

# Przedmowa

Człowiek zajmujący się fizyką materii, na przykład optyką molekularną czy fizyką ciała stałego, niemal automatycznie analizuje symetrię badanych przez siebie obiektów. Bo na przykład:

- Od symetrii cząsteczki zależy, czy ma ona moment dipolowy. A to ma istotny wpływ na to, jaka jest przenikalność elektryczna złożonej z tych cząsteczek substancji.
- Od symetrii cząsteczek w wodnych roztworach substancji organicznych zależy, czy skręcają one płaszczyznę polaryzacji przechodzącego przez ośrodek światła<sup>1</sup>.
- Symetria kryształu o wiązaniach jonowych lub spolaryzowanych decyduje o tym, czy ma on właściwości piezoelektryczne.
- Jeżeli wbudować atom grupy d (jak chrom) w przezroczysty kryształ o wiązaniu jonowym (na przykład korund  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), atomowe stany d ulegają rozszczepieniu, które zależy od symetrii otoczenia tego atomu. Przejścia pomiędzy powstałymi w ten sposób stanami prowadzą do pojawienia się zabarwienia (korund domieszkowany chromem to rubin).

Przykłady można by mnożyć w nieskończoność.

W gruncie rzeczy jest aż dziwne, jak niewiele z tej tematyki znajduje się w nauczaniu szkolnym i w ramach pierwszego stopnia typowego kursu fizyki.

W programie szkoły średniej problemy symetrii stanowią zupełny margines. Pewne elementy pojawiają się w matematyce, w ramach planimetrii i stereometrii – zwykle jednak bez żadnego nawiązania do fizyki. W chemii mówi się trochę o symetrii cząsteczek, na przykład przy rozważaniu ich momentów dipolowych czy skręcania płaszczyzny polaryzacji przez roztwory związków organicznych. O przykładach tych mówiliśmy już wyżej. Trudno wskazać natomiast, gdzie tematyka ta omawiana byłaby szerzej w programie fizyki. Dlatego dla studentów rozpoczynających studia fizyki problematyka symetrii jest niemal zupełnie obca.

---

<sup>1</sup> Obserwacje skręcenia płaszczyzny polaryzacji przez roztwory różnych odmian kwasu winowego doprowadziły chemika Ludwika Pasteura do tego, że zajął się badaniami bakterii. Konsekwencje tej decyzji są ogólnie znane!

Zagadnienia symetrii pojawiają się oczywiście stale w typowym kursie fizyki pierwszych lat studiów. Na przykład w mechanice – przy omawianiu momentu bezwładności brył sztywnych. W elektromagnetyzmie – przy rozważaniu pól układów ładunków. W optyce – przy omawianiu dyfrakcji na otworach czy zjawiska dwójłomności. Śladowo – w elementach mechaniki kwantowej (choć znany podręcznik Landaua i Lifszycy poświęcał im cały rozdział). Szerzej – we wstępie do optyki i fizyki ciała stałego. W tych przedmiotach często symetrii poświęca się kilka wykładów wprowadzających<sup>2</sup>. Wszystko to są jednak wątki słabo ze sobą powiązane.

Problematyka symetrii niemal nie pojawia się w matematyce pierwszych dwóch lat studiów. Na Wydziale Fizyki UW, na trzecim roku, wśród przedmiotów do wyboru, istnieje wykład teorii grup. Jest on jednak prowadzony na bardzo wysokim poziomie abstrakcji, a przez to może być trudny dla wielu studentów bardziej zainteresowanych fizyką doświadczalną.

Omawiana książka ma stanowić rodzaj „pomostu” pomiędzy wiedzą wyniesioną przez studentów ze szkoły średniej i dwóch pierwszych lat studiów, a zaawansowanym i sformalizowanym wykładem teorii grup. Nie jest to podręcznik – choćby dlatego, że na naszym wydziale nie ma wykładu o tej tematyce. Powstała na bazie wykładu monograficznego, który autor prowadził wiele lat temu na Uniwersytecie Śląskim, dla studentów trzeciego roku i wyższych lat. Stąd pewna dowolność w ujęciu materiału. Często zagadnienia nie są omawiane w pełnej ogólności, ale ograniczają się do prostych przykładów, pozwalających jednak uchwycić istotę zagadnienia. Autor chciałby przede wszystkim, aby Czytelnik poznał pewien sposób patrzenia na rzeczywistość fizyczną, powszechnie stosowany w fizyce materii.

Problematyka symetrii w fizyce jest niezmiernie rozległa. W tej książce zajmujemy się przede wszystkim geometrycznymi symetriami tworów skończonych, takich jak cząsteczki chemiczne. Omawiać będziemy niemal wyłącznie:

- symetrie punktowe, czyli zachowujące co najmniej jeden punkt rozważanego obiektu;
- układy, które mają skończoną liczbę przekształceń symetrii.

W zasadzie zakłada się, że czytelnik zna materiał w zakresie pierwszych dwóch lat studiów:

- z matematyki, to znaczy rachunek różniczkowy, algebrę i geometrię analityczną;
- z fizyki – mechanikę, elektromagnetyzm, optykę i elementy mechaniki kwantowej.

Część I książki ma tytuł *W świecie geometrii elementarnej*. Do jej zrozumienia w zasadzie wystarczy znajomość matematyki i fizyki ze szkoły średniej. Wyjątek stanowią ilościowe rozważania dotyczące symetrii obrazów dyfrakcyjnych oparte na wiadomościach z drugiego roku studiów. W części tej omawia się:

---

<sup>2</sup> Takie rozwiązanie zostało zastosowane na przykład w podręczniku Pawła Kowalczyka *Fizyka cząsteczek*.

- ogólne właściwości izometrii w dwóch i trzech wymiarach;
- przekształcenia symetrii obiektów płaskich i przestrzennych;
- najprostsze zastosowania właściwości symetrii do zagadnień fizycznych: wspomniane wyżej obrazy dyfrakcyjne i momenty dipolowe cząsteczek.

W tej części wprowadza się także pojęcie grupy przekształceń.

Część II została nazwana *W świecie geometrii analitycznej*. Zgodnie z tytułem wykorzystuje ona materiał z algebry i geometrii analitycznej z dwóch pierwszych lat typowych studiów fizyki. W tej części omawia się:

- ogólne właściwości macierzy izometrii w dwóch i trzech wymiarach;
- macierze symetrii w dwóch i trzech wymiarach;
- typowe zastosowania fizyczne, na przykład symetrie tensora polaryzowalności cząsteczek.

W tej części pojawia się pojęcie reprezentacji macierzowej grupy symetrii.

Część III ma tytuł *W świecie reprezentacji*. W niej:

- pojęcie reprezentacji grupy omawia się na prostym przykładzie – fal stojących na membranie kwadratowej;
- omawia się inne przykłady reprezentacji grup, a w szczególności wzmiankuje się o relacjach ortogonalności;
- omawia się wybrane zastosowania: małe drgania klasycznych układów oddziałujących mas i właściwości prostych związanych stanów elektronowych.