

Василије Бојанић

# Појам и Принцип Симетрије у Физици и Систему Научног Знања

## Увод

Старајући се да дознамо законитости научног знања, хватамо се у коштац са неким незаобилазним теоријским појмовима који због своје општости продиру у најразличитије области савремене науке. Како то обично бива, схватање појма симетрије (који поменутој класи свакако припада) мењало се кроз историјске епохе. Но, за разлику од чисто научних појмова који су саздани да задовољавају одређену слику света, а услед њене модификације су се мењали по садржају и обиму, «стара» симетрија<sup>1</sup> није проистекла из научног погледа, а са «данашњом» је повезана врло апстрактним нитима које, уосталом, и омогућавају да их назовемо истим именом.<sup>2</sup>

Термини «симетрија» и «хармонија» често се употребљавају као синоними приликом изражавања лепоте уопште; оба у свом првобитном смислу проистичу из питагорејске школе унутар лоје се родила филозофска идеја: свет је број и склад. Историја појма нам даље каже да је дошло до поделе у вези са уметничким опажањем света и стварањем система научног знања. У вези са тим, различите примене симетрије доводе до формирања два нивоа садржаја појма: визуелно-посматрачког и апстрактно-теоријског. Што се тиче прве равни, опажамо је као спољашњи склад, понекад и као понављајућу правилност. Античка архитектонска здања могу послужити као пример. Са уметничке стране, говорећи о симетрији, обично се указује на пропорционалност узајамних односа делова, њихову уравнотеженост, сагласје које доводи до образовања постојане целине. Са другим нивоом је везан цео предмет овог рада, па овде о томе више неће бити речи.

У тежњи да се одреди садржај појма, а при спровођењу тога од стране појединца, долазимо до следеће тешкоће: располажемо са два различита типа знања – колективним и индивидуалним. Овај рад би требало да представља покушај осветљавања главног дела садржаја (а и обима) комплексног појма, а као дело јединке нужно је различит од колективног схватања, али не без претензија да га бар делимично достигне. Наводиће се мишљења различитих аутора, али због тога, надам се, целина неће бити унутрашње неконзистентна.

У првом поглављу разматраће се садржај појма симетрије, проблеми терминологије на које ни наука није имуна, затим класификације које је погодно користити у узајамној вези са другим објектима, али и које откривају зависност не тако очигледних особина од обухватајућег типа. Део обима појма биће откривен у наставку (ту су из практичних разлога поменути само поједини случајеви значајни за физику, али ће се и други појављивати на местима са за

<sup>1</sup> Грчки: симетрија = самерљивост, пропорционалност

<sup>2</sup> Фајнман с тим у вези каже: «Лако је разумети како неки предмет може бити симетричан, али како може физички закон имати симетрију?... Физичари уживају да користе обичне речи за нешто друго. У овом случају они имају неки осећај о физичким законима који је врло близак осећају симетрије предмета, и они то називају симетријом закона.» (3, стр. 85. Бројеви означавају извор из списка литературе који се налази на крају рада.)

то погодним контекстом). Из прозачног света идеја и апстрактних термина ка конкретној физичкој слици прелази се преко великих закона одржања. Ова, а и друге везе принципа симетрије са физичком реалношћу, открива дубље и општије аспекте од чисто појавних, дозвољавајући (оправдано или не) да се потражи улога поменутог принципа у филозофији науке. Последње поглавље чини одређен скок у односу на претходна у том смислу што се прелази са појавног и теоријског нивоа на метатеоријски ниво. Због тога је тај део удаљенији, композиционо лабавије везан него што је то случај са првих пет. Сврха његовог уношења је да истакне да је симетрија принцип везан не само за појединачне научне области, тако раздвојене, рекли бисмо, већ ту везу задржава и при «вертикалном» прелазу на ступањ људског знања. Да ли ће даља екстраполација бити оправдана, остаје нам само да нагађамо.

### Појам, терминологија, типови

Често се термини «симетрија» и «инваријантност» користе као синоними, на крају крајева и у физичкој литератури, где они означавају «својство неизменљивости у односу на једну или више операција» (5, стр.59). Значи, објекат је симетричан ако над њим извршимо нешто тако да он изгледа исти као и раније (притом се објекат сматра врло широким појмом – као објекат мишљења). Инваријантност (симетрија) је на снази увек у односу са строго одређеним операцијама. Оне се називају операцијама или трансформацијама симетрије. С тим у вези, синонимија термина одсуствује – оне се називају баш «операцијама симетрије» а не «операцијама инваријантности». Целокупност операција истог типа (нпр. транслација у простору, ротација, рефлексива) формира групу одређене симетрије датог објекта, који представља инваријант те групе. Зато је математика симетријских трансформација позната као теорија група.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Групе трансформација које делују непрекидно попут ротације у обичном простору носе назив Лијеове групе (по Софусу Лијеу који их је открио). Све могуће континуалне групе биле су комплетно класификоване од стране Картана. Таква група која се састоји од ротација објекта у три димензије позната је као  $SO(3)$ . Она вледи физиком момента импулса и спина. Генерално,  $SO(N)$  је симетрија реалне  $N$ -димензионе сфере, а  $SU(N)$  комплексне. Сферна симетрија је од стране математичара названа  $O(3)$ , а цилиндрична  $O(2)$ . Све операције инваријантности које можемо применити над цилиндром можемо и над сфером, док обрнуто не важи. Зато је  $O(2)$  подгрупа  $O(3)$ . Математички прецизније, линеарне трансформације које пресликавају  $(x, y) \rightarrow (x', y')$  тако да нпр.  $x^2 + y^2 = 1$  и  $x'^2 + y'^2 = 1$ . Група симетрије  $O(2)$  у најпростијој форми задовољавала би  $x' = x \cos \theta + y \sin \theta$  и  $y' = x \sin \theta - y \cos \theta$ . Слично је за сферу  $x^2 + y^2 + z^2 = 1$  и  $O(3)$ . Други начин представљања  $O(2)$  је помоћу комплексних бројева: поменуте ротације свеле би се на  $z = (x, y) \rightarrow z' = (x', y') = e^{i\theta} z$ . Група ротација на комплексним бројевима је једнодимензиона унитарна група  $U(1)$  (значајна у физици због тзв. калибрационе инваријантности), па су  $O(2)$  и  $U(1)$  еквивалентне као што се дводимензионални вектор  $(x, y)$  представља комплексним  $z$ .

Реч је о тзв. унитарним (ортогоналним) операторима који остављају скаларни производ исти, а тиме и норму вектора. Њихов скуп у унитарном простору  $U$  чини групу у односу на операцију узастопног деловања. Означава се са  $U(N)$  и зове унитарна група, а подгрупа је опште линеарне  $GL(n, \mathbb{C})$ , чији су елементи несингуларни (1-1) оператори. Потпуно аналогно, у реалном случају скуп ортогоналних оператора је ортогонална група  $O(N)$ , где је  $N$  димензија простора. У ортонормираним базисима репрезентовани су ортогоналним матрицама, са

У самом појму симетрије садржане су представе очувања и измене при чему се први аспект приписује објекту, који остаје исти при трансформацијама које оличавају момент промене. Логичка анализа појма открива у његовој основи такве компоненте као што су идентичност и различитост. Као резултат операције добија се објекат у другачијем стању. Говоримо о објекту  $A$  (пре) и  $\rho A$  (након трансформације). Словом  $\rho$  означена је операција извршена над  $A$ , а разликовање ам је потребно ради њиховог упоређења. Новодобијени објекат  $\rho A$  се у одређеном односу показује еквивалентан претходном. Појам еквивалентности представља поистивећење различитог. Оличење тога је садржано и у симетрији (инваријантности)

Неки аутори називају инваријантном само једну од компоненти симетрије – фактор очувања, непроменљивости. Тада се симетрија обично одређује као јединство инваријантности и одговарајуће трансформације. Објекат је симетричан ако остаје инваријантан након примењене трансформације. Херман Вејл у делу «Симетрија» («Symmetry») каже: «Симетрија је инваријантност објекта или система у односу на скуп трансформација.» У том случају разлика у односу на претходно наведено тумачење носи у целини терминолошки карактер. Други аутори инсистирају на суштинском разликовању појмова. Нпр. принципи инваријантности одражавају опште својство простора, а не тела у њему. Особине симетрије тела могу бити неуниверзалне и нарушавати се, док општи принципи инваријантности остају чврсти и вредни у микро и макро свету. И тако је могуће одредити смисао термина, не базирајући се на егзистенцију модела тако одређених појмова, али се тада поставља питање сврсисходности таквог начина (наравно, ни изједначавањем појмова нисмо на великом добитку). Не говорећи о томе да би устаљени изрази као нпр. «СРТ инваријантност» морали бити протерани, усмеравање пажње на ненарушивост општих принципа инваријантности, строго везаних за простор, уздиже карактер простора у некакав апсолут. Зато ћемо се одсад придржавати схватања симетрије и инваријантности као два по садржају иста појма.

Занимљиво је још размотрити узајамни однос термина «очување» и «инваријантност». Што се тиче чисто физичког поимања, против њиховог олаког поистовећења аргументи ће бити изнети у наставку. Овде се може указати на то да се нпр. под очувањем обично схвата непроменљивост у времену, док инваријантност има шири смисао непроменљивости у односу на трансформације произвољног типа. Такође, може се обратити пажња на то да, говорећи о инваријантности, непосредно имамо у виду математички апарат физичке теорије, а очување карактерише физичке величине, имајући строго

---

детерминантама вредности  $+1$  или  $-1$ . Они са  $+1$  називају се специјалне или сопствене ортогоналне трансформације и чине специјалну ортогоналну групу  $SO(N)$ . Ортогонални оператори за које је детерминанта  $-1$  су несопствене ортогоналне трансформације и не чине групу.

Постоје три бесконачне категорије једноставних Лијеових група. Једну такву чине ротационе групе у једној, две или три димензије. Друга и трећа категорија донекле наликују на трансформације ротације, а познате су као унитарне и симплектичке категорије. Осим тога, има и пет изузетних група које не припадају поменутиим категоријама.

изражен онтолошки призвук.<sup>4</sup> У ствари, када видимо да систем задовољава некакав закон одржања, интуитивно мислимо притом на неку особину асоцирану с тим системом, која располаже супстанцијалним својством очувања своје величине током времена.

Значајном карактеристиком појма симетрије у савременој физици појављује се њен потпуно апстрактни карактер. У прилог томе иде и то да је средишња тачка садржаја појма симетрије не симетрична ствар, већ трансформација (операција) симетрије.<sup>5</sup> Њен смисао се открива на довољно «неочигледном» математичком језику, а како овај последњи у физици нема апсолутни самостални значај, већ је увек везан за одређену физичку интерпретацију, то је у трансформационим својствима математичких величина у односу на операције симетрије шифрован веома широк физички садржај.<sup>6</sup> Запажање поводом тумачења трансформације може бити исказано на следећи начин: «У првој или активној интерпретацији само стање се разматра измењеним као последица трансформација; она описује промену коју је стање претрпело као резултат те трансформације. У другој, пасивној, стање се сматра непромењеним, али се начин описа мења као резултат промене тачке гледишта.» (5, стр. 60) Тако у активном случају трансформација делује на систем, па се тим самим мења опис у фиксираним референтном оквиру, док пасивни разматра промену тог оквира.

Самим инваријантностима владају принципи симетрије. Како пише Вигнер, они нам «...морају дозвољавати да утврђујемо нове корелације међу појавама на основу већ установљених. Баш то они и чине. Ако знамо да догађаји  $A, B, C$ ...повлаче догађај  $X$ , онда ће и  $A', B', C'$ ...повлачити  $X'$  ако они са добијају из првих дејством неке трансформације симетрије .» (2, стр. 50) Овако изражен принцип симетрије носи методолошку тежину. Не обраћајући пажњу на то да с логичког становишта принципи инваријантности говоре о корелацијама другог реда (метакорелацијама тј. корелацијама међу корелацијама), они се сматрају онтолошки фундаменталнијим јер омогућавају постојаност веза фиксираних у законима природе. Изводи се закључак да сличне просторно-временске инваријантности могу бити на снази у вези са законима<sup>7</sup>, али не у равни догађаја<sup>8</sup>. Следи да принципи инваријантности постулирају еквивалентност координатних система само у одређеном смислу, у равни закона природе. Што се тиче почетних услова, (случајних, али важних за одвијање појава) њихова различитост је у системима координата неопходна за

<sup>4</sup> Инваријантна може бити и «сува» математичка структура код које време не мора да се појављује као параметар; с друге стране, навикли смо да под очувањем с матрамо непроменљивост неког физичког аспекта система у времену.

<sup>5</sup> При интуитивном схватању главну улогу игра симетрични објекат (инваријант), и при визуелном опажању ми их тако разврставамо, у свакодневном животу кажемо: «Предмет је симетричан или асиметричан» при томе не размишљајући какву смо операцију користили да то утврдимо.

<sup>6</sup> Нешто слично бисмо могли напоменути и поводом различитих интерпретација квантне механике, с тим што однос математика – физика замењује однос физичка слика – филозофска интерпретација.

<sup>7</sup> Закон се овде појављује у облику:  $A, B, C$ ... повлаче  $X$ .

<sup>8</sup> Ако бисмо знали да се догађаји одвијају исто у свакој тачки простора и времена, «законски» принципи какве данас познајемо били би сувишни. Довољно би нам било да знамо да се појаве исто дешавају, па да нам закони који се њима баве буду исти било где и било кад.

разликовање тих система и за само постојање принципа инваријантности. Но, не постоји неко општеприхваћено одређење тог принципа и могу се разликовати два правца: 1) у општем случају, правилни су само такви који постулирају еквивалентност система референце и могу да буду не само математички него и физички реализујући (нпр. обртање координатног система); 2) не захтевају реалну изводивост трансформација и допуштају све математички могуће операције које остављају физичке законе инваријантним, а јављају се у релативно простом облику. За поборнике овог другог тумачења једноставност је довољна да их сматрају универзално тачним. Овај рад неће строго пратити ниједан од поменутих правца, већ ће се прибећи (колико је то могуће) унији поимања принципа симетрије без израженог критеријума једноставности.

С тим у вези, Вигнер предлаже поделу принципа инваријантности на динамичке и геометријске. За геометријске важи општа карактеристика: они формирају структуру закона природе. Специфичност им се састоји у формулисању у терминима појава, па тако су непосредно везани за посматрање и утврђују еквивалентност експерименталних резултата у односу на несуштинске особине догађаја. «Постоје три категорије таквих трансформација симетрије:

- а) Еуклидове – појаве  $A \ B \dots X$  јављају се у различитим тачкама простора, али се налазе у истом међусобном односу као и  $A, B, \dots, X$ , па се и одигравају исто;
- б) померања у времену – догађаји  $A \ B \dots X$  дешавају се у различитим временским тренуцима, али су међусобно раздвојени истим интервалима као и  $A, B, \dots, X$  па се дешавају на исти начин;
- в) равномерно праволинијско кретање – у координатном систему који се тако креће догађаји  $A \ B \dots X$  понашају се као и  $A, B, \dots, X$  у мирујућем систему.» (2, стр. 50)

Одговарајуће трансформације интерпретирају се пасивно: не мењају догађаје већ само њихове спољашње (просторно-временске) карактеристике, па захваљујући томе носе универзални карактер (за све законе и интеракције).<sup>9</sup>

Динамички принципи су одређени у појмовима закона природе и односе се према одређеним типовима интеракције. Немогуће их је формулисати у терминима појава, услед чега сваки тип дејства располаже својом сопственом симетријом и сходно томе овај тип не носи универзални карактер. Геометријске инваријантности утврђују еквивалентност исхода при почетним условима који

<sup>9</sup> Што се тиче геометријских принципа, вреди поменути да они зависе од тога како је спроведена граница између закона и почетних услова. Рецимо да не знамо други Њутнов закон, али нам је познат његов извод по времену ( $r^{oo}$ ) и ми сматрамо да је  $r, r^o, r^{oo}$  минималан скуп почетних услова који одређују кретање материјалне тачке. Како се «наш» закон добија из Њутновог диференцирањем по времену, он је инваријантан у односу на прелаз међу референтним системима који се међусобно релативно крећу са константним убрзањем  $r=r+at^2$  ( $a$  - произвољан вектор). Такав принцип неће довести до исправних физичких последица: ако су  $r, r^o, r^{oo}$  који задовољавају Њутнов закон могући за реализацију, то трансформације почетних услова  $r=r, r^o=r, r^{oo}=r^{oo}+2a$ , не могу бити реализоване.

се разликују само по томе што су ротационо, транслаторно временски другачије постављени, без обзира на законитости међу појавама. Динамички, с друге стране, играју улогу само у оквирима некаквих одређених типова закона природе, успостављајући еквивалентност догађаја у односу на те закономерне аспекте који су различити у зависности од типа узајамног дејства и «унутрашњих својстава» догађаја (за разлику од спољашњих антецедентних услова).<sup>10</sup> То има одраза и у терминологији: прве симетрије некад се називају унутрашњим, друге спољашњим. «Подела» на геометријске и динамичке принципе не представља то, строго логички гледано. Пре је то опис група симетрије са особинама за које сматра да иду заједно. Аргумент за ово је постојање тзв. «cross» симетрије која не зависи од конкретног типа интеракције и носи универзалан карактер, што се приписује геометријским принципима, док њене трансформације мењају догађаје, што је особина динамичких. О њој ће више речи бити касније.

Понекад се геометријске симетрије тумаче на ширем плану. Њима се придружују не само трансформације везане за обично простор-време, већ и операције у апстрактним просторима који дозвољавају да се неким симетријама, обично схватаним као унутрашње, припише геометријско порекло.<sup>11</sup>

Занимљиво је да поменути типови симетрије (у коначном резултату) успостављају еквивалентност, уопштено, различитих по особинама процеса у односу на њихово експериментално испољавање. Тако они иступају као ограничења на наше експериментално знање (као да се поље теоријског знања шири на рачун експерименталног). Пример за то је принцип релативности који утврђује немогућност емпиријског разликовања мировања и равномерног праволинијског кретања који се, без обзира на њихово «очигледно» неподударане, показују физички еквивалентним.

Вајнбергова типологија је у већој мери езотерична и сврстава симетрије на алгебарске – реализоване линеарним истоврсним трансформацијама и динамичке, које су везане са неједнородним трансформацијама, физички реализованим немасивним честицама нултог спина. Примери за прве су Лоренц-инваријантност и независност нуклеарних сила од наелектрисања, а за друге инваријантности опште теорије релативности (ОТР) и локалне калибрационе инваријантности. Алгебарске се јављају кроз законе одржања, а друге ограничавају динамику могућих интеракција, као нпр. помоћу принципа еквиваленције у теорији гравитације.

<sup>10</sup> Као пример може послужити градијентна инваријантност векторског потенцијала  $\mathbf{A}$  у електромагнетизму. Како је мерљива величина  $\mathbf{B} = \text{rot } \mathbf{A}$  (док само  $\mathbf{A}$  не можемо посматрати), потенцијал је неодређен до на градијент произвољне функције и он игра улогу «унутрашњег својства», а поменутом променом физичка слика остане иста.

<sup>11</sup> Веза различитих типова инваријантности на једном месту може да се још боље види на следећем примеру. Код комбиноване симетрије СТР (Т и Р припадају геометријским, С динамичким) неопходна је Лоренц-инваријантност (тачније, она следи из њих и неких додатних услова). На тај начин једна тачна геометријска симетрија одређује формалну везу између С и ТР.

Значајна подела у односу на операције симетрије разврстава инваријантности на континуалне и дискретне. Прве можемо изводити у произвољним јединицама – инфинитезимално малим (ротација координатног система око производне осе), а друге само у одређеним коначним јединицама (рефлексија – присутна је или не, не постоји половина рефлексије). Занимљиве су и важне последице везане за разграничење ова два типа, па ће о њима више речи бити касније.

### **Инваријантност у физичкој теорији**

Услед невероватне сложености окружујућег нас света, људски разум (сада и бар у блиској будућности), није у стању да га у целини схвати. Због тога човек користи познат приступ – настоји да одстрани све оно што се чини неважним и на тај начин одвоји област коју може описати простим законитостима. Могућност апстраховања закона из хаотичног скупа појава око нас заснива се бар на два становишта. Као прво, ту је одвајање невеликог скупа почетних услова, који садрже суштинске, али и случајне податке о нама интересантној појави. Нпр. при слободном паду тела у вакууму може се занемарити све осим положаја и брзине тела у неком тренутку, а његово понашање ће бити исто независно од температуре, осветљености итд. Други, али не и мање важан став је да апсолутне просторно-временске координате у неком референтном систему никад не престављају суштински почетне услове, тј. при осталим истим почетним условима резултат ће бити идентичан без обзира када и где спроводимо експеримент (инваријантност у односу на померање у простору и времену). Последње тврђење носи ограничен карактер и не користимо га на размерама Васељене, но како смо у стању да помену те опите вршимо у скућеном делу простор-времена, ово начело представља добру апроксимацију.

Просторно-временске принципе инваријантности који ће прво бити разматрани можемо хронолошки поделити на два типа: старе, који су нашли своју најпотпунију и вероватно коначну формулацију у оквиру специјалне теорије релативности (СТР) и нове са којима се срећемо у ОТП. Поред наведених трансформација у простору и времену у прве спадају и неважност оријентације и стања равномерног праволинијског кретања. Док први од набројаних носе геометријски карактер<sup>12</sup> и чине се прилично очигледним, то ће овај последњи бити неочеvidан, нарочито за људе којима физика није блиска. Овај принцип је у ужем облику био формулисан од стране Њутна па је сврстан у «стару» групу. (Одбацивање принципа сличности сведочи о томе да старе принципе треба сматрати резултатима опита, а не априорним истинама. Сходно овом принципу, апсолутне размере тела су неважне, ако се својства последњих разматрају у одговарајуће изабраној размери - тј. закони су инваријантни у односу на промену размере, ако се и узајамне везе пропорционално уреде. Постојање атома, елементарног наелектрисања,

---

<sup>12</sup> Овде под геометријским не сматрам Вигнерову поделу, већ математички, не строго физички карактер.

граничне брзине означило је рушење тог принципа.) Поенкаре је први формулама описао старе принципе, а након што их је извео из једначина електродинимике, указао је на својства групе; ону групу која је лежала у њиховој основи назвао је Лоренцовом. Са радовима Ајнштајна дошло је до промене у дотадашњој тенденцији да се принципи инваријантности изводе из закона природе. Како су ти принципи засновани само на емпиријским подацима, постало је природније изводити законе природе и проверавати их помоћу принципа, него обрнуто.

Следећа значајна тачка у историји простор-временских инваријантности је ОТР. Она представља тежњу извођења закона природе путем избора најпростије инваријантне једначине. Осим тога, она се стара да установи границу применљивости старих принципа и да их замени једним, општијим. То ограничење одређено је структуром простора, оличено у променљивој кривини. Пошто је кривина у принципу мерљива, може се установити да прелаз из области са малом у област са великом кривином неће оставити законе непромењеним. Истина, поменута разлика се може приписати присуству некаквих маса у близини вршења експеримента. Тада стари принципи добијају првобитан значај, мада губе општи смисао, јер је поистовећење двеју тачака (у односу на понашање према природним законима) везано са идентичношћу распореда маса око њих, а то је пре изузетак него правило.

Принцип се састоји у томе да се сва дејства преносе помоћу поља која пребацују «поремећај» од тачке до тачке. То феноменолошки значи да догађаји у једном делу простора зависе само од поља у околини тог дела, тј. од мерљивих величина: процеси који се дешавају ван посматране области распростиру свој утицај унутар ње само коначном брзином. Треба подвући да управо формулисан принцип не представља инваријантност у односу на произвољну трансформацију координата, већ принцип одсуства дејства на даљину. Он поседује нека својства карактеристична за принципе инваријантности (између осталог, укључује захтев непроменљивости у односу на све диференцијабилне трансформације координата, а тврди и да се у законима физике и геометрије говори само о локалним мерењима која је могуће описати помоћу диференцијалних једначина).

Што се тиче другог чеда 20. века, квантне механике, сматра се да располажемо једном конзистентном теоријом сагласном са старим представама о просторно-временској симетрији. Приликом интерпретације резултата теорије долази се до проблема мерења (исказаног од стране Хајзенберга и Бора) и посебна пажња се поклања утицају мерења на мерени објекат. Јасно је да таква концепција не одговара обичној формулацији ОТР, јер би се при мерењу кривине простора стварала нова поља по интензитету много јача од мереног. Међутим, због заједничког принципа симетрије и донекле сличног формализма (Лагранж-Хамилтоновог) постоје неке аналогije у улогама инваријантности у класичној и квантној теорији. Као прво, оне одређују неопходне услове које треба да задовољавају све основне једначине.<sup>13</sup> Као друго, ако су основне

---

<sup>13</sup> Ако се нове једначине покажу грубо асиметричним у односу на старе симетрије, по свој прилици нешто не ваља у нашим једначинама.

једначине задате, принципи симетрије било у форми закона одржања, било на други начин, указују значајну помоћ при тражењу решења конкретних проблема. И код класичне и код квантне теорије закони одржања импулса, момента импулса, енергије заснивају се на континуалним симетријама. Основни разлог различитости је у томе што је скуп стања у квантној теорији много шири него у класичној. Поред тога, у првој постоји принцип суперпозиције који одређује структуру скупа стања.

Значајну улогу играју и дискретне симетрије, раније само периферно присутне.<sup>14</sup> Три дискретне симетрије од посебног интереса за физику су: рефлексивност у простору – парност (P), временска инверзија (T) и замена честице и античестице (C). Прва се састоји у тврдњи да су природни закони инваријантни на огледалско обртање нашег система, тј. ако постоји неки систем и понаша се по знамим нам законима и његов «одраз» ће такође постојати и поводити се истим законитостима. Обично се при сличним разматрањима (Фајнман, Ледермен) на макроскопском нивоу изводи закључак да суштинску разлику између левог и десног не можемо наћи (билошко-хемијске аргументе могуће је побити). Ипак, спуштајући се на ниво елементарних честица, уверићемо се у нешто друго. Нпр.  $\pi^-$  мезон распада се на мион  $\mu^-$  и неутрино  $\nu_\mu$ , тј.  $\pi^- \rightarrow \mu^- + \nu_\mu$ . Притом  $\pi^-$  има спин 0, док продукти имају спинове  $\frac{1}{2}$ . Експериментално важан моменат је да се  $\mu$  може успорити и зауставити да би му се измерио спин. Наиме, успоравање и заустављање не утичу на оријентацију спина, тако да је могуће мерење ове вредности. Када је спин оријентисан дуж правца кретања честице, каже се да честица скреће позитивно (helicity +), ако су антипаралелни скреће негативно (helicity -). Значајан закључак је да су скретања за честицу и њену слику у огледалу увек супротна, што је последица истог принципа за одређивање смера представљања обртања, независно да ли је у питању честица или њена слика. Ако је парност добра симетрија закона природе, тада ће се оба скретања појављивати са једнаком вероватноћом. Међутим, резултат је био зачуђујући: скретање  $\nu_\mu$  је увек негативно. Све до 1957. веровало се да је парност тачна симетрија у физици. Питање P одржања било је прво постављено од стране Лија и Јанга 1956. Њихова идеја била је да је поменута симетрија потпуно задовољена у електромагнетним и јаким интеракцијама, али да је слаба игнорише. Следеће године то је утврђено експериментално, па се проширила мисао да различите интеракције могу имати другачије нивое симетрије.

Што се тиче обртања смера времена, поменуо бих само нарушавање у оквиру термодинамике. Последња од набројаних, C симетрија каже да су сви закони природе исти и у антисвету. Опет 1957. показано је да се C нарушава у реакцијама које укључују слаба дејства. Потом се дошло на идеју комбиновања симетрија и добијања нове, тзв. CP. Њеном применом на распад  $\mu$  добила се права слика реакције. Но, срећа је била кратког века и 1964. ова симетрија је експериментално побийена. Међутим, неопходан услов квантне механике је да комбинована симетрија CPT буде тачна. У супротном, вероватноће у квантној

<sup>14</sup> Све могуће континуалне групе су биле комплетно класификоване од стране Картана. Међутим, тек релативно скоро су тако третиране и дискретне. Овај посао је био прилично тежак због постојања  $\zeta$ -функција са око  $8 \cdot 10^{53}$  елемената.

теорији не би служиле сврси, али се поставља питање ако би се СРТ врло мало нарушавала, да ли бисмо ми могли то да приметимо. У последње време у експериментима са  $K8$  мезоном уочило се да се  $T$  мора нарушавати када и  $CP$ , што побуђује наде да ће заједничко нарушавање установити очување СРТ.

Постоје начела симетрије која налажу чак и само постојање свих познатих интеракција. Пример за то је ОТР. Како наводи Вајнберг, разлика у опису физичке слике за посматрача фиксираног на земљи и другог на вашарској вртешци може се приписати ротацији (за покретног посматрача) главнине масе у васиони. Мах се запитао постоји ли некакав начин да то велико привидно кретање материје означимо као узрок настајања центрифугалне силе ( $F_{cf}$ ). Ако би постојао, онда би закони природе откривени на вртешци могли бити исти они из уобичајених лабораторија, разлика би потицала само од различитог окружења које посматрачи виде. Ову замисао Ајнштајн је прихватио и подробно разрадио у ОТР. У тој теорији постоји једно деловање далеких звезда на вртешку које и доводи до појаве центрифугалне силе: то је сила гравитације. Кад она не би постојала, не би била могућа ни ова реинтерпретација  $F_{cf}$ , па би због тога њено постојање омогућавало да начинимо суштинску разлику међу лабораторијама (што смо и чинили до појаве ОТР). Тако симетрија међу различитим референтним оквирима захтева постојање силе гравитације<sup>15</sup>. За разлику од Њутнове гравитације, кружење материје васионе производи поље донекле слично магнетном при кретању наелектрисања («гравитомагнетно поље»).

У основи електрослабе теорије (Вајнберга и Салама) је симетрија која се односи на промену наше тачке гледишта у вези са идентитетом честица. Као што је могуће да честица буде у таквом квантномеханичком стању када није одређено да ли је ту или тамо, могуће је и да доспе у стање када није баш ни електрон ни неутрино, све док не извршимо мерење особине која би о томе одлучила. У електрослабој теорији облик закона се не мења ако електрон или неутрино заменимо њиховим мешовитим стањима. Како и разне друге честице интерагују са поменутиим, потребно је «направити» инваријантност и за друге типове честица:  $u$  и  $d$  кваркове, фотон,  $W$  и  $Z8$ . То је та симетрија која повезује електромагнетне силе које настају разменама фотона са slabим нуклеарним које размењују  $W$  и  $Z8$ . Фотон,  $W$  и  $Z8$  појављују се у електрослабој теорији као пакетићи енергије 4 поља, а ова симетрија захтева баш постојање та 4 поља као код ОТР.

Трећа тачна локална симетрија односи се на квантну хромодинамику. Сила између белог и плавог кварка једнака је сили између црвеног и белог, сила између два плава једнака је оној између два црвена. Закони задржавају исти облик ако се уместо белог, плавог или црвеног кварка стави одговарајуће мешовито стање. То, да на законе не утиче ова трансформација захтева да се у теорију укључи једна породица поља која ће ступати у међудејства са кварковима. Постоји 8 оваквих глюонских поља посредством којих јаке силе «лепе» кваркове један за други да би они остали унутар нпр. протона или неутрона.

<sup>15</sup> које је последица начела дејства на близину ( Вигнер ).

За наведене примере физичких теорија и теорија инваријантности можемо употребити Вигнерово запажање да «...они образују нераздвојну целину...Последњим и најубедљивијим аргументом тврђења може служити квантна електродинамика Швингера: његову теорију је немогуће формулисати не развивши претходно теорију инваријаната одговарајућих величина и израза.» (2, стр. 55) По његовом мишљењу, највећа вредност ове теорије (а могло би се и проширити ван ње, јер досадашње искуство утврђује нашу веру у принципе симетрије) је то што смо ми уверени да, полазећи од почетних услова, који се несутински разликују, и изводећи прорачуне за ове или оне физичке појаве, долазимо до истих резултата.

### **Симетрија и закони одржања**

У онтолошком смислу физичких појава, однос «трансформација – инваријантност» познат је одавно у облику закона одржања појединих величина. Веза између континуалне симетрије и одржања прво је наговештена од стране Клајна и његових ученика у 19. веку, док су се коначна, оштра формулација и доказ појавили 1905. у радовима Еми Нетер. Због горенаведеног, у овом поглављу намеће се коришћење поделе на дискретне и континуалне симетрије, мада ће се из практичних разлога инваријантности сврставати и у геометријске и динамичке.

Као што је раније поменуто, у вигнеровске геометријске принципе спадају оне у односу на транслације и ротације у простору, померања у времену и стање равномерног праволинијског кретања. Све наведене трансформације могу се извести у инфинитезимално малим јединицама, па спадају у континуалне. У вези са тим, поменуте нетер-теореме (не строго формулисане на овом месту) гласе: «За сваку континуалну симетрију закона физике постоји одговарајући закон одржања и обрнуто.» Ово важи само у случају кад математички опис физичког система има варијациону структуру. Тада су једначине кретања тог система једначине Лагранж-Ојлер за неки варијациони задатак и закони одржања долазе као последица инваријантности дејства у односу на континуалне групе трансформација задатих неким принципом симетрије. Ако поменути услов није испуњен, то ће у присуству хомогености времена и изотропности простора одговарајући им закони одржања енергије и момента импулса изостати. Такав пример био је предложен од стране Вигнера у циљу иступања против лакомисленог поистовећивања симетрије и закона одржања. Разматрају се последице најпростијег закона кретања: свако тело остаје у стању мировања ако на њега не делује сила (Аристотел). Једначине кретања имају облик  $m_k \ddot{x}_k = -\partial f / \partial x_k$  (f игра улогу својеврсног потенцијала чији градијент одређује не убрзање него брзину). У механици само симетрија без специфичне форме Њутнових закона (Хамилтоновог формализма) неће довести до очекиваних одржања: ако је f инваријантна у односу на транслације у простору, из једначина следи да се импулс одржава, али што се тиче енергије и момента импулса, њихова непроменљивост није нужна (при хомогености времена и изотропности простора).

С друге стране, у квантној теорији једначине еквивалентне претходним дозвољавају добијање закона одржања, мада је њихова интерпретација неочигледна. Квантни аналог једначина је  $\partial\psi(x_\alpha, y_\alpha, z_\alpha)/\partial t = Q\psi$ , где је најопштији облик антихермитског оператора  $Q = \sum 1/m_\alpha (\partial f / \partial x_\alpha \cdot \partial / \partial x_\alpha + \partial f / \partial y_\alpha \cdot \partial / \partial y_\alpha + \partial f / \partial z_\alpha \cdot \partial / \partial z_\alpha + \Delta_\alpha f) + ig$ , а реална функција  $g$  мора бити инваријантна у односу на трансляције и ротације, тј. мора зависити само од растојања међу честицама иначе је потпуно произвољна. У изразу за «енергију» појављује се ова функција, док је момент импулса исти као и у обичној квантној механици и обе величине се одржавају. Веза симетрије и закона одржања отуда је неједнозначна. За разлику од случаја овде поменуте «класичне» механике, срећемо се са «вишком» закона одржања чији физички смисао може бити врло проблематичан.

Но, ако су испуњени поменути услови, веза из наслова се нарочито лепо појављује у квантној механици, где сви закони одржања непосредно из кинематике и не захтева при извођењу динамичке законе (нпр. Шредингерову једначину). У класичној механици одржања можемо извести елементарним средствима користећи динамичке једначине тј. Њутнове законе и емпиријске постулате сила. Нпр. што се тиче изотропности простора, значај му је у следећем: ако се правци сила које делују међу паром честица не би подударали са правом које их повезује, то систем не би био инваријантан у односу на ротацију око те праве. Како је момент тих сила, ако су оне једнаке по интензитету и супротног смера, једнак нули, добијамо закон одржања момента импулса. Ако би сила између ове две посматране честице зависила од положаја неке треће или више других честица, закон не би важио. Кад бисмо желели да избегнемо динамичке једначине, ситуација би се знатно усложнила. Овде као основа чак најпростијег доказа закона одржања служи запажање да је класична гранични случај квантне теорије. Отуд се изводи да је произвољна једначина која важи у квантној механици при свакој вредности Планкове константе  $\hbar$ , истинита и у лимесу када  $\hbar$  тежи нули.

У квантној теорији, како је наведено, одржање следи из основних кинематских појмова. То је везано с тим да овде стањима одговарају вектори у неком апстрактном простору, а физичким величинама (опсерваблама) хермитски оператори који делују на векторе. Нпр. из инваријантности у односу ротације у простору следи да за произвољно задато стање  $\phi$  постоји друго  $\phi_\alpha$ , које изгледа исто као и  $\phi$  у координатном систему добијеном из почетног при обртању за угао  $\alpha$  око осе  $z$ . Нека  $Z_\alpha$  буде оператор који  $\phi$  преводи у  $\phi_\alpha$ . Стање у које прелази  $\phi$  по истеку интервала  $\tau$  означимо са  $H_\tau\phi$ . Због симетрије у односу на ротацију  $\phi_\alpha$  ће по истеку тог интервала прећи у стање  $H_\tau\phi_\alpha$ , које у помереном координатном систему изгледа исто као  $H_\tau\phi$  у почетном. Дакле, то стање се може добити из стања  $H_\tau\phi$  дејствујући на последње оператором  $Z_\alpha$ . Значи,  $H_\tau Z_\alpha \phi = Z_\alpha H_\tau \phi$ , а због произвољности  $\phi$  следи  $H_\tau Z_\alpha = Z_\alpha H_\tau$ , тј. ови оператори комутирају, што значи да се  $Z_\alpha$  одржава. Момент импулса у односу на  $z$  се подудара са  $\lim(Z_\alpha - 1)/\alpha$  када  $\alpha$  тежи нули. Слично се могу извести

други закони одржања.<sup>16</sup> Оператори трансформација, у најмању руку инфинитезимални, играју двојаку улогу јер и сами представљају очувану величину.

Од интереса је сада размотрити групу динамичких принципа, а почео бих од најбоље схваћеног случаја, електромагнетне (ЕМ) интеракције. Поимање калибрационе (градијентне) инваријантности појавило се класичној електродинамици, где је она подвлачила чињеницу независности посматраних карактеристика ЕМ појава од апсолутне вредности потенцијала коме јемогуће додати градијент произвољне функције. Тиме се утврђивала еквивалентност теоријских описа који се разликују само вредношћу потенцијала: једначине које описују ЕМ процесе доводе до истих опсервабилних последица. Путем сложених расуђивања независност физичких појава од апсолутног потенцијала могла се повезати са законом одржања наелектрисања, мада је та веза изгледала вештачка и мање убедљива у поређењу са фином везом симетрије и очувања код геометријских трансформација.

На језику квантне механике калибрациона инваријантност се формулише на општији начин повезујући је са произвољношћу задавања фазе у таласној функцији.<sup>17</sup> Овде је такође могуће, но, математички строже на основу теорије група, установити повезаност са одржањем наелектрисања (што је и учинио Вејл 1929.). Још 1941. Паули је утврдио могућност постојања два типа калибрационих трансформација: 1) додавање фазе  $\Psi$  произвољног чиниоца једнаког за све тачке простора и времена; 2) различита промена фазе  $\Psi$  у зависности од тачке  $t_j$ . има локални карактер, па отуда и потиче име – локална калибрациона симетрија. Из перспективе релативности представа истовремених и једнаких промена фаза у свим тачкама простора, које произилазе из трансформација првог реда, изгледа врло неприродно. Она води, ако не ка мисли о дејству на даљину, то у сваком случају ка мисли о некој хармонији, коју можемо оправдати ослањањем на емпиријску чињеницу очувања наелектрисања. Међутим, тада ће се тезе окренути и уместо да аргументујемо закон одржања, тада ће он сам бити аргумент. Таквих проблема други тип нема.

Бољу убедљивост претпоставци о извођењу закона одржања наелектрисања даје могућност тумачења ЕМ поља за одговарајућу промену фазе  $t_j$ . на успостављање локалне калибрационе инваријантности лагранжијана, које се нарушавају трансформацијама другог реда. Компензационо тумачење ЕМ поља представља главни корак ка давању физичког смисла математичким последицама из локалне калибрационе инваријантности. Како класична, тако и квантна теорија поља формулише се често помоћу Лагранжевог формализма. Ако се функције поља подвргну трансформацијама другог реда и ставе у

<sup>16</sup> Једно «нематематичко извођење» закона одржања импулса може се наћи у (3), оно не користи никакав математички апарат а захтева појмове дејства и принципа минимума.

<sup>17</sup> Како су мерљиви само квадрати модула таласне функције  $t_j$ .  $|\psi(x,t)|^2$  (вероватноћа налажења честице), то се при операцији додавања произвољне фазе  $\theta : \psi(x,t) \rightarrow e^{i\theta} \psi(x,t)$ , на појавном плану неће ништа догодити  $|\psi(x,t)|^2 = |\psi(x,t) e^{i\theta}|^2$ . Због могућности бирања произвољно малог  $\theta$ , имамо посла са континуалном симетријом, тзв.  $U(1)$ .

лагранжијан, он ће се показати неинваријантним и добиће нове чланове. Када бисмо њих сада интерпретирали као неко ново поље, могла би се формирати нека друга трансформација која ће довести до тога да, после употребе и локалне калибрационе и ње, лагранжијан остане исти. У случају поља наелектрисаних честица, као почетног, допунски чланови природно се интерпретирају тако да описују ЕМ поље, задато помоћу потенцијала и које реализује интеракције међу тим честицама. Додатне трансформације потенцијала подударају се са познатим градијентним. Онтолошки, то звучи овако: ЕМ поље компензује нарушавање лагранжијана. Зато је и добило име компензујуће.

Таква интерпретација је раширила убеђење о томе да локална калибрациона симетрија лагранжијана обавезно захтева постојање компензујућег поља (са сличним успехом може се обрнути логика, као што ради Вигнер, и полазећи од чињенице постојања поља дошло би се до неопходности калибрационе инваријантности «поља материје» састављеног од нпр. електрона и позитрона). Показало се међутим да се и полазећи од локалне калибрационе инваријантности може компензовати нарушавање без увођења допунског поља, тако да се те две претпоставке чине логички независним. У теорији елементарних честица поред електричног наелектрисања јављају се и барионско и лептонско, чије очување симболизује непроменљивост броја бариона и лептона. И док је обично наелектрисање представљало константу интеракције међу честицама, друга две као да су имала само споредну улогу. Природно се наметало питање да ли постоје одговарајућа поља којима би нова наелектрисања била константа интеракције. Као еталон је послужило увођење ЕМ поља као компензујућег. На тај начин физичари су дошли до представа о векторским компензујућим пољима, чији кванти служе као посредници у јаким интеракцијама бариона и слабирим код лептона, као што то фотони чине међу наелектрисаним честицама.<sup>18</sup> Тако се намеће питање: «Не заснивају ли се све фундаменталне интеракције које постоје у природи на законима очувања унутрашњих својстава?» (5, стр. 76) У том циљу спроведена су истраживања у смеру установљења локалне калибрационе инваријантности на пиједестал општих принципа описа свих основних дејстава.

Интересантно, очигледно појашњење истакнуто је од стране Н. П. Конопљеве: «Нека по некој путањи лети пинг-понг лоптица при чему смо ми лишени могућности да пратимо окреће ли се она око свог центра масе или не. Међутим, познато је да при таквом кретању момент импулса остаје сталан. Како у таквим условима описати неуочљиве положаје тачака површине лоптице у произвољном тренутку ако се угаона брзина може мењати? Слободан лет

<sup>18</sup> Упростијено, ако електрону таласну функцију трансформишемо на овај начин  $\psi(x,t) \rightarrow e^{i\theta} \psi(x,t)$ , добијамо закон одржања наелектрисања и скоро целу електродинамику (недостајући параметри су елементарно наелектрисање и маса електрона). Ако се слично (али не и исто, јер је сада  $\theta$  константно) уради са неутроном, добија се одржање барионског броја, преко скромније калибрационе трансформације. Поводом ове врсте симетрије мишљења су подељена и неки их одбацују, сматрајући да све интеракције потичу од локалне калибрационе симетрије: код електромагнетизма од локалне фазне инваријантности, гравитација од инваријантности локалних координатних система, јака – везана за боју кваркова и слободу локалне ротације кваркова у простору боја, слаба – садржи ротације међу наелектрисаним лептонима и неутринима или међу  $u$  и  $d$  кварковима.

лоптице одређује се само кретањем њеног центра масе, које не зависи ни од окретања ни од његове брзине. Обртање је везано за допунске, унутрашње у односу на кретање центра масе, степене слободе. Ако се угаона брзина мења, то је за обезбеђење закона одржања момента импулса потребно претпоставити да у време лета на лоптицу делује неко поље спољашњих сила које убрзава или успорава ротацију. То ће поље бити аналог компензационог поља, само окретање слично калибрационим трансформацијама унутрашње симетрије, а закон одржања момента импулса попут услова који захтева калибрациону инваријантност. Локална калибрациона инваријантност личи на допуштање промене угаоне брзине. Ишчезавању локализације, тј. калибрационим трансформацијама првог реда са истим параметрима, овде одговара постојање константне угаоне брзине дуж целе трајекторије. `Калибрационо поље` спољашњих сила при томе ишчезава.» (5, стр. 77)

Што се тиче гравитације, неки аутори инваријантност ОТР сврставају у динамичке. Постулира се само неопходност прелаза у току времена два различита описа једне исте ситуације у два описа исте нове ситуације. Аналогони ЕМ потенцијала су сада уопштене диференцијабилне координате. Захтева се да добијене једначине буду инваријантне у односу на све трансформације координата ОТР. Нажалост, код осталих интеракција друга је слика. Слаба и јака дејства располажи групом која је много сиромашнија од калибрационе или групе произвољних преображаја координата. Уместо бесконачног скупа генератора претходних група, код последња два деловања генератори су коначни.<sup>19</sup> Па ипак, и то се показује довољним за извођење неких теорема које дозвољавају да се добију еквивалентни односи међу амплитудама вероватноћа релација, енергија или маса. Још једна разлика између гравитације и електромагнетизма с једне и нпр. јаке интеракције с друге стране састоји се у томе да симетрије првих остају очуване и при урачунавању неких других интеракција док код последње то није случај. Што се тиче инваријантности јаких сила, друга дејства је нарушавају, тј. њена група оставља непромењеном само њу. У вези са законима одржања у ОТР можемо изводити само апстрактне закључке, а у вези са другом групом нејасно је како би тачни закони следили из приближних симетрија.

За крај, посветио бих мало пажње пресеку геометријских и динамичких типова (досад познатом) – cross симетрији. За дати процес:  $A+B \dots \rightarrow X+Y \dots$  (1), амплитуда вероватноће је функција инваријаната које је могуће поставити од четири импулса долазећих и одлазећих честица (почетних и крајњих). Из

<sup>19</sup> У физичкој равни то изгледа овако. 1960. Гел-Ман и Ниман пронашли су да једна од ових једноставних Лијевих група SU(3) може сасвим лепо наметнути породичну структуру гомили елементарних честица мање – више сличних онима експериментално откривеним. Знани мезони нултог спина чине једну, осам бариона са спином  $\frac{1}{2}$  другу породицу. Такође, ту је и десетокомпонентна репрезентација честица са спином  $\frac{3}{2}$  ( $\Omega^-$  је недостајао, али је пронађен 1963. са особинама предвиђеним од стране Гел-Мана). Честице у мултиплетима немају исту масу што указује да SU(3) симетрија није егзактна. Осим тога, најмања репрезентација SU(3) је триплет полуспинских честица са наелектрисањима  $+\frac{2}{3}$  (up),  $-\frac{1}{3}$  (down) и  $-\frac{1}{3}$  (strang) познати су као истоимени кваркови.

принципа инваријантности у односу на обртање времена то значи да је амплитуда реакције (1) строго везана са амплитудом обрнуте  $X+Y \rightarrow A+B$  (2). Ако све брзине променимо по смеру и окренемо будућност-прошлост (што и представља обртање времена), то ће се (1) и (2) поклопити. Аналогно амплитуда за  $\bar{X} + \bar{Y} \rightarrow \bar{A} + \bar{B}$  (3), где су са  $\bar{\quad}$  означене античестице, биће позната ако је знамо и за први процес, зато што се сходно интерпретацији Лија и Јанга (3) добија из (1) коришћењем  $C$  трансформацијом. На исти начин добија се амплитуда и за  $\bar{A} + \bar{B} \rightarrow X + Y$  (4). И још више, cross симетрија нам дозвољава израчунавање вероватноће за  $\bar{X} + B \rightarrow \bar{A} + Y$  (5) на основу познавања те величине за (1). При спровођењу рачуна, посматра се амплитуда вероватноће (1) као аналитичка функција поменутих инваријаната и проширује се на вредност променљивих које немају физичког смисла за (1), али дају тражену вредност за (5). Овај тип симетрије одликује се својствима геометријских принципа а не односи се ни на који тип интеракција, али с друге стране њена формулација полази од тога да ми располажемо неким законом природе за израчунавање вероватноће. Како cross симетрија представља прелазни тип, у њу се полажу наде да ће премостити (чини се дубок) раскол међу геометријским и динамичким принципима.

### Нарушавање симетрије<sup>20</sup>

По свом значају за заснивање физичке теорије чини се да се захтевање симетрије са пуним правом може са потребом да теорија одговара експерименту. Но, како су за научника од посебног интереса експериментални резултати који се не подударају са теоријским представама, тако се интересантни резултати добијају и при расветљавању нарушавања симетрије. Могли бисмо и екстраполирати аналогију. Слично томе како обogaћење физичке слике света на рачун увођења у њу нових елемената успоставља подударање теорије и експеримента, може се претпоставити да се нарушена симетрија ликвидира, а цена коју треба платити је нова, сложенија симетрија која укључује претходну као специјални случај. То бива повезано са променом схватања физичке реалности, тј. нарушења симетрије добијају неку онтолошку интерпретацију.

На овом месту било би добро поменути два примера која су довела до прогреса у развоју физике. Прва ситуација је била она која је претходила стварању теорије релативности. Код узајамног дејства између магнета и проводника са струјом, посматране појаве зависе само од релативног положаја та два елемента. Сходно уобичајеној представи следећа два случаја требало би строго разликовати. Када се креће магнет, око њега се ствара вртложно електрично поље које располаже неком енергијом и индукује струју у простору где је проводник. Ако се креће проводник, нема никаквог вртложног електричног

<sup>20</sup> Овај оксиморон је у вези са првобитним одређивањем симетрије и каснијим утврђивањем њене неисправности (као такве), тако да се употреба термина «нарушавање» и «симетрија» односи на фиксирање њихових значења у различитим тренуцима.

поља, а у проводнику се ствара индукована ЕМС која, при идентичности релативног кретања, изазива струју исте јачине и смера као и у претходном случају. Овде имамо посла са асиметријом међу емпиријским идентитетом посматраних појава и разликовањем онтолошких слика механизма процеса. Успостављање симетрије постигао је Ајнштајн њеним проширењем – прелазом од групе трансформација Галилеја ка Лоренцовој. Разлика теоријских интерпретација при томе је остала: у системима референце магнета и проводника механизам појава је остао исти. Али, таква разлика сада је постала споредна уз помоћ придавања «вишег степена реалности» електромагнетном пољу у целини, карактерисаном четвородимензионалним величинама Лоренц-инваријантним. Појединачно електрично и магнетно поље тако губе своју самосталност у том смислу што је њихово разликовање у различитим системима референце престало бити суштинско у оквиту теорије релативности.

Други пример је у вези са увођењем појма комбиноване парности. Како примећују Ли и Јанг:  $\tau^+$  и  $\theta^+$  мезони били су по маси, времену живота и наелектрисању једнаки, док су по начину распада различите честице. Одсуство симетрије међу тим карактеристикама сведочило је о непостојању довољног основа за разликовање начина распада двеју, по осталим особинама истих, честица. Први корак ка поновном успостављању симетрије је претпоставка о неочувању просторне парности (операција просторне рефлексije) при slabим интеракцијама. Та претпоставка би фигулисала као довољна основа за разликовање по начину распада:  $\tau^+$  и  $\theta^+$  чине се једном истом честицом која се различито распада. Следећи корак састојао се у њеном лишавању статуса самосталне операције и преласку ка комбинованој инверзији која представља истовремено коришћење поменуте операције и обртања честице у античестици (C). То личи на прелаз од Галилејевих ка Лоренцовим трансформацијама. Неочување просторне парности притом представља аналогон промене онтолошке слике електромагнетних појава (при истом релативном кретању магнета и проводника), а очувана комбинована парност је слична четвородимензионалним величинама теорије релативности. Дати примери потврђују претпоставку да се испољавање нарушавања симетрије надјачава прелазом ка новој богатијој форми у односу на који поменута нарушавања не важе. Ситуација са рушењем закона о очувању комбиноване парности такође се уклапа у ту шему када се заједно са неодржањем РС (како се показало 1964.) претпоставља компензујуће неочување временске Т-парности, тако да (претпоставља се) СТР инваријантност остаје на снази.

При свему томе, повишење симетрије представља само један однос физичке теорије према уништеној инваријантности и њиховим онтолошким тумачењима. Другим начином, мада такође везаним са васкрснућем старе симетрије, али сада без прелаза ка вишој форми, служи проширење сфере дејства претходне симетрије. Типичан пример је начин увођења калибрационих поља интерпретираних као спољашња која иступају као разлог нарушавања локалне калибрационе инваријантности (не увек обавезно) неких поља извора. Додавање пољима – изворима калибрационих поља «укључује» узајамна дејства међу изворима тако да ситуација у целини остаје калибрационо инваријантна, тј. чува претходну симетрију, чије се нарушавање за изворе компензује одговарајућим неочувањем калибрационих поља.

Могућа је и трећа стратегија која се ограничава на тражење спољашњих разлога нарушавања симетрије и не захтева ни враћање ка старој ни тражење нове. Пример би било објашњење различитости по маси међу нуклеонима. Пуна и тачна симетрија била би везана са идентичношћу њихових карактеристика, у том смислу и наелектрисања и масе. Поменута чињеница за протоне и неутроне се интерпретира као резултат утицаја електромагнетне интеракције чије смо присуство занемарили. Оно се на тај начин јавља као разлог нарушавања тачне симетрије и њен преображај у приближну услед чега се поред међусобне сличности нуклеони разликују по наелектрисању и маси.

Мимо оваквих нарушавања изазваних познатим спољашњим узроцима, чију улогу обично играју неки облици интеракција, у савременој физици могуће је срести спонтано нарушавање, за које је постојање узајамних дејстава у крајњој мери проблематично.<sup>21</sup> Резимирајући, можемо рећи да, како год се ми у теорији односили према рушевинама симетрије, то је увек везано са обogaћивањем физичке слике реалности, било захваљујући формирању нових веза међу њеним елементима (при прелазу ка вишим симетријама), било посредством увођења у ту слику нових елемената (типа компензујућих поља, спољашњих узрока). То је вероватно зато што имамо утисак да симетрија при познатим нам условима не би смела да се нарушава (јер то је у њеној дефиницији у тренутном систему знања). У неком тренутку она се чини исправном и строго дефинише, касније престане да важи, а разлика пре-после повлачи неке кораке у нашем сазнању, а тиме (да ли обавезно?) нове делиће у физичкој слици света.

### **Улога симетрије у филозофији науке**

У нашем познавању света који нас окружује постоји чудна хијерархија. Сваки тренутак оваплоћује изненађење и будућност нам представља непознаницу. Па ипак, међу догађајима око нас (првенствено се мисли на неживу природу) постоје узајамне везе, корелације које су нам познате. Баш њих покушава да открије наука, под условом да су то тачне и јасно изражене везе (свакако не претендују на опис укупности појава). Чак и да функције нашег организма остају непромењене, а ми не бисмо могли да утичемо на догађаје који се дешавају без неке правилности (или их ми не бисмо уопште познавали), наша се воља не би могла нигде испољавати и оно што ми сматрамо живота било би немогуће. Наравно, то не говори да живот зависи од тога колико ми познајемо корелације међу догађајима изражене нашим природним законима (овде се у првом плану мисли на нека правила којих се природа придржава).

Чини нам се, нарочито оку привиклом на класичну слику<sup>22</sup>, да закони природе не би могли да постоје без принципа инваријантности. Притом под

<sup>21</sup> Математички у облику неинваријантног вакуумског стања у односу на трансформације које остављају лагранжијан инваријантним.

<sup>22</sup> То, наравно, не значи да у законима савремене физике инваријантности играју периферну улогу.

законима подразумевамо наше сазнање а не, као пре, правило природе. Ако би се корелације мењале из дана у дан и биле различите у разним тачкама простора, откривање природних закона било би немогуће. На тај начин, инваријантност закона природе у односу на померања у простору и времену служи као скоро неопходна претпоставка да ми можемо откривати узајамне везе међу догађајима. Разуме се, то не значи да сферу или тачност примене у садашњости треба сматрати неопходним условима закона природе, мада се чини да је нека врста сталности у промени (била то простор-временска инваријантност у класичној физици, еквивалентност референтних оквира у теорији релативности итд.) имплицитно садржана у нашем интуитивном поимању физичког закона.

Прелаз са једног ступња на други, виши, од појава преко закона до принципа симетрије представља хијерархију нашег знања о околном свету, поменуто на почетку поглавља. Она почива на претпоставци да постоје закони природе, а не један универзалан. Ако би, којим случајем, био откривен Коначан закон, принципи симетрије би се свели на прости математичке трансформације које га остављају непромењеним. Могуће да би они остали опет важни при извођењу неких правила, као данас правила спектроскопије у квантној механици, али би тада принципи инваријантности изгубили то место које данас заузимају у већ поменутој хијерархији. Наравно, постоји варијанта да ће се структура нарушити и из неких других разлога. С тим у вези погодно је приметити да у односу закона природе ствари стоје исто тако: ако бисмо располагали пуним описом свих појава са којима се кад-тад можемо срести то би односи међу њима тј. закони природе у великој мери изгубили свој значај слично томе, како би то произашло са принципимасиметрије при проналаску Коначног закона. И док би и поред познавања свих чињеница имало смисла говорити о законима као о њиховој класификацији, при чему се мењајући почетне услове долази до описа опсервабилних појава, сматрам да су принципи симетрије у непосредној вези са универзалним законом тј. да не постоји еквивалент «почетним условима» на основу којих бисмо из самих инваријантности добили неки закон.

У фондусу нашег знања класични (геометријски) принципи леже на два ступња вишем положају од непосредних посматрања, али се они формирају и то нужно у терминима посматрања. Нпр. ако су у различитим временским тренуцима присутни исти одговарајући услови, то ће догађаји који следе бити исти независно од тога када су ти услови остварени. Притом је израз «одговарајући» лош и нетачан. Но, то је неизбежно ако претендујемо на општост, и (или) очекујемо откриће нових, засад непознатих али релевантних чињеница или нових ефеката изазваних познатим условима. «Само при таквом приступу принципи инваријантности могу располагати општошћу довољном за то да нам укаже на пут у формулисању и провери нових закона природе. Принципи инваријантности формулишу се непосредно у терминима посматрања тако да је њихово нарушавање присутно у тим терминима. Нпр. за доказ нарушавања принципа парности био је саздан систем који је располагао симетријом у односу на инверзију у простору и у којој се касније утврдило одступање од ње.» (2, стр. 38) Осим тога, они и јесу настали апстраховањем из мноштва емпиријских података па и није зачуђујуће што се формулишу у терминима непосредних посматрања, а како су ова последња довољно општа

(у нашем кутку простор-времена) то би требало да се и нови закони подвргавају проистеклим принципима. (Неки су се показали бољим него што се очекивало, док су други одбачени.) Леп пример међусобног подржавања закона и принципа представља изотропност простора. У свакодневном искуству чини се да међу правцима горе и доле постоје јасне разлике. Насупрот томе, Њутнова теорија гравитације и једначине кретања одликују се инваријантношћу у односу на ротације, и дају адекватно објашњење поменутој разлици, везујући је за земљину тежу. (У вези са тим видимо како се посматрање природе везује за наше знање о њој, тј. опажање појава у физици обично зависи од нивоа нашег познавања закона.)

Класични принципи се ретко користе при предвиђању будућности. Много чешће (обично у облику последица) служе као средство провере некакве теорије или закона; неопходно је уверити се да су последице теорије у складу са неким принципом.

Закони природе могу бити инваријантни у односу на померања у времену, то се за концепцију инваријантности не може рећи. До сада сам у виду имао само класичне симетрије, док «нове» (динамичке) представљају инваријантности посебних типова интеракција, а не свих закона природе. Као прво, отуда следи постојање различитих интеракција, као друго, нове типове је немогуће формулисати у терминима корелација догађаја, јер да је то тачно тада би њих поседовала сва узајамна дејства, што није случај. Требало би поменути и да су наведене врсте сила повезане са одговарајућим групама. Различитости су овде довољно велике и не треба бити потпуно уверен да су у сваком посебном случају познате тачне групе. Могуће је да постоји некакав дубок принцип који би објаснио постојање неколико типова интеракција и њихових група. Ако говорећи о неklasичним симетријама постоји нада да ће оне стећи заједничку структуру и стопити се у некој општијој, то се раскол међу класичним и неklasичним инваријантностима чини много дубљим. Ако желимо да Лоренц-инваријантност испитамо на исти начин као што смо и калибрациону у претходним одељцима, пре свега треба наћи неке величине као што су потенцијали. нпр. апсолутне координате везане за удаљен физички систем од нашег и сходно томе који не утиче на овај последњи. Међутим, он ипак даје физички смисао координатама делова нашег система, а такво нешто не постоји код потенцијала. Како је наведено раније, наде се ипак полажу у прелазну, cross симетрију.

Нераскидива веза постоји између појмова симетрије и објекта на који је трансформација примењена – инваријанта. Ако се прихвати уопштен смисао тих појмова и изађе далеко изван граница физике, сретћемо се са тумачењем елемената стварности као инваријаната. Ово се често везује за име Макса Борна<sup>23</sup> који каже: «Методи теоријске физике су исти као и методи геометрије. И овде се као почетна тачка појављују уопштене координате, а затим се искључује неважно, случајно. То нису само положаји у простору, већ и кретање,

---

<sup>23</sup> Претходнике бисмо могли тражити у Клајну и његовом схватању «геометријских својстава» исказаном у Ерлангенском програму, и Пијажеу, психологу који је истраживао интелект детета и који каже да је «објекат...инваријант, изазван реверзибилном композицијом групе»

стање температуре итд. Оно што остаје су суштински инваријанти који описују објекат. тај метод је тачно еквивалентан томе који се јавља у инстинктивном мишљењу људи, далеких од науке... Научни метод разликује се од наивног само у томе што су његови начини боље прецизирани.» (5, стр.67) Додао бих, да се сличан принцип користи при формирању појмова са којима се свакодневно срећемо: из разноликог скупа се апстрахује интерсубјективна мисао о суштинским својствима неког објекта мишљења. Борнове идеје тумаче се и у духу представа о суштини и појави, разматрајући прелаз од «пројекција» реалности ка инваријантима као начин кретања знања од појаве ка суштини. Што се тиче неинваријантних величина и њихове улоге, не одриче им се присуство јер се «већина мерења у физици односи не на интересантне нам предмете већ на пројекције одређене врсте, при чему се та реч употребљава у најширем смислу... Главни прогрес у структури знања физике састоји се у открићу тога да је одређена величина, која се разматрала као својство предмета, у ствари својство пројекције.» (5, стр. 69) С тим у вези инваријантност одређених величина изгледа релативна, зависна од степена знања.

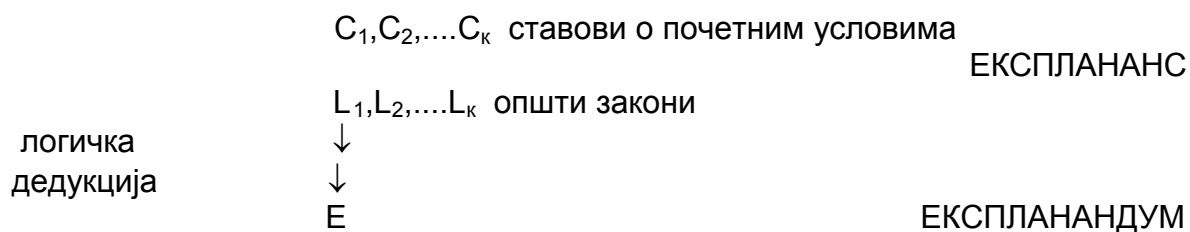
Неважност многих присутних околности које би могле да играју улогу у посматраној појави ми такође називамо инваријантношћу. Међутим, таква инваријантност има некакав другачији карактер, пошто ју је немогуће формулисати у својству општег принципа. Када бисмо образовали неку хијерархију инваријантности, управо поменута би вероватно била на најнижој лествици, због постојања такве појединачне за сваку посебну појаву. Зато је утврђивање могуће тек после истраживања поменуте, а како се овај тип инваријантности разликује од случаја до случаја, то њен принцип нема методолошког значаја. Наравно, не треба заборавити да без могућности одвајања супстанције од акциденције у некој појави, физика (ако би уопште постојала) не би данас била оно што јесте.

### **Симетрија и структура знања**

У досадашњим разматрањима говорило се углавном о онтолошким аспектима симетрије у физици. Тема овог поглавља биће епистемолошки приступ проблему симетрије и као такав невезан строго за појединачну научну област.

Пажња ће бити усмерена на три процедуре: објашњење, предвиђање (предсказање) и опис. У вези са њиховим изучавањем била је исказана теза која установљава симетрију између објашњења и предвиђања. Она је прво играла помоћну улогу појашњавајући логиче стуктуре поменутих процедура, но касније је дошло до својеврсног преокрета: став се чинио фундаменталнијим од шема које су до њега довеле. Затим се одустало од таквих представа, али не и од тражења симетричних односа између објашњења и предвиђања. Само сада се са њима разматрала још једна сазнајна процедура – опис.

Тврдња о симетрији била је прво изнета од стране К. Попера, касније јасно формулисана од К. Хемпела и П. Опенхајма. Њих двојица су резимирала своју концепцију следећом шемом:



Експланандум – став који објашњава, садржи минимум један закон природе и став о почетним (антецедентним) условима. Објашњење представља дедукцију експланандума из експлананса. Дати су и услови адекватности објашњења: логички - дедуктивност проистекла из шеме и методолошки (емпиријски) по коме је експлананс било истинит (на данашњем ступњу знања), било добро потврђен расположивим емпиријским подацима. Симетрија између објашњења и предвиђања појављује се као последица горе наведене концепције, која се може применити и на предвиђање. Због тога шема неједнозначно одређује објашњење. Ради разграничавања ове две процедуре, треба урачунати фактор времена, тј. след компонената логике шеме. Обично разликовање та два појма носи практичан карактер: у случају објашњења зна се да се догађај одиграо и траже се услови који су га одредили, код предвиђања су почетни услови дати и тражи се последица која се још није појавила. Зато се тврди да објашњење није потпуно адекватно ако његов експлананс не може да послужи за предсказивање експланандума. Посматрана теза показала се постојаним, фундаменталним делом концепције објашњења Хемпела и Опенхајма. Она се није подвргавала некој значајнијој модификацији: њу је било могуће или прихватити или одбацити. С друге стране, резултати логичко-методолошке анализе изашле из оквира првобитне замисли, чине се лабилнијим, допуштају измене и различита тумачења. То је показало да је теза у симетрији општије тврђење о природи објашњења и предвиђања него логичка шема са којом је на почетку била везана. Опоненти Хемпела и Опенхајма су тражили противречност између логичких шема објашњења и предвиђања. Расуђивали су приближно овако: из логичке шеме следи симетрија међу наведеним процедурама, а како се она не може срести увек, то је њихова концепција нетачна. Поборници су били за то да теза о симетрији игра улогу принципа који регулише стварање логичких шема и трудили се да модификују те шеме да би оне у потпуности одговарале законима симетрије.

Хемпел и Опенхајм су се углавном при формулисању свог става ослањали на класичну механику, док је област савремене физике била неразматрана.<sup>24</sup>

<sup>24</sup> Ово је у вези са тзв. механицистичким детерминизмом, а проистеклим из Њутнових закона и теорема диференцијалних једначина (Пикарова, под претпоставкама које су у механици по правилу задовољене) – ако су познати почетни услови, положаји, брзине и силе, једнозначно је одређено стање механичког система у сваком тренутку – прошлости и будућности, па је наше знање у принципу инваријантно у односу на инверзију времена. Овде се треба оградити, јер је због сложености система често тешко одредити тачне једначине кретања а ми у овом поглављу говоримо о актуелном, а не о принципијелном знању.

Нпр. статистички закони не дозвољавају предвиђање неког догађаја, мада уопштено говорећи могу да дају објашњење ако се догађај већ десило. Хенсон каже: «Свака појединачна квантна појава  $P$  може бити у потпуности објашњена *ex post facto*; при помоћи добро формираних закона квантне теорије могуће је схватити каквог је вида поменути догађај... Ти закони дају значења појму «објашњење појединачног микро-догађаја». Међутим, најфундаменталније својство тих закона састоји се у томе да је предвиђање неког таквог догађаја на основу теоријских принципа немогуће.»(5, стр. 96) Скривен се пак ослонио на теорију еволуције говорећи да су компетентни научници примењивали ту теорију у својству објашњавајућег фактора. На тај начин, мада се признаје «објашњавајућа способност» теорије, немогуће је предвидети догађаје које је теорија објаснила.

После таквих аргумената Хемпел је извршио модификацију и шему 1) назвао је моделом дедуктивно-номолошког објашњења, а увео је још 2) дедуктивно-статистичко и 3) индуктивно-статистичко. Сви модели поседују основне црте – садрже експлананс и експланандум, научне законе и почетне услове, док се разликују било логичким статусом компонената, било обликом закључка. Експлананс у 2) садржи као минимум један статистички закон типа: «вероватноћа да догађај класе  $F$  припада класи  $G$  једнака је  $r$ ». Закључак је дедуктиван, а експланандум је неки сложени догађај са својом расподелом. 3) се разликују по два стварима: описује појединачан догађај, а друга карактеристика следи из прве – како би из статистичког закона био изведен колико-толико поуздан став о појединачном догађају, дедукција нам не помаже. 3) и 1) се разликују и методолошки, код индуктивно-статистичког се јавља особина неодређености (*ambiguity*). Ако је  $Kt$  ступањ знања у тренутку  $t$ , при 1) се не може у  $Kt$  наћи објашњење за догађај контрадикторан објашњаваном, док је за 3) то могуће. Како би избегао неодређеност објашњења, Хемпел је предложио изабрати најспецифичнији експлананс који би узимао у обзир сву информацију из  $Kt^{25}$ , која утиче на условну вероватноћу објашњаваног догађаја. Тај услов назвао је условом максималне специфичности, а оне три шеме «моделом обухватајућег закона», који изражава не само објашњења већ и предсказања, при чему се статистичко предвиђање јавља неодређеним колико и такво објашњење. Пуно објашњење може се постићи само по скупој цени укључивања тврђења о догађају у експлананс и прихватања кружног објашњења.

	$p(G,F)=r$	статистички закон
индуктивни закључак	$\frac{Fb}{Gb}$	тврђење о догађају класе $F$ опис објашњеног догађаја класе $G$

Али, сазнајна ситуација у којој се јавља задатак објашњења какве појаве разликује се од оне у којој га треба предвидети. Потреба за објашњавањем се јавља обично када је позната област знања, док су средства код предсказања мање одређена. Даља испитивања прате две линије: «вертикалну» и «хоризонталну». У првом случају разматрају се истраживачки процеси у потчињеном односу један према другом, уз аспекте изводивости и доказивости.

<sup>25</sup> што претпоставља да оријентационо знамо колико широко треба да идемо при објашњавању

У другом приступу на истој су равни, истражују се објашњавајуће способности предвиђања и предвиђајуће способности објашњења, а јавља се и процедура описа.

Први правац везан је опет са именом Хемпела, мада је детаљно разрађивање дао Грунбаум. Разматра се међусобан однос објашњења и предвиђања у смислу предвиђања у нешто другачијем смислу и ретросказања (ова чудна кованица користиће се и убудуће). Ако је предвиђање у првом смислу закључак о томе што раније није било познато, у другом је саопштење о томе што још није наступило. Ретросказање представља реконструкцију прошлих догађаја. Говорећи о Хемпеловим процедурама (Х-објашњењу и Х-предвиђању), Грунбаум каже да оне говоре о логичкој изводивости, док питање поверења лежи изван граница таквог тумачења. Оно се тиче целокупне знане ситуације у којој се спроводи објашњење или предвиђање. На тај начин, сужено је Хемпел-Опенхајмско тумачење, јер су избачени методолошки услови: истинитост експанандума, захтев максималне специфичности итд. Доказивост исказа лежи, по ауторовом мишљењу, на плану антитезе «предвиђање – ретросказање». Он је разматрао њихов однос у вези са проблемом анизотропије времена. Време се понаша тако да сваки систем знања фиксиран у неком тренутку грана, расплињава.<sup>26</sup> У резултату су предсказање и ретросказање по својој природи асиметрични: постоје индикатори за реконструкцију прошлих догађаја, али одсуствују за конструкцију будућих. Нпр. увидевши људске трагове на снегу закључићемо да је недавно ту боравио човек, док нам снег сам по себи неће бити од велике користи при информисању о будућим догађајима на том месту. (Предсказање захтева обраћање ширем кругу предмета него ретросказање.) На тај начин се индукује смер прошлост – будућност. Што се тиче Х-процедура, оне су симетричне у односу на истраживачево «сада». За њих је временски поредак у експанандуму и експанансу је небитан. Антецедентни услови како пре тако и после Е, док се Х-објашњења и предвиђања разликују само по следу информисаности научника о тим догађајима.

У случају Х-објашњења прво се сазнаје за Е, потом за  $C_i$ ; код Х-предвиђања обрнуто. Временски след догађаја је суштински на плану «предсказање - ретросказање». Код првог дешавају се пре Е и играју улогу претходног извештаја, док се у ретросказању догађаји одвијају после Е. И предсказање и ретросказање могу бити било која Х-процедура. Грунбаум сматра да критика тезе о симетрији не погађа мету пошто је проистекла из мешања хемпеловског аспекта објашњења и предвиђања и оног везаног за предсказање - ретросказање (критике Хенсена и Скривена). По његовом мишљењу, критика успоставља не асиметрију Х-процедура, већ асиметрију доказивости (поузданости) резултата предсказања и ретросказања. Симетрија

<sup>26</sup> Ово се може довести у везу са првом од три тзв. стреле времена (психолошка - историјска, термодинамичка, космолошка). Парафразирајући Хокинга, то би био разлог зашто се не богатимо на берзи памтећи сутрашње цене. С тим у вези, Витроу у књизи «Шта је време?» пише да се може покушати са дефинисањем историјске стреле кроз исказ да «садашње стање Васељене (или било ког другог довољно великог подсистема у њој) садржи делимичне показатеље о прошлости, али скоро никакве о будућности».

логичке изводивости у Х-процедурама може се спојити са различитом основаношћу тих процедура. Х-објашњење које носи предвиђајући карактер поузданије је од одговарајућег Х-предвиђања које има ретросказујући карактер. Истовремено, могу постојати ретросказујућа Х-објашњења и ретросказујућа Х-предвиђања. У том случају асиметрија се не уочава, а за то добре примере даје астрономија. Ако су из историјских извора познати положаји планета у прошлости, ти се подаци могу објаснити на основу савремених посматрања и закона небеске механике. Тако исто положаји планета могу бити «предвиђени» (израчунати), а затим проверени у поменутих изворима. Узимајући у обзир Грунбаумову преформулацију Хемпелових објашњења и предвиђања, чини се да је он успешно поново успоставио временску симетрију објашњавањем и објашњавајућег.

Међутим, Хемпел је претендовао на нешто више – трудио се да изрази такве односе међу објашњењем и предвиђањем који су везани за методолошке захтеве. Зато је он пошао «хоризонталним путем» и разбио тезу на конјункцију два става. Први услов формулисао је овако: »Сваки рационално прихватљив одговор на питање `Зашто се десио догађај Х?` мора да садржи информацију која показује да Х мора да се очекује, ако не као `да-не случај`, оно бар са пристojном вероватноћом.» Први коментар који је дао аутор тиче се услова потпуности система експлананса. У научном истраживању објашњења са непотпуним експланансом одговарају трећој процедури – опису (он се овде само периферно јавља). Поред тога, позабавио се и «кружним» објашњењима у којима експланандум укључује у себе експлананс или његов еквивалент. Овде се о објашњењу може говорити само условно, јер у експланансу имамо посла са констатацијом реалног стања ствари, тј. са описом. Од кружних треба разликовати тзв. самодоказујућа објашњења која користе информацију садржану у експланандуму. Само овде се он користи ради потврђивања неког од објашњавајућих ставова. У целини се експлананс ослања на податке који су изван граница експланандума. Ово је распрострањен вид научног објашњења. У многим случајевима када треба аргументовати неки догађај, ваља произвести хипотезе засноване на чињеници да се он десио (нпр. сви контрапримери тези о симетрији, нека антропичка начела).

Друга подтеза гласи: «Сваки адекватан предвиђајући закључак образује потенцијално објашњење.» Као противврђење узимају се обично два аргумента: а) предвиђања изведена на основу коначног скупа експерименталних података без позивања на неки закон или хипотезу (екстраполација зависности електричног отпора од температуре); б) предвиђања која се остварују уз помоћ различитих индикатора, тј. ослањају се на фиксиране корелације међу појавама али се не могу сагледавати у својству објашњења јер не откривају унутрешњу природу датих појава (предвиђање буре на основу показивања барометра). Ради извлачења из такве ситуације Хемпел уводи појам индикаторних закона, али их оставља отвореним за расправе, самим тим и питање о потенцијалној објашњујућој способности предвиђања па и целу тезу о симетрији.

Поменуте модификације Хемпел – Опенхајмове концепције не дотичу се измене њених идејних основа, па тако остају везане за низ претпоставки прихваћених при реконструкцији научних знања. Као прво, све шеме полазе од двокомпонентног објашњења. При томе експланандум се ствара независно од

експлананса и представља било емпиријску чињеницу, било научни закон потврђен експерименталним подацима пре установљења објашњења. Овакав прилаз је у одређеној мери везан за неопозитивистички правац у филозофији науке и одваја искуствене ставове (поуздано утврђене) од теоријског знања. С друге стране, објашњење и предвиђање представљају закључке (индуктивне или дедуктивне) једних ставова из других. Научно знање, опет у вези са неопозитивизмом, представља конструкцију која задовољава неке логичке принципе. Та конструкција добија смисао при узајамном односу са емпиријски утврђеним чињеницама. Све психолошке и социокултурне компоненте гурају се у други план. Истина, Хемпел и Опенхајм осветљавају и прагматички аспект, међутим не говоре о томе чиме се разликују научно објашњење од обичних, здраворазумских. Неки аутори сматрају да су две горенаведене претпоставке превише јаке. Тако Хенсон тражи да се испитује не то како се посматрања, чињенице и подаци уграђују у општи систем физичких објашњења, већ како се сами ти системи уграђују у нашу оцену факата и информације.

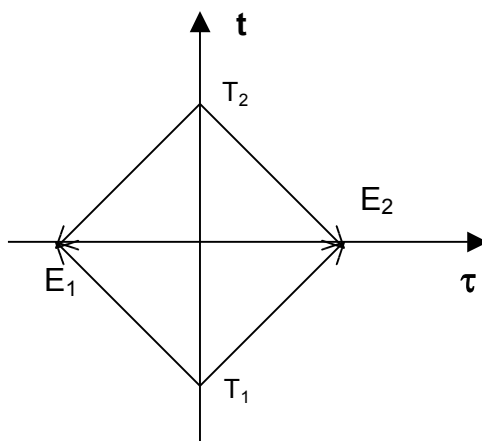
За то су везане тзв. антипозитивистичке тенденције – промена погледа на објашњење уплиће се у опште преоцењивање статуса емпирије у научном знању. Неуклоњивост «теоријских наочара» кроз које научници посматрају свет, нипошто не говори о одрицању улоге емпиријских посматрања, но она имају научну вредност само у контексту теоријских система. Овде се претпоставља да сваки факт постаје научан (тј. стиче могућност да испуњава потврђујућу / оповргавајућу функцију у односу на теоријска знања) само и вези са неком теоријом. Тако је чињеница која се објашњава формулисана у неком систему теоријских знања, али се ту јавља проблем различитих неспојивих тумачења. Објашњење се састоји у таквој реорганизацији система теоријског знања у којој интерпретације не садрже противречности. Зато је концепција Хемпел – Опенхајма фиксирала само резултат процедуре објашњења. Експланандум је преформулисање објашњаваног догађаја у оквиру експлананса. То није просто опис чињенице која је изазвала потребу за објашњењем. Предвиђање је, са друге стране, расуђивање о догађајима који још нису наступили или о појавама још неоствареним. Пошто излазе ван граница достигнутог знања, односимо се к њима као према скоку у непознато. Та процедура захтева нове идеје, радне хипотезе и помоћне моделе. За разлику од предвиђања, опис је окренут прошлом опиту. Но, прво без другог није могуће, нужна је реконструкција достигнутог знања, које дозвољава излаз ван својих граница.

Сваки опис се остварује на неком језику. Стога се систем језичких средстава може разматрати као претходни, примитивни модел за описивање стварности. Научни описи остварују се при помоћи теоријског језика, тачнијег и строжег од свакодневног. Објашњење се може сматрати продубљеним описом. како је поменуто, потреба за њим се јавља услед постојања неконзистентних описа једних истих чињеница а објашњење је таква реорганизација знања која омогућава свођење различитих описа у јединствен систем. У оквирима тог система свака чињеница добије једнозначну интерпретацију.

Строже третирање процедура постиже се при појашњавању симетријских односа, тј. прелазом ка структурној анализи људског знања. Погодно је обратити се моделу дводимензионалног времена. Као прва оса овде служи субјективно време на којој су одреднице прошлост, садашњост и будућност

неког «идеалног истраживача». Друга оса ће бити научно-историјско време, на њој се «таложу» резултати научних објашњења, тј. ту се врше прелази са једне теорије ка другој, уређују се чињенице од историјско-научног значаја које су се показале неслучајним, а довеле су до продубљивања научног знања. Објашњење се постиже увођењем нове теорије, која дозвољава преформулисање описа добијених од старе теорије и успостављање таквих предвиђања да се добије јединствен систем ставова.

Овде се сударамо и са анизотропијом времена. Сходно принципу кореспонденције, током времена образује разгранат систем; нове теорије се не надграђују над старим, као у 18. и 19. веку, већ се старе теорије могу сада разматрати као специјалан или граничан случај нових. Ако описујемо односе међу научним ставовима као извођење закључака, долазимо до следеће шеме (преузета од Печенкина):



Овде је  $\tau$  истраживачево време;  $t$  је научно-историјско;  $E_1, E_2$  – знања о неком догађају  $E$  која произилазе као опис и предвиђање тог догађаја;  $T_1$  – стара теорија за предвиђање и опис;  $T_2$  нова теорија која омогућава објашњење. Стрелице су логички закључци. Закључак уз помоћ  $T_1$  става  $E_1$  представља опис, то исто за  $E_2$  је предвиђање. Уз помоћ  $T_2$  ставови  $E_1, E_2$  су истовремено и објашњења.

Тако су опис и предвиђање симетрични у односу на  $t$ . Разлика је само у томе што ми код описа прво региструјемо догађај  $E$ , а затим користимо  $T_1$ , код предвиђања је обрнуто. Објашњење са једне, и предвиђање, опис са друге стране симетрични су у односу на  $\tau$ . У случају описа и предвиђања ми прво имамо  $T_1$ , а затим добијамо уз њену помоћ сведочанства о  $E$ ; код објашњења прво су ту сведочанства о  $E$  (ставови  $E_1, E_2$ ), а потом стжемо до  $T_2$  коју користимо за логички закључак. На овај начин добијају се сложеније форме симетрије него у шеми Хемпела и Опенхајма.

## Закључак

При перципирању најразноврснијих елемената симетрије у здању универзума, срећемо се са њеним манифестовањима у различитим сферама и дубинама – од прости визуелне до оне уткане у системе људског знања. Пратећи Хајзенберга који каже: «...Снажно ме заокупља мисао да је симетрија нешто кудикамо основније од честице», можемо поставити питање да ли симетрија представља неку од најопштијих, основних карактеристика у основи постојећег, које вуче конце из позадине уређујући по некој правилности појаве и чинећи некакав склад. По Вајнбергу, значајан «незваничан» критеријум за прихватање неке теорије је њена «лепота» која као један од својих елемената има симетрију у односу на неке трансформације израза присутних у законима. Таква је данас тенденција. Осећамо се пријатно када и пре детаљнијег изучавања у некој области већ можемо да очекујемо да тамо владају познати нам принципи, нпр. закони одржања (а они опет повезани са континуалним симетријама). Зато нам је удобно да их користимо и тешко се одричемо таквог комфора.

С друге стране, није незамисливо да ће се принципи симетрије из перспективе ширег плана историје науке показати само ефемерним појавама, а последица нечег дубљег, позадинског. То би личило на ситуацију када круте математичке структуре до којих смо дошли некаквим путем, преживе и када се покаже да су начини који су лежали у основи доласка до њих, погрешни. (Добар пример за ово је Диракова теорија електрона. Он је 1928. покушавао да преуреди Шредингерову верзију квантне механике у терминима таласа честица тако да она дође у склад са СТР. Данас знамо да је ово становиште било већим делом погрешно. Његова теорија електрона дала је малтене пуким случајем исте резултате као и квантна теорија поља. Међутим, математика Диракове теорије је преживела до данас као битан део последње.)

Циљ последњег поглавља је да покаже како при проблематичној тези о симетрији покушаји њеног одбацивања или установљивања доводе, у сваком случају, до продубљивања схватања сазнајних процедура и прогреса у познавању система знања. Било како било, и каква год да је будућност принципа симетрије, данас им нико не оспорава практичан карактер.

**Литература:**

1. Вајнберг, Стивен: «Снови о коначној теорији», Београд 1997, Издавачки атеље «Поларис»
2. Вигнер, Еуген: «Этюды о симметрии», Москва 1971, «Мир»
3. Фајнман, Ричард: «Карактер физичког закона», Београд 1999. Клуб НТ
4. Lederman, Leon; Hill, Cristopher: “Teaching Symmetry in the Intoductory Physics Curriculum”, <http://www.emmynoether.com>
5. «Принцип симметрии», Москва 1978, «Наука» (редакторы Б. М. Кедров и Н. Ф. Овчинников)