

**ČÁST II - MATEMATICKÝ APARÁT  
A METODY FYZIKY**

5. Úvodní poznámky
6. Základy vektorového počtu
7. Operátory pole
8. Kvantověmechanické operátory
9. Metody statistické fyziky

## 5 ÚVODNÍ POZNÁMKY

Fyzikální skutečnost je velmi rozmanitá a složitá. Spočívá to jednak v tom, že často musíme řešit nejen problémy jedné, resp. několika částic, ale problémy velkých souborů (systémů) částic, jednak v tom, že fyzikální dění můžeme vždy popsat pomocí vztahů mezi jednoduchými veličinami. Existuje celá řada fyzikálních veličin, které jsou úplně určeny jedním údajem (velikostí v příslušných jednotkách). Jsou však i veličiny, které jsou určeny na skaláry, vektory a tenzory (věty 5.1 až 5.3). Při počítání s nimi se často setkáváme s operátory (definice 5.4)

### 5.1

Skalární fyzikální veličina (stručně skalár) je zcela určena jedním údajem (číslem), určujícím její velikost v příslušných jednotkách.

### 5.2

Vektorová fyzikální veličina (stručně vektor) je určena dvěma soubory údajů (jeden se vztahuje na velikost, druhý na jeho směr - celkově tři čísla).

### 5.3

Tenzor je fyzikální veličina, která je úplně určena více než dvěma soubory údajů (v nejjednodušším případě velikostí a dvěma směry - celkově pět čísel, v obecném případě devět čísel).

### 5.4

Operátor je znak nebo soubor znaků, které definují určitý předpis operace (odtud název) nebo úkonu s příslušnou veličinou. V užším slova smyslu operátor přiřazuje k funkci jinou funkci.

Skaláry jsou např. čas, délka, hmotnost, elektrický náboj, energie aj., vektory rychlost, zrychlení, síla, hustota elektrického proudu aj. Pomocí tenzoru se vyjadřují např. vlastnosti deformovatelných prostředí, anizotropní vlastnosti krystalů apod.

V zásadě můžeme všechny složitější fyzikální veličiny, tj. vektory a tenzory redukovat na soubory určitého počtu čísel - složek, tedy skalárů, takže není nevyhnutelně nutné vymýšlet nové algebry pro počítání s vektory a tenzory. Proti takovému postupu však stojí dvě vážné námitky:

1. výpočty ve složkovém tvaru jsou často neúměrně zdlouhavé a nepřehledné,
2. při složkovém výpočtu se úplně ztrácí fyzikální obsah veličin, takže teorie je velmi nenázorná.

S přihlédnutím na uvedené skutečnosti se v modernějších fyzikálních učebnicích jednoznačně používá druhá možnost, tj. přímé počítání s vektory a tenzory, což si vyžaduje zvládnutí základů tzv. vektorového a tenzorového počtu.

Zobecnění základních algebraických úkonů, tj. sčítání, násobení, dělení, derivace a integrace, vede k zavedení pomocného pojmu "operátor" (věta 5.4).

Podle této obecné definice je znak  $+$  operátorem sčítání, znak  $\times$  operátorem násobení,  $d/dx$  operátorem derivace atd. Obzvláště často se vyskytující složitější úkony ve fyzice se též zavádí jako nové operátory. Známé jsou např. Laplaceův a Hamiltonův operátor, operátory "grad", "div" a "rot", se kterými se seznámíme později. Výhoda tohoto formalizmu je v tom, že umožňuje stručný zápis základních fyzikálních principů a zákonů a že řešení složitějších problémů se často redukuje na řešení vzájemného "působení" operátorů.

Téměř všechny objekty fyzikálního výzkumu představují z mikroskopického hlediska systémy s obrovským počtem částic. V  $1 \text{ cm}^3$  vzduchu při normálním tlaku a při pokojové teplotě je asi  $3 \cdot 10^{19}$  molekul,

v  $1 \text{ cm}^3$  pevné nebo kapalné látky je asi  $10^{23}$  atomů, vedení elektrického proudu ve vodičích představuje uspořádaný pohyb asi  $10^{23}$  elektronů v každém  $\text{cm}^3$ . O obrovském počtu těchto částic si můžeme udělat představu, jestliže si uvědomíme, že kdybychom chtěli každý z uvedených elektronů jen označit nějakým znakem (např. -), popsali bychom knihy, které by pokryly Zemi do výšky asi 10 m. Kdyby lidstvo od svého vzniku nedělalo nic jiného, jen takto označovalo každý elektron v  $1 \text{ cm}^3$ , ještě by tuto práci nedokončilo. Je zřejmé, že v takových případech musíme přejít od popisu individuálních vlastností částic k popisu průměrných vlastností celého systému. Jenom takové průměrné veličiny jsou přístupné měření. Při zpracování velkých souborů částic používáme metody statistické fyziky, která se opírá o pojem pravděpodobnosti, známý z matematiky.

Závěrem ještě uvedme jeden charakteristický rys obecné metody zkoumání fyzikálních jevů. Na začátku zkoumání určitého jevu se zpravidla opíráme o experimentálně zjištěná fakta, která charakterizujeme fyzikálními veličinami. Vzájemné vztahy mezi veličinami popisujícími určitý děj, nazýváme fyzikální zákon. Tuto metodu budování fyzikální teorie nazýváme induktivní metoda. Přísně vzato, platnost odvozených zákonů se omezuje jen na skutečně vykonané experimenty. Často se však získaný zákon jeví natolik obecný, že jeho platnost postulujeme na všechny jevy, kterých se týká. Tak vznikají ve fyzice principy. Jejich význam je v tom, že umožňuje budování fyzikální teorie i opačným směrem - od obecných principů ke specifickým zákonům. Tato metoda se nazývá deduktivní metoda a sehrála ve fyzice velmi důležitou roli, protože umožnila předpovědět celou řadu jevů, na které by fyzici induktivní metodou sotva kdy přišli.