 2009.



4. Populiari Higgso bozono vizualizacija. Vaizdas iš dalelių greitintuvo: dalelių susidūrimas, kurio metu susikūrė du didelės energijos fotonai (raudonos linijos) ir kitos dalelės (geltonos linijos), in: <http://cms.web.cern.ch/news/cms-search-standard-model-higgs-boson-lhc-data-2010-and-2011>

Popular visualization of the Higgs boson by CERN. Image from the hadron collider depicts a collision of particles, in which two high-energy photons (red paths) and other particles (yellow paths) are created, in: <http://cms.web.cern.ch/news/cms-search-standard-model-higgs-boson-lhc-data-2010-and-2011>

atome esama dviejų skirtingų krūvių dalelių (elektronų ir protonų), kurių krūvių suma lygi 0, panašumas su *in* ir *jang* simboliu verčia tikėti, kad pasaulis yra sudarytas iš harmoningų sistemų.

Nors tarp *in* ir *jang* simbolio ir atomo modelio esama skirtumų tiek išraiškos (pvz., *in* ir *jang* neturi centro–periferijos kategorijos), tiek turinio (pvz., *in* ir *jang* g nerasime neutralios kategorijos – neutrono – atitikmens) plotmėmis, juos galima sieti „priešybių vienybės“ pagrindu. Vis dėlto atomo modelio siejimas su simboliu, kuriam priskirtinos „tamsos–šviesos“, „vyriškumo–moteriškumo“, „racionalumo–intuicijos“ kategorijos, yra neadekvatus ir gali būti netgi ydingas: moralinių verčių priskyrimas vertybiškai neutraliems objektams skatina nepagrįstą teigiamą arba neigiamą nusistatymą tų objektų atžvilgiu.

### 3. HIGGSO BOZONAS

Tai, kad mūsų pasaulio sudedamosios dalelės nėra tiesiog mažesnės masyvių kasdienio pasaulio objektų versijos, atrodo neintuityvu. Vis dėlto dalelių ir kvantinėje fizikoje besispecializuojantys mokslininkai tiek teoriškai, tiek praktiškai dirba su šiais „nenormaliais“ objektais. Neretai eksperimentų ar atradimų kontekstas reikalauja komunikacijos su plačiąja visuomene, ypač tada, kai eksperimentas yra itin sudėtingas ir brangus. Žymiausias pastarojo meto įvykis, kai neintuityvūs kvantinės fizikos konceptai buvo itin plačiai komunicuojami visuomenei – Higgso bozono atradimas.

#### 3.1. Higgso bozono atradimas ir samprata

Populiariųjų mokslinių vizualizacijų aspektu atvejis įdomus tuo, kad nors buvo kalbama apie dalelę, absoliuti dauguma naujienų ar mokslo populiarinimo straipsnių nenaudojo iliustracijų, kur Higgso bozonas būtų atvaizduotas kaip aiškus, materialus objektas (plg. Bohro atomo modelį). Naujienų straipsniuose naudojama Higgso bozono vizualizacija [4 il.] buvo vienas iš vaizdų, gautų didžiuoju hadronų priešpriešinių srautų greitintuvu arba šiek tiek supaprastinta jo meninė interpretacija. Jokie nesutarimai tarp mokslinės bendruomenės ir žiniasklaidos dėl Higgso bozono vaizdavimo plačiau nenuskambėjo – skirtingai negu, pavyzdžiui, žiniasklaidos referavimas į Higgso bozoną kaip į „Dievo dalelę“, kuriam nepritarė mokslininkai<sup>9</sup>. Toks žiniasklaidos ir mokslinės bendruomenės sutarimas leidžia daryti prielaidą, kad tai buvo tam tikras „kompromisas“, kitaip sakant, atitiko populiariųjų straipsnių iliustracijai keliamus reikalavimus tuo pat metu nesudarydamas klaidingo įspūdžio apie atspindimą objektą.

9 Ian Sample, „Anything but the God Particle“, in: *theguardian.com*, [interaktyvus], 2009 05 29, [žiūrėta 2015-04-30], <http://www.theguardian.com/science/blog/2009/may/29/why-call-it-the-god-particle-higgs-boson-cern-lhc>.



Pristatydami bangos-dalelės dualizmo sampratą kalbėjome apie elektromagnetinį *lauką*, kuris leidžia vyksti sąveikoms tarp krūvį turinčių dalelių. Standartiniame modelyje šias sąveikas galima aprašyti ir kaip apsikeitimą diskretiškomis to lauko dalelėmis. Šios *virtualiosios* dalelės egzistuoja labai trumpą laiką, šitaip nepažeisdamos energijos išsilaikymo dėsnio. Kai kurias jų galima rasti ir „laisvas“, pavyzdžiui, fotonus. O kitos egzistuoja tik sąveikose, pavyzdžiui, gliuonai, ir apie jų egzistavimą galima spręsti tik iš antrinių reiškinių.

Higgso laukas (tiksliau, keturi kvantiniai Higgso laukai) buvo standartinio modelio hipotezė, kuri paaiškintų, kaip silpnąją sąveiką pernešančios dalelės įgyja masę. Laikoma, kad trys iš keturių Higgso laukų yra absorbuojami silpnąsias sąveikas pernešančių dalelių, o ketvirtasis pats pasirodo kaip dalelė – žymusis Higgso bozonas. Jo atradimas 2012 m. buvo pagrįstas duomenų rinkimu ir analize: numačius, kokiomis sąlygomis Higgso bozonas turėtų pasirodyti ir į kokias daleles suskilti, tokios sąlygos didžiajame hadronų priešpriešinių srautų greitintuve buvo sukuriamos daugybę kartų. Kitaip sakant, dalelė nebuvo tiesiogiai stebima – jos egzistavimas patvirtintas surinkus ir išanalizavus duomenis apie kitas pasirodančias daleles.

### 3.2. Higgso bozono vizualizacijos plastinė analizė

Analizėje bus aptariamoms topologinėms, eidetinėms ir chromatinėms kategorijoms, keliant klausimą apie vaizduojamų objektų statusą bangos-dalelės dualizmo požiūriu.

Vizualizacijoje objektai išdėstyti keleto topologinių kategorijų pagrindu:

- arti–toli,
- kairė–dešinė,
- centras–periferija.

„Arti–toli“ ir „kairė–dešinė“ kategorijos padaro vaizdą erdvišką. Nors vaizduojami objektai nėra nei tiesiogiai patiriami, nei atpažįstami, erdviškumo

(kuris ypač aiškiai kuriamas kategorija „arti–toli“) įtraukimas sukuria *realumo* išpūdį. Kaip jau minėjome, Higgso bozono atradimas buvo pagrįstas ne kokybiniu atradimu, kurį galima būtų palyginti su rodymu į objektą: „Štai jis!“, o kiekybine duomenų analize (kasmet buvo surinkta nuo keliolikos iki keliasdešimt petabaitų duomenų). Tačiau šios vizualizacijos erdviškumas sudaro realaus, vienetinio įvykio išpūdį.

„Kairės–dešinės“ kategorija artikuliuota dviem įstrižainėmis. Viena kyla iš kairės į dešinę, ji yra nuožulnesnė, palei šią įstrižainę išsidėstę dauguma objektų. Kita įstrižainė leidžiasi iš kairės į dešinę, ji yra statesnė, palei ją išsidėstę nedaug objektų.

„Centro–periferijos“ kategorija pasireiškia keturiais „sluoksniais“: centrinis taškas → su juo besiliečiančios geltonos linijos → kiti objektai → baltų linijų „tinklelis“.

Vizualizacijoje matomus objektus pagal eidetinius ir chromatinius bruožus bei topologinį išsidėstymą galima skirstyti į keturias grupes: 1) geltonos kreivos linijos, besiliečiančios su centru; 2) raudoni pailgi objektai kartu su geltonomis punktyrinėmis linijomis, išsidėstę palei statesnę įstrižainę; 3) mėlyni, raudoni ir geltoni stačiakampio gretasienio formos objektai, išsidėstę periferijoje; 4) baltų linijų „tinklelis“. Visi vizualizacijoje matomi tįsūs objektai, išskyrus „tinklelį“, yra orientuoti palei ašis, jungiančias juos su centru.

Norint įvertinti baltų linijų „tinklelio“ funkciją, pirmiausia reikėtų atsiriboti nuo figūratyvinės interpretacijos ir pažvelgti į jo santykį su vizualizacijos erdve bei kitais joje esančiais objektais. Pastebėsime, kad „tinklelis“ čia atlieka dvi funkcijas:

- 1) suprantant vizualizaciją kaip plokščią paviršių, galima sakyti, kad „tinklelis“ skaido erdvę;
- 2) priimant kategorijų „arti–toli“ ir „kairė–dešinė“ sudaromą erdviškumo išpūdį, galima sakyti, kad „tinklelis“ talpina, apsupa kitus objektus.

„Tinklelio“ atliekamas erdvės skaidymas čia atrodo ne visai fizinis: baltos linijos neperkerta kitų objektų,

net eidamos skersai jų, neužtemdo jų spalvų ar savybių. Objektai nėra tolygiai paskirstyti į „tinklelio“ langelius: nemažai objektų patenka ne į vieną, o į kelis langelius. Kita vertus, „tinklelis“ tarsi suteikia referencijos sistemą, pagal kurią galime nustatyti, kur yra objektai. Taigi erdvės skaidymas čia nėra fiziškas, materialus dalijimas, o greičiau analitiškas nuorodų sistemos suteikimas.

Priimant vizualizacijoje siūlomą erdviškumo išpūdį, galima pastebėti, kad į „tinklelį“ ne tik galima žiūrėti per kategorijas „arti–toli“, „kairė–dešinė“, bet kad jis dar labiau pratęsia ir akcentuoja minėtas kategorijas. Tarpai tarp baltų linijų, lenktų į dešinę, yra didesni negu tarp linijų, lenktų į kairę. Į kairę lenktos linijos, esančios arčiau kairiojo krašto, yra tiesesnės, o arčiau dešiniojo krašto – labiau lenktos. Šitai sudaromas cilindrinės gaubiamosios erdvės išpūdis. Cilindrinę gaubiamąją erdvę visgi neišsitiesia toliau vietos, kur yra susitelkę daugiausia objektų (toliau dešinėje matome dar vieną šviesiai mėlynų objektų sankaupą, kuri nepatenka į „tinklelio“ gaubiamąją erdvę).

Taigi „tinklelio“ kuriama erdvė yra analitiška (skaidanti, suteikianti referencijos galimybę), izoliuojanti (savyje išlaiko daugumą objektų) ir atskirta nuo dalies objektų, kuriuos dėl jų nuotolio, dydžio ir nepatekimo į „tinklelio“ gaubiamąją erdvę galima laikyti mažiau svarbiais.

Privalome pastebėti, kad šioje vizualizacijoje nėra visai aišku, ar vaizduojama materija, ar judesys (t. y. nėra tokios aiškios skirties kaip Bohro modelyje). Geltonos linijos panašios į trajektorijas, tačiau *kieno* tai yra trajektorijos, pavaizduota nėra. Stačiakampiai objektai tarsi primintų tūriškus objektus, bet vienareikšmiškai jų kaip materijos interpretacijai trukdo raudoni pailgi objektai: savo forma ir išsidėstymu jie tarsi užima *tarpinę* padėtį tarp geltonų linijų centre (jie taip pat yra tįsūs, be to, punktyrinės linijos juos jungia su centru) ir stačiakampių objektų periferijoje (panaši forma, šešėlio kuriamas erdviškumo išpūdis). Vizualizacijoje vaizduojamų objektų ontologinis statusas pasidaro ambivalentiškas: kai kurie jų primena trimačius objektus, tačiau jų panašumas į raudonąją įstrižainę, o šios – į

centrines linijas, tarsi išjudina opoziciją tarp materijos ir judesio.

Vizualizacijoje matomi objektai sudaro dinamiškos ir ne visai tvarkingos sistemos išpūdį. Pirmiausia, ką galime pastebėti, kad numanomas objektų judesys atrodo kryptingas – stačiakampiai objektai atrodo judantys „tinklelio“ apribota erdve, tačiau skirtingomis kryptimis: vieni – į kairę, kiti – į dešinę. Atsiribojant nuo figūratyvinio lygmens sunku nustatyti, kurie juda link centro, o kurie – nuo centro, tačiau išlieka išpūdis, kad objektai į kairę nuo centro juda priešinga kryptimi negu objektai į dešinę nuo centro. Stačiakampių objektų judėjimas, palyginus su kitais analizėje išskirtais objektais, atrodo tvarkingiausias: dauguma jų juda išilgai „tinklelio“ sukurtos erdvės. Kas kita geltonos kreivos linijos: jos kuria dar ryškesnį judesio išpūdį, tačiau jų judėjimas gerokai netvarkingesnis. Ilgiausios iš jų taip pat yra ištįsusios išilgai „tinklelio“ sukurtos erdvės, tačiau kitos, trumpesnės, sklinda į visas puses. Netvarkingas linijų sklidimas iš vieno bendro centro primena sprogimą ir verčia tiek geltonų linijų, tiek stačiakampių objektų judesį interpretuoti kaip išcentrinį. Jei priskirsime judesį ir raudoniems pailgiems objektams, tuomet jų judėjimas, lyginant su kitomis aptartomis judesio rūšimis, bus kiek kitos krypties, bet ryškesnis, tiesesnis, energingesnis. Aptarti objektai, net ir judėdami, neišeina toliau „tinklelio“ ribų. Taigi matoma sistema atrodo dinamiška, šiek tiek chaotiška, primenanti sprogimą. Kita vertus, tai, kad sistema telpa į „tinklelio“ erdvę, rodo, kad šis chaotiškas „įvykis“ yra suvaldytas. Jei prisiminsime „tinklelio“ keliamas analitiškumo konotacijas ir susiesime jas su geltonomis punktyrinėmis linijomis šalia raudonų pailgų objektų, galėsime padaryti išvadą, kad sistema yra ne tik suvaldyta, bet ir stebima bei tyrinėjama.

Susiejus turimus pastebėjimus su informacija apie reikšmingą – stačiakampiai gretasieniai vaizduoja skirtingas detektorių sistemos erdvines dalis, kuriose buvo užregistruoti protonų susidūrimo metu susikūrusių fotonų ir kitų dalelių srautai – pastebėjimai,

gauti atlikus plastinę analizę, pasitvirtina. Vizualizacijoje matoma sistema dinamiška (atitinka ir pastebėjimas apie elementų judėjimą į skirtingas puses tarsi po sprogo), bet suvaldyta ir tiriama.

Taigi binarinės opozicijos šioje vizualizacijoje nėra kategoriškos: pavyzdžiui, kategorija *arti–toli* išreiškta gana švelniai, t. y. vaizdas tik vos vos pasuktas. Tai, kad abiejose pusėse egzistuoja identiški ar beveik identiški elementai (plg. Bohro atomo modelį, kur kategorija centras–periferija išreiškta akivaizdžiai skirtingomis objektų konfigūracijomis). Kategorija *centras–periferija* išreiškta trim dėmenimis, kurių vienas yra ambivalentiškas. Maža to, opozicija tarp *tūrių* ir *linijų* negriežta, nes medijuojama objektų, išsidėsčiusių palei statesniąją įstrižainę. Toks ambivalentiškumo įtraukimas labiau atspindi mums neįprastą kvantinių objektų prigimtį, t. y. galimybę pasirodyti ir bangos, ir dalelės pavidalu.

Vizualizacijos erdviškumas sukuria vienkartinio realaus įvykio įspūdį – įvykio, kuris yra chaotiškas, potencialiai netgi pavojingas (jei atsižvelgsime, kad panašus į sproginą), bet suvaldytas, stebimas ir analizuojamas. Kita vertus, įvykio vienkartiškumo akcentavimas užtemdo *statistinį* atradimo pobūdį.

## IŠVADOS

Moksliniai atradimai ir teorijos gali būti vertinamos ne tik dėl naujų žinių apie pasaulį, bet ir dėl to, kad suteikia iššūkių mūsų mąstymui ir pasaulio suvokimui. Vienas tokių iššūkių – bangos-dalelės dualizmas, išjudinantis tradicinį supratimą apie medžiagą. Kitas pavyzdys – tikimybinės kvantinių reiškinių prigimties samprata.

Vis dėlto naujų mąstymo schemų atžvilgiu populiarioji kultūra yra palyginti inertiška. Dominuojanti atomo vizualizacija iki šiol yra stilizuotas Bohro modelis, kuriame materija ir judesys yra aiškiai atskirti (materija – objektas, judesys – objekto savybė). Galimos šio modelio populiarumo priežastys yra intuityvių prielaidų apie pasaulį nekvestionavimas, palyginti paprasta binarinė sandara (nors modelyje atvaizduotas

ir neutronas, plastinėje elementų organizacijoje jis neužima jokios tarpinės pozicijos), konotacijų gausa (panašumas į Saulės sistemos modelį ir į *in* ir *jang* ženklą). Tai nereiškia, kad modelis neteisingas, tačiau atomo savybės, kurias jis reprezentuoja, nekelia jokių iššūkių klasikiniam pasaulėvaizdžiui ir neatspindi nei bangos-dalelės dualizmo, nei tikimybinės kvantinių reiškinių prigimties.

Kita vertus, neteisinga būtų sakyti, kad pasaulio suvokimo pokyčiai populiariosiose vizualizacijose visiškai nevyksta. Higgso bozono vizualizacija pateikia jau sudėtingesnę pasaulio vaizdą. Čia atsiskleidžiantis pasaulėvaizdis jau susideda ne iš judančių medžiagos gabaliukų, o iš objektų, kurių statusas dichotomijos „medžiaga–judesys“ atžvilgiu ne visai aiškus. Vizualizacijoje elementų grupavimas binarinių kategorijų atžvilgiu nėra griežtas: kategorijos „arti–toli“, „kairė–dešinė“, „centras–periferija“, „tūris–linija“ yra arba išreikštos švelniai, arba užimtos tokių pačių konfigūracijų, arba yra medijuojamos ambivalentiškų objektų. Taigi galime sakyti, kad šioje vizualizacijoje jau galime pastebėti bangos-dalelės dualizmo reprezentaciją.

Nors bangos-dalelės dualizmas jau prasiskverbia į populiariausias mokslines vizualizacijas, to dar negalime pasakyti apie tikimybinę ar statistinę reiškinių prigimtį. Panašiai kaip tikimybinis Schrödingerio atomo modelis, nors daugeliu aspektų tikslesnis už Bohro modelį, neištvirtino populiariojoje kultūroje dėl to, kad prieštarauja intuityviam pasaulio suvokimui, taip ir populiarioji Higgso bozono vizualizacija rodo ne tikimybinį pasaulio vaizdą, o tokį, kuris labiau suprantamas ir priimtinas. Analizuota Higgso bozono vizualizacija kuria vienietinio atradimo-įvykio įspūdį, kuris atsiranda dėl trimatiškumo ir *erdviškumo*. Tačiau jei laikysime, kad populiariųjų vizualizacijų kitimas koreliuoja su visuomenės mąstymo schemų kitimu (nors ir vėluojančiu mokslinių atradimų atžvilgiu), galime tikėtis ateityje rasti ir vizualizacijų, atspindinčių tikimybinę reiškinių prigimtį.

Gauta 2015 04 30

## LITERATŪRA

- Burns Kevin, *Rytų filosofija*, Vilnius: Margi raštai, 2009.
- Burton Albert Jr., "Purple marbles and little red hula hoops", in: *The Reading Teacher*, Vol. 24, Nr. 7, 1971, p. 647–651.
- Feynman Richard P., *Apie fizikos dėsnius*, Vilnius: Mintis, 1974.
- Feynman Richard P., *Six Easy Pieces*, New York: Basic Books, 2011.
- Irving Zachary C., "Style, but Substance: an Epistemology of Visual versus Numerical Representation in Scientific practice", in: *Philosophy of Science*, 78 (December 2011), p. 774–787.
- Le Bellac Michel, *The Quantum World*, Singapore: World Scientific Publishing, 2014.
- Marion Jerry B., *Fizika ir fizikinis pasaulis 2*, Vilnius: Mokslas, 1981.
- Pipinys Povilas, *Kvarkai ir leptonai*, Vilnius: Valgra 2002.
- Riordan Michael, Tonelli Guido; Wu Sau Lan, "The Higgs at Last", in: *Scientific American*, 307 (October 2012), p. 66–73.
- Sample Ian, "Anything but the God Particle", in: *theguardian.com*, [interaktyvus], 2009 05 29, [žiūrėta 2015-04-30], <http://www.theguardian.com/science/blog/2009/may/29/why-call-it-the-god-particle-higgs-boson-cern-lhc>.

## REPRESENTATION OF WAVE-PARTICLE DUALITY IN POPULAR VISUALIZATIONS OF SCIENTIFIC CONCEPTS

*Miglė Anušauskaitė*

### SUMMARY

KEYWORDS: scientific visualizations, atom, Bohr's atomic model, Higgs boson, wave-particle duality, plastic semiotics.

The article discusses the popular representations of two phenomena that are beyond our direct sensory experience: the atomic model and the visualization of the Higgs boson. It is assumed that different scientific visualizations not only selectively depict different relevant features of certain phenomena, but also present certain worldviews. The aim of this article is to find out whether and how wave-particle duality is represented in popular scientific visualizations, as well as to learn what kind of worldview they establish. The article begins with a short introduction to the concept of wave-particle duality. It is shown that wave-particle duality is mostly not about the ability of objects to change their states, but about the difference between quantum phenomena and classical phenomena, and the difficulties one faces when trying to describe the former using the properties of the latter. Bohr's atomic model and one of the most popular visualizations of the Higgs boson are analyzed using the method of plastic semiotics. The results of the analysis might be summarized as follows: Bohr's atomic model is built on the classical and dichotomous worldview; therefore, it lacks the representation of wave-particle duality. Meanwhile, the visualization of the Higgs boson represents a more complicated worldview with less strict oppositions and wave-particle duality. It allows us to notice that a shift in conceptual paradigms, first existing in science, makes its way into popular culture as well. However, the analyzed visualizations lack the representation of probabilistic and statistical nature of phenomena and discoveries.