

ROLUL ȘI STATUTUL PRINCIPIILOR DE INVARIANTĂ

CONSTANTIN C. BRÎNCUȘ

Institutul de Filosofie și Psihologie „Constantin Rădulescu-Motru”,
Academia Română

THE ROLE AND THE STATUS OF INVARIANCE PRINCIPLES

Abstract. The aim of this paper is to sketch a rough explanation of the notion of *law of nature* on the basis of the method of invariance under a group of transformations elaborated by the German mathematician Felix Klein. The explanation is given in analogy with Alfred Tarski's proposal to explain the logical notions by this method. The paper provides an analysis of the principles of invariance (symmetry) in physics and discusses some arguments for the idea that these principles are not just theoretical instruments, but they rather have a real existence in the physical world.

Keywords: invariance (symmetry) principles, group of transformations, logical notions, laws of nature.

„Filosofii, când discută legile naturii, vorbesc în termenii de universalitate și necesitate.[...] Oamenii de știință nu vorbesc despre legi în termeni de universalitate și necesitate, ci în termeni de simetrie, transformări și invarianță.” (Bas van Fraassen, 1989, p. 1)

„Utilizarea simetriei duce uneori la ștergerea liniei dintre știință și metafizică.” (Margaret Morrison, 1995, p. 159)

„Există un loc unde cercetarea filosofică a conceptului de lege poate realiza un contact solid cu știința, iar acest loc se găsește în tema legilor și simetriilor.” (John Earman, 2004, p. 1228)

1. INTRODUCERE¹

Într-o conferință susținută pe 16 mai 1966 la Bedford Colledge, University of London, Alfred Tarski propune o explicație a conceptului de *noțiune logică*². Explicația lui³ extinde ideea matematicianului german Felix Klein care utilizează conceptul de *invariantă sub un grup de transformări* pentru a defini și clasifica noțiunile geometriei. Tarski își limitează analiza în a explica noțiunile logicii, însă sugerează că ideea lui Klein poate fi extinsă și în alte științe⁴.

Obiectivul acestei lucrări – urmând sugestia lui Tarski – este acela de a schița o extindere a metodei elaborate de Felix Klein pentru a explica unul dintre conceptele centrale ale fizicii – acela de *lege a naturii*. Explicația va fi formulată prin analogie cu cea propusă de Tarski pentru a explica noțiunile logicii. Lucrarea este structurată astfel: voi începe prin a prezenta ideea-metodă a lui Klein (*matematică*), iar apoi voi introduce principalele idei ale explicației noțiunilor logice formulate de Tarski pe baza acestei metode (*logică*). În secțiunea a patra voi analiza ideea de invariantă – particularizată pe legi – în *fizică*. Prezența ideii lui Klein în cele trei discipline științifice este un bun temei pentru a susține rolul metodologic al invarianței în determinarea unei discipline științifice prin definirea conceptelor ei centrale. Rămânând în domeniul (filosofiei) fizicii, în cea de-a cincea secțiune a lucrării, voi discuta un argument al lui F. Weinert pentru ideea că principiile de invariantă au o existență obiectivă în lumea reală (și astfel nu sunt doar niște constrângeri teoretice). Voi încheia prin formularea unei definiții a conceptului de lege a naturii pe baza ideii invarianței sub un grup de transformări.

¹ O primă versiune a acestui articol a fost scrisă în anul universitar 2011–2012, în timp ce eram masterand în cadrul programului *Analytic Philosophy*. Cercetarea a fost finanțată de o bursă de cercetare oferită de Universitatea din București. Articolul ca atare a rămas „în sertar” deoarece interesele mele de cercetare s-au concentrat ulterior spre domeniile mai tehnice și filosofice ale logicii și mai puțin spre filosofia fizicii. Filosofic, articolul ridică și problema *realității* principiilor de invariantă în fizică și sunt discutate anumite temeiuri formulate de filosofi-fizicieni pentru a crede că principiile de invariantă au o existență obiectivă în lumea reală. Problema *realității* acestor principii o văd astăzi mai degrabă ca pe o problemă *externă*, i.e. lipsită de sens în afara unui cadru teoretic bine definit, în sensul distincției carnapiene dintre întrebări interne și întrebări externe (Carnap, 1950). Îi sunt recunoscător domnului profesor Ilie Părvu pentru discuții, sugestii și accesul la o mare parte dintre lucrările din bibliografie.

² Alfred Tarski, „What are Logical Notions?”, *History and Philosophy of Logic*, 7 (1986), 143–154.

³ O abordare similară – de care Tarski se pare că nu știa – a fost realizată de F. I. Mautner în lucrarea *An Extension of Klein's Erlanger Program: Logic as Invariant-Theory*, *American Journal of Mathematics*, Vol. 68, No. 3 (Jul., 1946), pp. 345–384. Mautner arată că logica matematică bivalentă poate fi considerată o *teorie invariantă a grupului simetric*. El evidențiază că noțiunile logicii sunt independente față de orice asignare de valori de adevăr, fiind invariante sub grupul transformărilor de coordonate logice (*group of logical coordinate-transformations*). Acest grup va fi grupul simetric al tuturor permutărilor domeniului de variabile individuale. Demersul lui Mautner „este dominat de o puternică analogie cu geometria coordonatelor și cu fundațiile ei invariant-teoretice” (F.I. Mautner, *op. cit.*, p. 345).

⁴ „Înclin să cred că aceeași idee poate fi extinsă și în alte științe. Nimeni din câte știu eu nu a încercat să facă acest lucru, însă cineva poate formula utilizând ideea lui Klein niște sugestii rezonabile pentru a distinge printre noțiunile biologiei, fizicii și chimiei.” (Alfred Tarski, *op. cit.*, p. 146).

2. PROGRAMUL DE LA ERLANGEN

Apariția în secolul al XIX-lea a geometriilor neeuclidiene – hiperbolică (Lobachevski) și eliptică (Riemann) – pune problema „găsirii unei descrieri generale a tuturor sistemelor geometrice”⁵. Înțelegând importanța problemei, Felix Klein încearcă o definiție a geometriei prin indicarea obiectelor ei de studiu și a proprietăților acestora. Ideea subiacentă este că „domeniul oricărei științe poate fi specificat prin numirea obiectelor și a proprietăților acestor obiecte pe care știința respectivă le studiază”⁶.

Conceptele centrale ce stau la baza ideii lui Klein sunt acelea de *invarianță*⁷ și de *grup de transformări*. Geometria va fi definită ca „știința care studiază proprietățile figurilor ce se conservă sub transformările unui anumit grup de transformări” sau „știința care studiază invarianții unui grup de transformări”⁸. Mai general: geometria $G(S, \Gamma)$ este studiul proprietăților unei mulțimi S care rămâne invariantă atunci când elementele ei sunt supuse transformărilor unui grup de transformări Γ . Caracterizarea generală a geometriei în această modalitate s-a numit *Programul de la Erlangen* (1872). Structura matematică ce stă la baza acestei construcții este teoria grupurilor⁹. Teoria grupurilor reprezintă modalitatea formală de a studia invarianța (simetria). Invarianța este proprietatea unei structuri de a-și conserva proprietățile atunci când este supusă unui grup de transformări. Definiția poate îmbrăca diferite forme de expresie, însă ideea rămâne aceeași: „o simetrie este o invarianță sub o mulțime de transformări care au o anumită structură matematică”¹⁰

⁵ I.M. Yaglom, *Felix Klein and Sophus Lie. Evolution of the Idea of Symmetry in the Nineteenth Century*, translated by Sergei Sossinsky, Boston; Basel: Birkhauser, 1988, p. 111.

⁶ *Ibidem*, p. 111.

⁷ Dacă nu se precizează altfel, termenii de „invarianță” și „simetrie” sunt folosiți în lucrare ca fiind sinonimi.

⁸ I. M. Yaglom, *op. cit.*, p. 115. În reconstrucția ideii lui Klein, pe lângă domeniul de definiție și grupul de transformări definit pe acel domeniu, Yaglom mai adaugă ca necesar pentru definirea unui sistem geometric un element generativ ζ , un atom, cel mai simplu element din domeniu care este piatra de construcție pentru toate figurile ce vor fi studiate – elementul poate fi un punct, o dreaptă, un cerc, o parabolă (p. 118).

⁹ Cuplul $(G, *)$ format dintr-o mulțime nevidă G și o lege de compoziție $*$ are o structură algebrică de grup dacă sunt respectate următoarele trei axiome: 1. legea este asociativă: $x*(y*z)=(x*y)*z$, $\forall x, y, z$ din G ; 2. legea admite element neutru: $\exists e$ din G astfel încât $x*e=e*x=x$; 3. toate elementele din G sunt simetrizabile în raport cu legea $*$: $\forall x$ din G , $\exists y$ din G astfel încât $x*y=y*x=e$. Dacă legea de compoziție este și comutativă ($x*y=y*x$), atunci grupul se numește abelian. O lege de compoziție este o funcție definită pe mulțimea $G \times G$ cu valori în G . Desigur, legea de compoziție trebuie să fie corect definită: dacă $x, y \in G$, atunci $x*y \in G$. Istoric, conceptul de grup a fost introdus de matematicianul francez Evariste Galois (1811–1832) în legătură cu proprietățile mulțimii permutărilor soluțiilor unei ecuații. Rezultatele lui Galois au fost dezvoltate ulterior de Camille Jordan în lucrarea sa *Traite des substitutions et des equations algebriques* (1870). Aflați la Paris la acea dată, Felix Klein și Sophus Lie intră în contact cu Jordan de la care înțeleg importanța acestui nou instrument matematic – teoria grupurilor.

¹⁰ Margaret Morrison, „The new aspect: Symmetries as Meta-Laws-Structural Metaphysics”, în *Laws of Nature. Essays on the Philosophical, Scientific and Historical Dimensions*, edited by Friedel Weinert, Walter de Gruyter, Berlin, New York, 1995, p. 161. (Definiția este formulată în text pentru simetriile continue interne.)

sau „o simetrie este o transformare care lasă toate structurile relevante aceleași”¹¹. (Aceste definiții ale simetriei vor fi utile în partea a treia a lucrării, atunci când vom analiza legile naturii ca principii de invarianță.)

Pentru a avea o reprezentare clară asupra acestui program trebuie să înțelegem mai întâi ce este o transformare. Particularizată pentru geometrie, definiția este următoarea: „o transformare este o funcție bijectivă ale cărei domeniu și codomeniu corespund cu întregul spațiu”¹². Să precizăm noțiunile din structura *definiens*-ului:

1. O funcție f este o relație binară ce are proprietatea ca pentru orice element x considerat există cel mult un element y astfel încât x se află în relația f cu y ($y=f(x)$).
2. x -ul pentru care există în mod actual un y se numește argumentul funcției f . Mulțimea tuturor argumentelor funcției se numește domeniul de definire al funcției.
3. y se numește valoarea funcției f . Mulțimea tuturor valorilor funcției se numește codomeniul funcției.
4. O funcție bijectivă¹³ este o funcție care are proprietatea că oricare ar fi y din codomeniu, există un unic x din domeniul de definire al funcției astfel încât $f(x)=y$.

Un exemplu de transformare, în geometria euclidiană, este mișcarea corpurilor rigide¹⁴. Una din proprietățile corpurilor rigide este aceea că ele nu își modifică forma în timpul mișcării. Astfel, fiecărui punct ocupat de corp la începutul mișcării îi va corespunde un punct ocupat de corp la finalul mișcării. Între punctele ocupate de corp inițial și punctele ocupate de el la finalul mișcării se va stabili o funcție (o vom nota cu f). Specific acestui tip de transformare este faptul că distanța dintre punctele ocupate de corp nu se modifică. Dacă x și y sunt două puncte aflate la distanța d unul față de altul la începutul mișcării, iar $f(x)$ și $f(y)$ sunt punctele corespunzătoare lui x și y la finalul mișcării, atunci distanța dintre $f(x)$ și $f(y)$ va fi tot d . Vom spune că distanța este *invariantă* în cadrul acestei transformări. (Pentru matematicieni, prin definiție, mișcarea este o transformare în cadrul căreia distanța nu se modifică – transformare izometrică¹⁵).

După Klein toate noțiunile geometriei euclidiene sunt invariante sub toate mișcările, i.e. sub toate transformările izometrice. De fapt, aceste noțiuni sunt invariante sub o clasă mai largă de transformări: transformările de similaritate. Transformările de similaritate nu conservă mereu distanța, însă conservă raportul dintre două distanțe. De exemplu: dacă avem trei puncte x , y , z și distanța dintre y și z este mai mare cu 15% decât distanța dintre x și y , atunci rezultatul unei transformări de similaritate este tot trei puncte $f(x)$, $f(y)$, $f(z)$ cu proprietatea că distanța dintre $f(y)$ și $f(z)$ este cu 15% mai mare decât distanța dintre $f(x)$ și $f(y)$.

¹¹ Bas C. van Fraassen, *Laws and Symmetry*, Clarendon Press, Oxford, New York, 1989, p. 262.

¹² A se vedea și A. Tarski, *op. cit.*, p. 146.

¹³ Pentru a fi bijectivă, o funcție trebuie să fie atât injectivă ($\forall x', x''$ din domeniu, dacă $x' \neq x''$ atunci $f(x') \neq f(x'')$), cât și surjectivă ($\forall y$ din codomeniu $\exists x$ din domeniu astfel încât $f(x)=y$). O funcție bijectivă stabilește o corespondență biunivocă între elementele domeniului și codomeniului.

¹⁴ În schițarea *Programului de la Erlangen* al lui Klein, voi folosi îndeaproape prezentarea lui Tarski a ideilor esențiale ale acestui program.

¹⁵ A. Tarski, *op. cit.*, p. 147.

Pe baza transformărilor de similaritate, Klein definește noțiunile geometriei metrice¹⁶. Noțiunile geometriei metrice sunt invariante sub toate transformările de similaritate posibile. Dacă restrângem clasa transformărilor, atunci vom extinde clasa noțiunilor invariante sub aceste transformări. În direcția opusă, putem să lărgim clasa de transformări și prin aceasta să restrângem clasa noțiunilor invariante. De exemplu: putem include transformări în cadrul cărora distanța se poate schimba, dar poziția lineară reciprocă a punctelor rămâne neschimbată. Dacă trei puncte se află pe o dreaptă, atunci și imaginile lor după transformare se vor afla tot pe aceea dreaptă, iar imaginea punctului situat inițial între celelalte două puncte se va afla între imaginile acelor puncte. Acest tip de transformări se numește transformări afine. Pe baza transformărilor afine, Klein definește noțiunile geometriei descriptive¹⁷. Acestea sunt noțiunile invariante sub toate transformările afine.

Putem extinde clasa transformărilor prin includerea transformărilor care nu conservă relația „între” și chiar transformări ce nu conservă coliniaritatea inițială a punctelor. Ceea ce conservă aceste transformări este conexitatea¹⁸ și închiderea. O figură conexă rămâne conexă, o curbă închisă rămâne închisă. Acest tip de transformări se numește transformări continue. Noțiunile definite pe baza transformărilor continue sunt noțiunile topologiei.

În sinteză, clasificarea noțiunilor geometrice efectuată de Klein după criteriul tipului de transformare este următoarea:

1. noțiuni invariante sub transformările de similitudine (geometria metrică);
2. noțiuni invariante sub transformările afine (geometria descriptivă);
3. noțiuni invariante sub transformările continue (topologia).

Raportul dintre extensiunea clasei de transformări și numărul noțiunilor invariante sub aceste transformări este unul de inversă proporționalitate. Dacă extindem clasa transformărilor, atunci noțiunile invariante sub aceste transformări vor deveni mai puține. Noțiunile invariante sub o clasă mai extinsă de transformări sunt însă, totodată, și mai generale. Spre exemplu, pe baza noțiunilor din geometria metrică putem distinge un triunghi de altul – fapt ce nu poate fi realizat în geometria descriptivă. În geometria descriptivă, deși nu putem distinge între două triunghiuri, putem distinge între un triunghi și un quadrunghi. Dat fiind gradul crescut de generalitate al noțiunilor topologiei, în cadrul acestei discipline nu putem distinge între două poligoane și nici măcar între un poligon și un cerc – printr-o transformare continuă putem să ajungem de la un poligon la un cerc; figura va rămâne conexă și închisă. Ceea ce putem realiza prin noțiunile topologiei este să distingem un triunghi

¹⁶ Geometria metrică este ramura geometriei care studiază spațiile metrice. Acestea sunt mulțimi în care distanța dintre elemente lor este definită. Geometria metrică se bazează – după Tarski – doar pe noțiunile de „punct” și „congruență” – noțiuni metrice primitive. (a se vedea John Corcoran, nota 3 la textul: Alfred Tarski „What are Logical Notions?”, *History and Philosophy of Logic*, 7 (1986), 143–154).

¹⁷ Geometria descriptivă este știința care studiază metodele de reprezentare exacte ale corpurilor prin metoda proiecțiilor. După Tarski, geometria descriptivă este o subdisciplină aparte a geometriei în sensul că noțiunea „între” este definibilă prin „punct” și „congruență” însă noțiunea „congruență” nu este definibilă prin „punct” și „între” (J. Corcoran, nota 4, *op. cit.*).

¹⁸ Conexitatea este proprietatea unui obiect de a fi alcătuit „dintr-o singură bucată”, de a nu avea discontinuități în structura sa. De exemplu: figura „8” este un obiect conex de vreme ce semnul „i” nu este un obiect conex (între bara verticală și punctul de deasupra există discontinuitate, nu este un obiect *integr*).

de două triunghiuri, deoarece transformările continue nu ne permit să trecem de la un triunghi la două triunghiuri. Dacă avem un triunghi dintr-o funie, îl putem separa în două triunghiuri doar dacă vom rupe funia – caz în care transformarea nu va mai fi continuă.

Definirea unei discipline prin determinarea conceptelor ei centrale – ca noțiuni invariante sub un grup de transformări – devine în timp, datorită operaționalității sale, o adevărată metodă. Să urmărim aplicarea ei în domeniul logicii.

3. PROGRAMUL DE LA ERLANGEN ÎN LOGICĂ

Alfred Tarski propune o explicație a noțiunilor logicii pe modelul definiției construite de Klein pentru cele geometrice – ca noțiuni invariante sub un anumit grup de transformări. Ideea centrală a lui Tarski este aceea că gradul de generalitate al noțiunilor invariante crește odată cu extinderea clasei de transformări. Dacă punem în conjuncție această idee cu concepția general acceptată că noțiunile logicii sunt cele mai generale noțiuni, atunci vom înțelege că mulțimea transformărilor sub care noțiunile logicii rămân invariante trebuie să fie cea mai extinsă. Sintetizată într-o definiție, ideea lui Tarski este următoarea: noțiunile logicii sunt invariante sub toate transformările posibile ale lumii în ea însăși. Textual: „numim o noțiune «logică» dacă este invariantă sub toate transformările posibile ale lumii în ea însăși.”¹⁹

Este această metodă de definire a noțiunilor logicii una operațională? Sunt noțiunile logicii invariante sub toate transformările întregului domeniu de discurs²⁰ în el însuși? Tarski răspunde afirmativ. Răspunsul este susținut prin exemplificări. Explicația lui nu este una normativă – nu ne spune ce ar trebui să fie noțiunile logicii –, ci este una în acord cu practica reală a logicii. Noțiunile logicii selectate și puse în evidență de Tarski fac parte din următoarele categorii semantice:

1. individuali;
2. clase de individuali;
3. relații binare;
4. clase de clase (proprietățile claselor de individuali);

Pe baza criteriului invarianței sub toate transformările posibile trebuie identificate noțiunile logicii din fiecare din categoriile semantice amintite mai sus. Ce individuali rămân invariante sub toate transformările posibile ale universului de discurs în el însuși? Pe temeiul că putem găsi mereu o transformare a lumii în ea însăși prin care un individual este transformat într-un individual diferit răspunsul este că printre individuali nu se află nicio noțiune a logicii.

Ce clase de individuali rămân invariante sub toate transformările posibile ale universului de discurs în el însuși? Aici avem două elemente: clasa universală și clasa vidă. Aceste clase sunt singurele exemple de noțiuni ale logicii la acest nivel. Printre relațiile binare, logica are reprezentanți patru tipuri de relații: *relația universală* – se

¹⁹ Alfred Tarski, *op. cit.*, p. 149.

²⁰ Termenii „univers de discurs”, „spațiu”, „lume” sunt folosiți de Tarski pentru a indica că domeniul și codomeniul acestor transformări sunt cele mai extinse.

stabilește mereu între oricare două elemente, *relația vidă* – nu se stabilește niciodată; *relația de identitate* – se stabilește doar între două elemente atunci când sunt identice; *relația de diversitate* – este opusul celei de identitate și se stabilește între două elemente atunci când acestea sunt diferite. Aceste relații logice binare se stabilesc doar între individuali.

Printre elementele celei de-a patra categorii semantice, noțiunile logicii prezente sunt cele referitoare la numărul elementelor din clasele considerate. Altfel spus, noțiunile invariante sub toate transformările universului de discurs în el însuși sunt proprietățile referitoare la numărul elementelor din aceste clase: că are trei elemente, sau patru ... că este finită sau că este infinită –acestea sunt noțiunile logicii la acest nivel.

Consecința acestei ultime concluzii – conform căreia noțiunile logicii printre clasele de clase sunt referitoare la numărul elementelor claselor – este aceea că logica nu este nicio disciplină a intensiunilor, nici a extensiunilor²¹, ci este o disciplină a relațiilor numerice. În acest caz, două clase care conțin doi individuali nu pot fi distinse deoarece se poate găsi o transformare a universului de discurs sub care una din cele două clase este transformată în cealaltă. Metoda poate fi aplicată – conchide Tarski – și la nivelul altor categorii semantice (relații între clase) pentru a identifica noțiuni logicii, însă el își oprește analiza aici (obiectivul lucrării fiind unul de explicare a noțiunilor logicii, iar nu de enumerare și clasificare exhaustivă ale lor)²².

Elementul central în structura acestei metode de definire este determinarea grupului de transformări. Pornind de la asumția că noțiunile logicii sunt cele mai generale, Tarski determină *definiens*-ul ca fiind grupul cel mai extins de transformări. Printre noțiunile logicii se află și relațiile logice (dintre individuali) – relațiile cele mai generale. După ce vom analiza în continuare relația dintre legile naturii și principiile de invarianță și statutul acestor principii (în secțiunea a V-a), explicația conceptului de lege a naturii în spiritul ideii lui Klein va deveni într-un totu clară.

4. PRINCIPIILE DE INVARIANTĂ ÎN FIZICĂ

„Marele succes al fizicii – notează E. Wigner – se datorează unei restrângeri a obiectivelor sale: ea se preocupă să explice regularitățile prezente în comportamentul obiectelor (iar nu toate proprietățile obiectelor – n.n.)”²³. Înțelegerea faptului că obiectul explicației (*explanandum*-ul) sunt aceste regularități poate fi considerată „cea mai mare descoperire a fizicii de până acum”²⁴. Regularitățile prezente în

²¹ Dacă logica ar fi a extensiunilor, atunci două noțiuni care au aceeași extensiune nu ar putea fi logic distinse chiar dacă ar avea intensiuni diferite.

²² Ideea lui Tarski a generat ulterior un adevărat program de cercetare în filosofia logicii. Pentru dezvoltări ulterioare și referințe bibliografice, se poate consulta: <https://plato.stanford.edu/entries/logical-constants/#PerInv>

²³ Eugene P. Wigner, *Events, laws of nature, and invariance principles* (Nobel Lecture, December 12, 1963), Nobel Lectures, Physics 1963–1970, Amsterdam, Elsevier Publishing Company, 1972, p. 6.

²⁴ *Ibidem*, p.6 .

fenomene, pe care știința își propune să le descopere, sunt numite *legile naturii*²⁵. Aceste legi determină comportamentul obiectelor ce cad sub incidența lor numai sub anumite condiții. Aceste condiții – în măsura în care nu sunt specificate de legi – se numesc condiții inițiale. Dacă punem în conjuncție legile fizicii (gândite ca reprezentări conceptuale și propoziționale ale legilor naturii într-o anumită teorie fizică) și condițiile inițiale, atunci putem specifica comportamentul ulterior al obiectelor, i.e. putem efectua predicții cu succes. În fizica clasică, iar această idee rămâne valabilă în orice teorie cauzală²⁶, se considera că pe baza legilor naturii și a condițiilor inițiale se poate determina complet comportamentul unui obiect, ideea ce își pierde valabilitatea în mecanica cuantică.

Dacă legile naturii sunt regularități ale evenimentelor (engl. *events*), iar obiectivul fizicii este descoperirea acestor regularități, atunci, datorită multiplicității tipurilor de interacțiuni între care nu cunoaștem nicio conexiune²⁷, avem temeiuri să credem că nu deținem decât o cunoaștere foarte restrânsă a acestor regularități.

Multiplicitatea evenimentelor ne-a îndemnat să ne îndreptăm atenția spre legile care le guvernează însă și pe această treaptă întâmpinăm dificultăți: și acest nivel legic prezintă pentru mintea umană o mare diversitate. În logica firească a lucrurilor se impune o redirectionare a demersului de cercetare. Trebuie să căutăm „un superprincipiu care stă cu legile naturii într-o relație similară cu aceea dintre legile naturii și evenimente”²⁸. „Superprincipiul” se referă la principiile de invarianță²⁹. Acest demers progresiv de la evenimente la legi și apoi la principii de invarianță „este – notează Wigner – ceea ce înțeleg eu prin ierarhia cunoașterii lumii din jurul nostru”³⁰. Cum legile ne permit să prezicem noi evenimente pe baza unor evenimente cunoscute, tot astfel principiile de invarianță trebuie să ne permită să stabilim noi legi ale naturii, i.e. corelații între evenimente, pe baza legilor cunoscute. Schema de deducție este următoarea:

1. Existența evenimentelor A, B, C, ... susține în mod necesar apariția evenimentului X.
2. Evenimentele A', B', C'.... și X' sunt obținute din A, B, C,...și X pe baza uneia dintre *transformările de invarianță*.

3. Existența evenimentelor A', B', C', ... susține apariția evenimentului X'.

²⁵ Pe parcursul lucrării, distincția dintre legile naturii și legile fizicii este următoarea: legile naturii sunt relații ce există în mod obiectiv în realitate, în lumea fizică, iar legile fizicii sunt expresia propozițională (și conceptuală) a acestor legități într-o anumită teorie fizică.

²⁶ *Ibidem*, p.7 .

²⁷ Acest argument menționat de Wigner îi aparține lui Yang, care menționează patru tipuri de interacțiuni: gravitațională, electromagnetică, nucleară slabă, nucleară tare. Acestea au un rol în fiecare proces, deși nu s-a putut stabili nicio conexiune între ele.

²⁸ *Ibidem*, p. 10.

²⁹ Pentru Wigner, expresiile „principii de invarianță” și „transformări de invarianță” sunt intersanjabile.

³⁰ Eugene Wigner, „Symmetries and Reflections”, Bloomington, IN: Indiana University Press, 1967, în *Symmetries in Physics Philosophical Reflections*, edited by Katherine Branding and Elena Castellani, Cambridge University Press, 2003, p. 370.

Pe scurt: dacă L este o lege a naturii și L' se obține pe baza unor transformări de invarianță din L , atunci și L' este o lege a naturii. Sau: „O lege a naturii poate fi acceptată ca validă numai dacă corelațiile pe care le postulează sunt consistente cu principiile de invarianță acceptate”³¹.

Central în această reconstrucție este conceptul de „transformări de invarianță”. Conform lui Wigner, există trei categorii de transformări de invarianță (principii de invarianță³²):

- a) Transformările euclidiene: relațiile dintre evenimentele inițiale le regăsim între evenimente și după transformari. (Legile nu se schimbă de la un loc la altul.)
- b) Transformările temporale: evenimentele după transformare apar într-un moment de timp diferit însă situate la aceleași intervale de timp unul de celălalt la fel ca evenimentele inițiale. (Legile nu se schimbă de la un moment de timp la altul.)
- c) Mișcarea uniformă: evenimentele după transformare apar a fi aceleași cu cele inițiale din punctul de vedere a unui sistem de coordonate aflat în mișcare uniformă.

Aceste principii de invarianță au două proprietăți³³: prima este că nu modifică evenimentele³⁴, ci doar localizarea lor spațio-temporală și starea de mișcare. Pe acest temei, i.e. comportarea evenimentelor similar corpurilor rigide de care am vorbit anterior, cele trei principii de invarianță se numesc geometrice. Cea de-a doua proprietate este aceea că ele sunt în mod efectiv principii de invarianță și nu de covarianță, deoarece postulează aceeași concluzie pentru evenimentele de după transformare ca și cea pentru evenimentele inițiale. Spre exemplu: dacă X se obține din $A, B, C...$ cu probabilitatea p și $A', B', C'...$ X' se obțin printr-o transformare de invarianță din $A, B, C,...$ X , atunci X' se va obține din $A', B', C'...$ cu aceeași probabilitate p .

Într-un cadru mai general putem formula următoarea definiție: principiile de invarianță sunt corelații între corelațiile dintre evenimente postulate de legile naturii. Principiile de invarianță alcătuiesc astfel „o structură în cadrul legilor naturii [...], iar

³¹ *Ibidem*, p. 12.

³² Aceste transformări sunt cele ale mecanicii newtoniene. Cele ale teoriei generale a relativității nu sunt discutate deoarece – consideră autorul – ele nu sunt transformări în sens geometric (conceptul va fi lămurit imediat). În fizica de astăzi, întâlnim – după T.D. Lee, *Symmetries, Asymmetries and World of Particles*, Seattle, University of Washington Press, 2005 – patru grupuri de transformări de simetrii:

1. simetrii permutaționale – schimbul reciproc de particule fizice elementare nu schimbă legile fizicii;
2. simetrii ale continuității spațio-temporale: a) translația în spațiu, b) rotația în spațiu, c) translația timpului, d) simetria vitezei, e) invariantele Lorentz, f) Invarianța sub principiul de echivalență al teoriei generale a relativității. Simetriile a)-d) formează grupul de transformări Galilei.
3. Simetriile discrete: a) simetria sarcini conjugate a particulei – simetria antiparticulei b) simetria parității c) simetria reversiunii timpului d) simetria CPT.
4. Simetriile Gauge: a) simetria $U1$ b) simetria $SU2$ c) simetria $SU3$. (Pentru detalii, a se vedea și Peter Mittelstaedt, Paul A. Weingartner *op. cit.*, pp. 76–81).

³³ E. Wigner, *op. cit.*, pp. 10–11.

³⁴ Există principii (crossing relations) – notează Wigner – care modifică evenimentele. Ele sunt mai degrabă principii de covarianță. De exemplu: din cunoașterea completă a secțiunii de încrucișare (cross section) pentru dispersia neutron-proton se poate obține cunoaștere despre secțiunea de încrucișare a coliziunii neutron-antineutron. Secțiunile și elementele din cadrul lor sunt în acest caz diferite. Prin urmare, principiile de transformare nu vor fi geometrice.

uneori această structură este atât de bogată încât legile naturii au fost găsite pe baza postulatului pe care ele îl respectă în structura de invarianță”³⁵. Ele reprezintă piatra unghiulară pentru stabilirea obiectivității unor noi legi ale naturii (așa cum aminteam mai sus când am prezentat schema de deducție a legilor pe baza principiilor de invarianță). De asemenea, principiile geometrice de invarianță au un rol hotărâtor deoarece corelațiile stabilite pe baza lor au o valabilitate ce depășește cadrul teoriilor fizice speciale (gravitație, electromagnetism ș.a.m.d.).

Semnificația dată de Wigner principiilor de invarianță este aceea de *meta-legi*. Înțelesul de bază al principiilor de invarianță este acela de legi. Orice lege poate fi înțeleasă ca principiu de invarianță în sensul că exprimă o invarianță, ceva ce nu se schimbă. Dacă acceptăm definiția lui Wigner, atunci un principiu de invarianță are și un statut de „principiu normativ, în sensul unei reguli valide pentru găsirea unor legi noi sau pentru a constrânge noile legi să respecte anumite proprietăți”³⁶. În măsura în care o lege nu va satisface aceste principii, ea va fi descalificată din statutul de lege a naturii. Într-un orizont obiectiv, un punct slab al acestei înțelegeri a principiilor de invarianță este că nu pot fi testate experimental – datorită caracterului lor normativ.

Care este totuși diferența dintre legi și principii de invarianță (în sensul de meta-legi)? Este o distincție după gradul de generalitate? După statut? Sau, în definitiv, este o distincție reală? Argumentele discutate ne sugerează considerarea distincției ca fiind una relativă, deoarece conținutul fizic al multor legi fundamentale ale fizicii poate fi formulat atât ca meta-legi, cât și ca legi (de ordinul I) despre sistemele fizice. Iată câteva exemple³⁷:

- a) Relativitatea în mecanica clasică:
 Lege: Toate sistemele inerțiale sunt echivalente.
 Meta-lege: Legile mișcării sunt invariante la schimbările sistemelor inerțiale.
- b) Paritatea în electrodinamică:
 Lege: Toate interacțiunile electromagnetice respectă invarianța parității.
 Meta-lege: Legile electrodinamicii sunt invariante sub schimbările parității.
- c) Invarianța permutațională:
 Lege: Toate sistemele fizice care diferă doar printr-o schimbare reciprocă de particule elementare de același tip (electron pentru electron, proton pentru proton) sunt echivalente.
 Meta-lege: Toate legile naturii sunt invariante relativ la schimbările permutaționale.
- d) Invarianța CPT³⁸
 Lege: Toate fenomenele descreșterii radioactive respectă invarianța CPT.
 Meta-lege: Toate legile radiației sunt invariante relativ la simetriile combinate ale sarcinii conjugate a schimbării parității și reversiunii timpului.

³⁵ Eugene Wigner, „Symmetries and Reflections”, Bloomington, IN: Indiana University Press, 1967, în *Symmetries in Physics Philosophical Reflections*, edited by Katherine Branding and Elena Castellani, Cambridge University Press, 2003, p. 370. (A se vedea nota 45 pentru un exemplu din istoria științei.)

³⁶ Peter Mittelstaedt, Paul A. Weingertner, *Laws of nature*, Springer-Verlag, Berlin, Heilderberg, 2005, p. 73.

³⁷ *Ibidem*, pp. 73–74.

³⁸ „CPT” reprezintă combinarea următoarelor operații: C – schimbarea sarcinii, P – inversarea spațiului, T – schimbarea timpului.

5. STATUTUL PRINCIPIILOR DE INVARIANTĂ ÎN FIZICĂ

Ce statut au principiile de invarianță în fizică? Să considerăm mai întâi **a)** statutul epistemologic al acestor principii (cum le cunoaștem?), iar apoi **b)** statutul lor ontologic (ce tip de existență au?). Începem cu problema epistemologică, deoarece forma concretă în care ne sunt date aceste principii este expresia lor conceptuală și propozițională în cadrul științei. Problema existenței va fi tratată prin prisma angajamentelor ontologice ale științei, i.e. ale teoriilor științifice.

a) Statutul epistemologic

Modalitățile de înțelegere a principiilor de invarianță sunt în principal două³⁹: într-o abordare *a posteriori*, ipotezele nomologice⁴⁰ sunt supuse testării empirice, iar apoi sunt derivate principiile de invarianță din ipotezele care *au trecut testul* – principiile sunt derivate din legile cunoscute. Într-o abordare *a priori*, principiile de invarianță sunt înțelese ca având un rol fundamental în raport cu legile naturii pe care le guvernează. „Utilizarea principiilor de invarianță [...] creează un domeniu de principii a priori care guvernează procesul construcției unei teorii.”⁴¹ Un bun exemplu în acest sens este *invarianța gauge*. Ea a fost pusă în discuție pentru prima dată în 1918 de Hermann Weyl, care a emis ipoteza că legile fizicii ar trebui să rămână aceleași dacă scala (*gauge*) tuturor măsurătorilor distanței se schimbă printr-un factor constant. Weyl credea că această invarianță poate fi pusă în corespondență, utilizând teorema lui Noether⁴², cu legea conservării sarcinii electrice. Ipoteza lui Weyl nu a avut succes, însă l-a condus pe Fritz London în 1927 la descoperirea invarianței corespunzătoare legii conservării sarcinii electrice (invarianța fazei, i.e. câmpul magnetic permite o variație arbitrară a fazei de la un punct la altul în timp și spațiu). Ulterior s-a evidențiat că pe baza invarianței gauge se poate determina forma interacțiunilor materie – câmp și se poate defini conținutul dinamic al unei teorii a interacțiunilor tari. Astăzi, pe lângă faptul că oferă o metodologie a construirii unei teorii a interacțiunilor tari și slabe, „invarianța gauge funcționează ca o lege structurală care determină anumite constrângeri asupra sistemelor fizice.”⁴³

Așadar, deși sunt formulate inductiv plecând de la ipotezele confirmate empiric, principiile de invarianță au o valabilitate care depășește limitele acestor ipoteze și dobândesc statutul de meta-legi⁴⁴. Faptul că funcționează ca meta-legi nu

³⁹ John Earman, *Laws, Symmetry, and Symmetry Breaking: Invariance, Conservation Principles, and Objectivity*, *Philosophy of Science*, 71 (December 2004), p. 1230.

⁴⁰ Enunțurile din fizică menite a exprima o lege a naturii (candidații la statutul de legi ale fizicii).

⁴¹ Margaret Morrison, *op. cit.*, p. 159.

⁴² Emmy Noether a demonstrat matematic în 1915 că, pentru orice invarianță sub un grup de transformări, există o lege de conservare (și viceversa). Astfel: translației în timp îi corespunde conservarea energiei; translației în spațiu îi corespunde conservarea momentului; rotației în spațiu îi corespunde conservarea momentului unghiular.

⁴³ Margaret Morrison *op. cit.*, p. 174.

⁴⁴ Pe această direcție pare a se înscrie și Wigner. El aduce în discuție prin progresia evenimentelor legi-principii de invarianță „ierarhia cunoașterii lumii din jurul nostru”. În viziunea lui principiile de invarianță au un rol prim în ordinea organizării axiomatice a cunoștințelor și totodată sunt temeiuri a priori pentru validarea ipotezelor nomologice.

implică că aceste principii sunt cunoscute independent de experiență, ci doar ilustrează validitatea lor în a guverna legile „de ordinul I”. Astfel, un candidat pentru statutul de lege a naturii care încalcă principiile de simetrie (cunoscute) este respins fără a apela la experimente⁴⁵. În măsura în care li se acordă un statut *a priori*, *a priori*-ul avut în vedere trebuie înțeles ca fiind unul constitutiv relativizat, i.e. un principiu este *a priori* dacă are rolul de a defini un anumit cadru teoretic și conceptual bine delimitat de alte cadre teoretice. Aceasta deoarece principiile de invarianță sunt valabile relativ la o anumită teorie fizică cadru (transformările Galilei pentru legile newtoniene, transformările Lorentz pentru legile teoriei relativității⁴⁶). Nicio lege a naturii nu este invariantă sub orice transformare. O lege poate fi invariantă relativ la transformările T1, dar să nu fie invariantă relativ la transformările T2. Legile lui Newton sunt invariante relativ la transformările Galilei, însă nu sunt invariante relativ la transformările Lorentz. Legile descreșterii radioactive sunt CPT-invariante, însă nu sunt invariante din punct de vedere al parității⁴⁷. Altfel spus: „o lege L ce descrie sistemul fizic S este invariantă sub o transformare G corespunde faptului că S nu se schimbă dacă transformarea G se execută asupra acestui sistem fizic”⁴⁸. Spre exemplu: legile newtoniene ale mișcării (L) ce descriu sistemul soare-pământ (S) sunt invariante sub transformările Galilei (G), corespunde faptului că sistemul soare-pământ nu se schimbă atunci când este supus acestor transformări.

Faptul că nicio lege a naturii nu este invariantă sub orice transformare este susținut și reflectat de existența a două tipuri de simetrii: simetrii globale și locale. În cazul simetriilor globale există o invarianță sub un set de transformări descris de un singur parametru ce se aplică făcând abstracție de locația spațio-temporală. În mod concret, simetriile globale se realizează sub transformările translației în spațiu și timp și rotației în spațiu – transformări ce nu depind de poziția spațio-temporală și afectează fiecare punct în aceeași modalitate. Obiectul acestor simetrii sunt evenimentele, lucrurile și proprietățile. Simetriile globale se mai numesc și externe (sau geometrice) deoarece guvernează obiecte care rămân invariante schimbărilor

⁴⁵ Huygens și Leibniz – fără să efectueze vreun experiment – aveau certitudinea că ipotezele lui Descartes ce se voiau a fi legi ale ciocnirilor elastice nu puteau fi legi ale fizicii deoarece aceste ipoteze nu respectau simetriile acceptate de ei (după J. Earman, *op. cit.*, p. 1231). După formularea teoremei lui Noether, găsim în istoria științei și cazuri în care principiile de invarianță sunt derivate din legile de conservare stabilite empiric. Așa s-a întâmplat atunci când din legea conservării sarcinii electrice s-a derivat invarianța fazei.

⁴⁶ Despre ecuațiile sau legile unei teorii care rămân neschimbate sub anumite transformări se spune că sunt covariante. Termenul de „invariantă” implică ca anumite obiecte să rămână aceleași sub anumite transformări – fapt ce ar duce la o angajare ontologică (Margaret Morrison *op. cit.* p. 162). Einstein caracterizează covarianța ca o formă de invarianță. El impune legilor fizicii condiția să fie covariante:

- a) Sub transformările Lorentz – covarianța Lorentz în teoria specială a relativității (*The Theory of Relativity*, în *Essays in Physics*, New York, Philosophical Library, p. 8).
- b) Sub transformările generale ale sistemului de coordonate – covarianța generală în teoria generală a relativității. (*On the Generalized Theory of Gravitation*, Scientific American 182, p. 347.) Citat după Friedel Weinert *Invariance, Symmetries and Structural Realism*, PhilSci Archive, 2007, p.4; at <http://philsci-archive.pitt.edu/archive/00003643>.

⁴⁷ A se vedea Peter Mittelstaedt, Paul A. Weingertner, *op. cit.* p. 74.

⁴⁸ *Ibidem*, p. 75.

externe ale sistemelor de referință spațio-temporale. De exemplu, un eveniment ce se petrece în locul x poate fi transferat în locul x' pe baza transformărilor Galilei ($x'=x-vt$). Simetriile locale (interne, dinamice) se realizează sub transformări ce implică schimbări care pot varia de la un punct la altul în ansamblul spațio-temporal (legile fizicii sunt invariante sub transformări locale ce pot fi diferite în fiecare punct în timp și spațiu). Obiectul acestor simetrii sunt interacțiunile electromagnetice, gravitaționale, tari și slabe dintre particulele elementare⁴⁹.

b) Statutul ontologic

Asumând că principiile de invarianță au un statut *a priori* – în sensul menționat – avem oare atunci bune temeiuri pentru a translața rolul lor de elemente prime în cunoaștere și în ordinea naturii? Au ele realitate ontologică? Înainte de a configura un răspuns la această întrebare, și pentru a-l face posibil, este necesar să introducem mai multe determinații prin plasarea ideii de invarianță într-un cadru teoretic mai general.

Cel puțin în reconstrucțiile teoretice ale ideilor sale, Platon susținea că realitate în mod efectiv au numai acele elemente neschimbătoare, imuabile sau, dacă introducem acest concept, *invariante*. În mod real, există numai Ideile (Formele), iar dialogurile platoniciene pun în evidență în mod precis distincția dintre ceea ce este stabil (real) și ceea ce este schimbător (aparent). Distincția revine în atenția gândirii în zilele noastre prin două *teorii cadru* ale fizicii de astăzi: teoria relativității și mecanica cuantică. Numeroși fizicieni sunt de părere că există o legătură între proprietățile invariante și ceea ce ar trebui să fie considerat real din punct de vedere fizic⁵⁰. Ambele teorii postulează existența unor elemente relative la un anumit sistem de referință, dar și a unor elemente ce rămân invariante în trecerea de la un cadru de referință la altul. „Dacă sistemele de referință sunt conectate unul cu celălalt prin transformări care păstrează anumiți parametri simetrici, atunci sunt elemente ale structurii care rămân invariante.”⁵¹ Instrumentul central prin care se pot delimita elementele invariante de cele ce se schimbă de la un cadru la altul sunt tocmai principiile de simetrie (invarianță). Ele permit anumite schimbări în sistemele de referință „fără a afecta structura fenomenelor fizice”⁵².

Înțelegem așadar că *structura* rămâne invariantă (conceptul ne este folositor deoarece integrează unele din elementele folosite de noi anterior). O structură este alcătuită din relate (elementele unei relații) și relații. Manifestarea fizică a unui structurii este un sistem. Spre exemplu, sistemul solar este alcătuit din relate (planetele și soarele) și din relații (legile lui Kepler, Newton). Rolul și statutul principiilor de simetrie sunt susținute de Weinert printr-un argument pe care îl reconstruim astfel⁵³:

⁴⁹ A se vedea M. Morrison, *op. cit.*, pp. 160–161, 167; F. Wienert, *op. cit.*, p. 11.

⁵⁰ Friedel Weinert, *op. cit.*, p. 2.

⁵¹ *Ibidem*, p. 4.

⁵² Bas C. van Fraassen, *op. cit.*, p. 243). Precizările următoare referitoare la „structură” se fac după Weinert.

⁵³ Friedel Weinert, *Invariance, Symmetries and Structural Realism*, PhilSci Archive, 2007, p. 12.

1. O structură este formată din relate (obiecte, proprietăți) și relații (legi).
 2. Faptul că relatele sunt guvernate de relații înseamnă că relațiile impun constrângeri structurale asupra relator, deoarece determină tipurile de relate care vor intra în relații.
 3. Printre relații se numără și principiile de simetrie și legile de conservare (pe baza teoremei lui Noether).
 4. Dacă principiile de simetrie impun constrângeri asupra structurii, i.e. asupra relator și relațiilor, atunci ele conservă structura.
-
5. Principiile de simetrie (invariantă) determină structura invariantă.

Consecința directă este următoarea: cum principiile de invariantă interrelaționează cu relatele și cu relațiile dintre relate, care nu sunt doar obiecte epistemologice, ci există în lumea fizică, atunci și ele, „datorită acestei interrelaționări, au un temei în lumea reală”⁵⁴.

Deși legile de conservare au un statut ontologic relativ clar, „de vreme ce majoritatea legilor de conservare sunt rezultatul generalizărilor bazate pe date empirice”⁵⁵, M. Morrison consideră inferența de la simetriile ecuațiilor la simetria fizică actuală a lumii ca fiind una problematică. Din moment ce teoremele lui Noether sunt constrângeri asupra ecuațiilor, în limitele rigorii matematice, nu avem temeiuri să susținem că principiile de invariantă ce guvernează ecuațiile teoriei există în lumea fizică. Ideea este susținută de Margaret Morrison astfel:

1. Pentru orice simetrie continuă a unui sistem în forma Lagrange există o cantitate conservată de dinamica sa (pe baza teoremei Noether).
 2. În formularea Lagrange a unei teorii fizice, simetria în chestiune este de fapt a formulării Lagrange.
-
3. Cum forma Lagrange determină ecuațiile mișcării unui sistem, atunci simetria este a ecuațiilor mișcării, i.e. a teoriei însăși.

În cazul simetriilor geometrice, distincția dintre planul formal al simetriilor și existența lor reală în lumea fizică este greu sesizabilă deoarece invariantele sunt caracterizate în termeni spațio-temporali, iar proprietățile lor sunt considerate consecințe ale omogenității și izotropiei spațiului și timpului însuși. Atunci când analizăm alte tipuri de simetrii, distincția dintre planul formal și cel material devine mult mai clară, deși „există tentația de a asuma că un sistem simetric în forma Lagrange implică în mod direct corespondența cu o simetrie existentă în lumea fizică”⁵⁶.

Pentru a putea întemeia inferența *problematică* de la simetriile ecuațiilor la simetria existentă în lumea fizică este necesară justificarea interrelaționării principiilor de simetrie cu elementele lumii fizice (relatele și relațiile). Unele fenomene din lumea fizică fac plauzibilă existența în lumea fizică a principiilor de invariantă. Iată câteva temeiuri în acest sens⁵⁷: primul temei este dat de existența în lumea fizică a fenomenului de „rupere” a simetriilor (*broken-symmetries*). Fenomenul de rupere a simetriilor este dependent de tipul de fenomene considerate. Simetriile Lorentz sunt

⁵⁴ *Ibidem*, p. 14.

⁵⁵ Margaret Morrison, *op. cit.*, p. 166.

⁵⁶ *Ibidem*, p. 167.

⁵⁷ Friedel Weinert, *op. cit.*, pp. 15–18. Peter Mittelstaedt, Paul A. Weingertner, *op. cit.*, pp. 82–85.

respectate de fenomenele electromagnetice, însă sunt încălcate de mecanica newtoniană. Pentru simetriile pare (simetriile dreapta-stânga) s-a constatat experimental (C.S. Wu, 1957) că sunt încălcate în interacțiunile slabe, de vreme ce în interacțiunile tari ele se păstrează. Wienert susține că această încălcare este tocmai o dovadă pentru existența simetriilor în natură. Afirmatia poate fi înțeleasă dacă luăm în seamă următorul fapt: încălcarea simetriilor nu distruge simetriile, ci le ascunde. Ruperea simetriilor la un anumit nivel presupune existența simetriei la un alt nivel. De exemplu: interacțiunile slabe încalcă simetria la o scală de 10^{-29} , însă sunt simetrice la o scală de 10^{-16} . Al doilea temei este că simetriile reflectă interrelaționarea fenomenelor din natură. Ideea este susținută astfel: sunt temeiuri pentru a crede că universul este alcătuit din sisteme și subsisteme interrelaționate, iar teoriile științei reflectă această interrelaționare. În structura unei teorii, principiile de simetrie au un rol hotărâtor în redarea interrelațiilor și în unificarea lor. În măsura în care teoria este confirmată empiric, atunci, odată cu relatele și relațiile postulate de teorie, sunt confirmate și principiile de simetrie datorită interrelaționării lor cu relatele și relațiile pe care le guvernează. De exemplu, Weinert conchide că știința nu oferă nicio justificare pentru distincția arbitrară dintre considerarea relatelor și relațiilor ca aparținând realității și principiile de simetrie ca aparținând epistemologiei.

6. DEFINIREA CONCEPTULUI DE *LEGE A NATURII*

După cum am menționat, în metoda de definire propusă de Felix Klein este esențială precizarea grupului de transformări sub care anumite noțiuni rămân invariante. Dacă în cadrul logicii problema se punea relativ simplu – noțiunile ei fiind *imune* la orice transformări –, în ceea ce privește legile naturii, grupul de transformări pare a fi mai restrâns. Argumentul este acela că putem concepe o transformare a lumii actuale într-o altă lume (posibilă) în care legile logicii rămân valabile, însă legile naturii își pierd valabilitatea. Astfel, putem concepe o lume în care nu se respectă legea inerției însă nu putem concepe o lume în care nu se respectă principiul identității. Spunem în acest caz că necesitatea logică este mai puternică decât cea fizică.

Steven Weinberg introduce conceptul de *grup de simetrie al naturii*, pe care îl putem înțelege în mod general ca totalitate a transformărilor ce prezervă regularitățile din natură. El sugerează că, „pe lângă principiile mecanicii quantice, specificarea grupului de simetrie al naturii ar putea fi tot ceea ce avem nevoie să spunem despre lumea fizică”⁵⁸, în sensul că am obține o cunoaștere *finală* a universului dacă am intra în posesia cele două seturi de principii. În această ipoteză, „...universul însuși s-ar arăta ca o reprezentare extinsă, dar reductibilă a grupului de simetrie al naturii”⁵⁹. Dacă utilizăm conceptul lui Weinberg de *grup de simetrie al naturii* într-un sens mai puțin tehnic și relativizat, i.e. ca pe un grup de anumite transformări ale lumii fizice, o caracterizare a legilor naturii se poate formula astfel: legile naturii sunt acele relații invariante sub transformările grupului de simetrie a naturii. Practic, problema ce se

⁵⁸ Steven Weinberg, „Towards the Final Laws of Physics”, in *Elementary Particles and the Laws of Physics. The 1986 Dirac Memorial Lectures*, p. 73.

⁵⁹ *Ibidem*, p. 80.

ridică în acest punct este precizarea acestui grup de transformări. Problema nu poate căpăta însă un răspuns exact, deoarece precizarea extensiunii grupului de transformări este relativă la un anumit stadiu al cunoașterii fizice. Pot exista și alte transformări sub care legile naturii rămân invariante, dar care nu au intrat încă în sfera cunoașterii noastre. În prezent, extensiunea grupului cuprinde următoarele clase (a se vedea nota 32 a acestei lucrări): simetrii permutaționale, simetrii ale continuității spațio-temporale, simetriile discrete și simetriile Gauge.

Se impune totuși o precizare: așa cum am evidențiat mai sus (V.a.), unele legi sunt invariante sub anumite transformări, însă nu și sub altele. Astfel, caracterizarea noastră suferă o modificare: o lege a naturii este acea relație invariantă sub *anumite* transformări din grupul de simetrie a naturii. Desigur, o clasificare a legilor naturii după criteriul transformărilor sub care rămân invariante necesită o analiză mai aprofundată a fenomenului invarianței în fizică.

REFERINȚE

1. Carnap, R., „Empiricism, Semantics, and Ontology”, *Revue Internationale de Philosophie*, 4 (11):20–40 (1950)
2. Earman, John „Laws, Symmetry, and Symmetry Breaking: Invariance, Conservation Principles, and Objectivity”, *Philosophy of Science*, 71 (December 2004).
3. Klein, Felix. *A comparative review of recent researches in geometry*, translated by M.W. Haskell, Recent Researches in Geometry, July 1893.
4. Mautner, F. I. „An Extension of Klein’s Erlanger Program: Logic as Invariant-Theory”, *American Journal of Mathematics*, Vol. 68, No. 3 (Jul., 1946), pp. 345–384.
5. Mittelstaedt, Peter și Weingertner, Paul A. *Laws of nature*, Springer-Verlag, Berlin, Heilderberg, 2005.
6. Morrison, Margaret. „The new aspect: Symmetries as Meta-Laws-Structural Metaphysics”, în *Laws of Nature. Essays on the Philosophical, Scientific and Historical Dimentions*, edited by Friedel Weinert, Walter de Gruyter, Berlin, New York, 1995.
7. Tarski, Alfred. „What are Logical Notions?”, *History and Philosophy of Logic*, 7 (1986), 143–154.
8. van Fraassen, Bas C. *Laws and Symmetry*, Clarendon Press, Oxford, New York, 1989.
9. von Weizsacker, Carl Friedrich *The structure of Physics* (Original version: *Aufbau der Physik*, Hanser Verlag, Munich, 1985), translated into English by Helmut Birtz, Springer, 2006. (cap. Mathematical forms of the laws of nature).
10. Weinert, Friedel, „Invariance, Symmetries and Structural Realism”, PhilSci Archive, 2007; at <http://philsci-archive.pitt.edu/archive/00003643>.
11. Weinert, Friedel „Laws of nature – Laws of science”, în *Laws of Nature. Essays on the Philosophical, Scientific and Historical Dimentions*, edited by Friedel Weinert, Walter de Gruyter, Berlin, New York, 1995.
12. Weinberg, Steven, „Towards the Final Laws of Physics”, în *Elementary Particles and the Laws of Physics. The 1986 Dirac Memorial Lectures*, Lecture notes compiled by R. Mackenzie and P. Doust, Cambridge University Press, Cambridge, 1987, pp. 61–110.
13. Weyl, Hermann, *Classical groups. Their invariants and representations*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1973. (cap. I, sec. 4: Groups. Klein’s Erlanger program. Quantities).
14. Wigner, Eugene, „Events, laws of nature, and invariance principles” (Nobel Lecture, December 12, 1963), *Nobel Lectures, Physics 1963–1970*, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1972.
15. Wigner, Eugene, „Symmetries and Reflections”, Bloomington, IN: Indiana University Press, 1967, în *Symmetries in Physics, Philosophical Reflections*, edited by Katherine Branding and Elena Castellani, Cambridge University Press, 2003.
16. Yaglom, I.M., *Felix Klein and Sophus Lie. Evolution of the Idea of Symmetry in the Nineteenth Century*, Translated by Sergei Sossinsky, Boston; Basel: Birkhauser, 1988.