

Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Facultas Rerum
Naturalium. Mathematica-Physica-Chemica

Jozef Janovič

Príspevok k zaradeniu štatistických prvkov do stredoškolskej fyziky

Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Facultas Rerum Naturalium. Mathematica-Physica-Chemica, Vol.
12 (1972), No. 1, 147--153

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/119975>

Terms of use:

© Palacký University Olomouc, Faculty of Science, 1972

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

PRÍSPEVOK K ZARADENIU ŠTATISTICKÝCH PRVKOV DO STREDOŠKOLSKEJ FYZIKY

JOZEF JANOVIČ

(Predloženo dne 30. června 1971)

Věnováno prof. dr. Josefu Fukovi k 65. narozeninám.

1. 1 Pri štúdiu fyziky v strednej škole sa študenti oboznamujú s vedúcimi ideami vývoja fyziky, s fyzikálnymi teóriami a metódami fyzikálneho bádania. V stredoškolskej fyzike sa preberajú molekulárno-kinetická, elektrónová a atómová teória. Z fyzikálnych metód sa študenti najčastejšie stretávajú s experimentálnou metódou, menej často ale s metódami, ktoré sa používajú v teoretickej fyzike. Napríklad napriek tomu, že viaceré javy preberané v stredoškolskej fyzike majú štatistický charakter, študenti sa v strednej škole so štatistickou metódou štúdia a opisu fyzikálnych javov neoboznamujú.

V súčasných návrhoch na modernizáciu obsahu stredoškolskej fyziky sa zhodne vyslovuje požiadavka vysvetľovať niektoré fyzikálne javy zo štatistického hľadiska už na strednej škole. Odporúča sa zoznamiť stredoškolských študentov so štatistickou metódou štúdia fyzikálnych javov a s obsahom pojmu štatistický zákon. Pociťuje sa potreba rozšíriť v tomto smere obsah všeobecného vzdelania absolventov stredných škôl.

1. 2 V tomto príspevku je opísaný súčasný stav vo vysvetľovaní fyzikálnych javov zo štatistického hľadiska v českých, slovenských i niektorých zahraničných učebniciach fyziky pre stredné školy. Predložený je tiež návrh na výber štatistických prvkov a varianty ich zaradenia do fyziky plynov na strednej škole.*

Fyzika plynov sa javí ako najvhodnejšie miesto pre zaradenie niektorých štatistických prvkov do stredoškolskej fyziky. Model ideálneho plynu je jednoduchý a pre študentov pochopiteľný. Možno im na ňom vhodným spôsobom demonštrovať štatistickú metódu skúmania fyzikálnych javov. Na zákonoch, ktorými sa riadia plyny, možno nielen vytvárať predstavu a postupne i pojem štatistického zákona, ale aj vysvetliť rozdiel medzi dynamickými a štatistickými zákonmi.

V plynoch môže byť východisko k výkladu molekulovej štruktúry kvapalín a stavby tuhých látok a teda aj k vysvetľovaniu ich vlastností, pri ktorom možno použiť už i nové štatistické predstavy a pojmy.

2. V novších českých a slovenských učebniciach fyziky [1], [2], [3], [4], [5] sa postupne upúšťa od fenomenologického výkladu vlastností plynov. Tieto sa stále viac vysvetľujú na základe kinetickej teórie látok, do ktorej v niektorých učebniciach prenikli aj štatistické prvky.

* Niektoré návrhy sú metodicky spracované v [20], [22].

V učebnici [2] v článku nazvanom „*Kinetická teória plynov*“ sa uvádza možnosť aplikovať na súbor molekúl plynu štatistické metódy a určiť priemernú rýchlosť molekúl. Pomocou strednej hodnoty kinetickej energie molekúl plynu sa definuje teplota. V náznakoch sa v texte hovorí aj o rozdelení molekúl plynu podľa rýchlostí, o fluktuáciách teploty a hustoty plynu. Je to prvá z našich učebníc fyziky, v ktorej bol urobený aspoň nesmelý pokus o zavedenie štatistických predstáv do výkladu javov v plynách.

V súčasne platnej učebnici fyziky pre stredné všeobecnovzdelávacie školy [5] sú zahrnuté všetky základné črty kinetickej teórie látok a pri opisovaní niektorých javov sa používajú štatistické pojmy. V článku nazvanom „*Presnejší obraz rozdelenia rýchlostí molekúl v plyne*“ je prvýkrát v československých učebniciach fyziky pre stredné školy opísaný *Sternov pokus* na meranie rýchlostí molekúl plynu, graf rozdelenia molekúl plynu podľa rýchlostí a zavádza sa pojem stredná kvadratická rýchlosť.

Táto učebnica, napriek niektorým nedostatkom, je vyvrcholením doterajších snáh českých a slovenských autorov stredoškolských učebníc fyziky o organické zaradenie kinetickej teórie látok do stredoškolskej fyziky. Súčasne sa v nej urobil prvý konkrétny pokus o štatistický výklad niektorých javov preberaných v stredoškolskej fyzike a zoznámenie študentov so štatistickou metódou opisu fyzikálnych javov.

2.2 V niektorých zahraničných učebniciach fyziky sa štatistické pojmy vyskytujú pri výklade Brownovho pohybu, difúzie, tlaku plynov, zákonov platných pre plyny a pri štatistickej interpretácii termodynamických viet.

V učebnici [6] je opísaný *Sternov pokus*, *Maxwellovo rozdelenie molekúl plynu podľa rýchlostí* a uvádzajú sa v nej pojmy *stredná kvadratická rýchlosť*, *stredná aritmetická rýchlosť* a *najpravdepodobnejšia rýchlosť molekúl plynu*.

V učebnici [7], ktorá sa od predchádzajúcej učebnice svojim poňatím v časti o molekulovej fyzike veľmi nelíši, pojmy uvedené v predchádzajúcom odstavci už chýbajú. V rámci kinetickej teórie plynov sa však vysvetľuje pojem *matematickej pravdepodobnosti*, ktorý sa potom aplikuje na model ideálneho plynu. Konštatuje sa, že stavové veličiny tlak, teplota a objem možno určiť pomocou stredných hodnôt molekulárnych veličín, ako sú hustota, rýchlosť a kinetická energia molekúl plynu.

V učebnici [8] možno nájsť štatistické prvky už pri výklade Brownovho pohybu a difúzie. V učebnici je opísaný *Sternov pokus*, udáva sa *tabuľka rozdelenia molekúl plynu podľa rýchlostí* a pojem *najpravdepodobnejšia rýchlosť molekúl plynu*. Obsah učebnice bol práve v oblasti týkajúcej sa štatistickej interpretácie niektorých javov dopĺňovaný článkami, ktoré boli uverejnené v časopise *Fizika v škole* [9] – [15].

V sovietskom návrhu na modernizáciu obsahu stredoškolskej fyziky sa počítalo so zaradením štatistických pojmov, s vytváraním pojmu *štatistický zákon*, s oboznánením študentov so štatistickou metódou skúmania a opisu fyzikálnych javov a s používaním tejto metódy vo všetkých ďalších častiach fyziky, teda nielen vo fyzike plynov.

V učebnici [16] je v rámci výkladu o kinetickej teórii látok zaradený obsiahly článok nazvaný „*Príčinnosť a pravdepodobnosť*“, v ktorom sa na základe logickej úvahy, s použitím predchádzajúcich fyzikálnych poznatkov, vysvetľuje kauzálny princíp a nutnosť použitia štatistických metód pri opise pohybu molekúl plynu. V článku je tiež graf rozdelenia molekúl plynu podľa rýchlostí a jeho výklad z hľadiska pravdepodobnosti. V inom článku nazvanom „*Druhá veta termody-*

namická a pravdepodobnosť“ sa vysvetľuje pravdepodobnostný charakter tejto vety, znova sa z tohto hľadiska pojednáva o Brownovom pohybe a vykladá sa pojem *entropia*.

V rôznom rozsahu sa štatistické prvky nachádzajú aj v učebniciach, ktoré vznikli už v rámci prebiehajúceho modernizačného procesu. V učebnici [17] je to napríklad pri Brownovom pohybe a pri jeho modelovaní. V učebnici [18] je na záver kapitoly „*Kinetická teória*“ zaradený článok nazvaný „*Štatistická mechanika*“, v ktorom sa zdôvodňuje nutnosť použitia štatistických metód na opis pohybu molekúl plynu, vysvetľuje podstatu štatistického opisu fyzikálnych javov, druhá veta termodynamická a zavádzajú sa pojmy *fluktuácia* a *entropia*. V učebnici [19] sa v rôznych zväzkoch podrobne vysvetľuje pohyb molekúl plynu, štatistické rozdelenie molekúl plynu podľa rýchlostí a Maxwellova krivka.

3. Na základe uvedeného možno navrhovať doplnenie kinetickej teórie plynov v našich stredoškolských učebniciach fyziky o niektoré štatistické pojmy. Tieto by mali umožniť vyučujúcemu vytvárať u študentov štatistické predstavy o niektorých javoch v plynach, zoznámiť ich so štatistickou metódou skúmania a opisu fyzikálnych javov, ako aj s pojmom *štatistický zákon*.

V súčasnosti možno len ťažko očakávať potrebnú koordináciu medzi obsahom matematiky a fyziky na strednej škole. Študenti si preto budú musieť osvojiť základné pojmy zo štatistiky v rámci vyučovania fyziky. K takýmto budú patriť pojmy: *náhodný jav*, *štatistická jednotka*, *štatistický súbor*, *rozsah súboru*, *absolútna a relatívna početnosť náhodných javov*, *pravdepodobnosť výskytu náhodného javu* (pravdepodobnosť a posteriori); *makrostav* a *mikrostav*, *štatistické rozdelenie náhodných javov* (tabuľka), *makrorozdelenie* a *mikrorozdelenie náhodných javov*; *znázornenie štatistického rozdelenia náhodných javov* (histogramom a krivkou); *stredná aritmetická*, *najpravdepodobnejšia* a *stredná kvadratická hodnota veličiny*.

S niektorými pojmami a jednoduchými štatistickými predstavami bude možné zoznámiť študentov už pri štúdiu mechaniky, najmä pri spracovávaní výsledkov meraní. Iné bude pravdepodobne potrebné spracovať v osobitnom matematickom texte, ktorý by sa mohol zaradiť do úvodu k molekulovej fyzike. Ďalšie pojmy možno zaviesť, resp. precvičiť pri preberaní Brownovho pohybu a modelu ideálneho plynu. Meraním na grafe Brownovho pohybu a grafickým znázornením nameraných hodnôt, možno študentom demonštrovať štatistickú metódu skúmania a opisu fyzikálnych javov, v tomto prípade zákonitostí pohybu molekúl plynu [15], [20].

Niektoré abstraktnejšie štatistické pojmy, ako sú makrostav a mikrostav, makrorozdelenie a mikrorozdelenie náhodných javov a pojem pravdepodobnosti a posteriori, možno so študentami precvičiť na číselnom modeli rozdelenia molekúl plynu v nádobe [20].

Vyššie uvedené štatistické pojmy a postupy sa ešte v rámci fyziky plynov použijú a konkretizujú pri opise pohybu molekúl a Maxwellovho rozdelenia molekúl plynu podľa rýchlostí. Po opisanej predbežnej príprave študenti budú môcť pochopiť, že súhrn molekúl plynu v danom objeme možno považovať za štatistický súbor, v ktorom sú jednotlivé molekuly štatistickými jednotkami. Položia molekuly, vzdialenosť, ktorú prebehne molekula medzi dvomi zrážkami, veľkosť a smer rýchlosti, hybnosť a kinetická energia jednotlivých molekúl, to všetko sú náhodné veličiny, ktoré sa však riadia určitými štatistickými zákonmi.

Pri výklade o rýchlosti molekúl plynu bude môcť vyučujúci používať pojmy štatistické rozdelenie molekúl podľa rýchlostí, histogram rozdelenia molekúl podľa rýchlostí, makrorozdelenie a mikrorozdelenie molekúl podľa rýchlostí,

Maxwellova krivka; stredná aritmetická, najpravdepodobnejšia a stredná kvadratická rýchlosť molekúl plynu. Pomocou týchto pojmov si študenti budú môcť vytvoriť presnejšiu predstavu o plyne ako najjednoduchšom skupenstve látky. Oboznámia sa, a to nielen formálne, s tabuľkou rozdelenia molekúl plynu podľa rýchlostí a s grafickým znázornením tohto rozdelenia, čiže s vyjadrením jedného zo základných štatistických zákonov, Maxwellovho zákona rozdelenia.

V ďalšom sa budú štatistické pojmy a predstavy používať pri výklade o závislosti rýchlosti molekúl plynu od teploty, ale aj pri definovaní a interpretácii absolútnej teploty z hľadiska kinetickej teórie plynov, pri odvodzovaní základnej rovnice plynov a ďalších zákonov platných pre plyny [20], [21], [22].

Štatistické pojmy a vedomosti študentov o štatistickej metóde skúmania a opisu fyzikálnych javov a o štatistických zákonoch, nadobudnuté pri preberaní učiva o plynoch, bude možné uplatniť aj pri preberaní termodynamických procesov, niektorých javov v elektrine a magnetizme, v optike a atomistike. Všetky tieto aplikácie nadobudnú ešte výraznejšie štatistický charakter, keď sa zavedie pojem fluktuácia.

4. Zákony platné pre plyny boli pôvodne formulované na základe experimentov. Možno ich však odvodiť aj z kinetickej teórie plynov. Az j tohto dôvodu býva učivo o plynoch usporiadané v stredoškolských učebniciach fyziky rôznym spôsobom, pričom prevláda jeden alebo druhý spôsob výkladu. V ďalšom sú uvedené tri možné varianty usporiadania učiva, v ktorom sú už zahrnuté aj navrhované štatistické pojmy a postupy.

4.1 Pri preberaní učiva o plynoch sa možno pridržiavať historického postupu. Zoznámí študentov s Boyle -Mariottovým zákonom, Gay-Lusscovými zákonmi a so stavovou rovnicou ideálneho plynu, zaviesť pojem absolútna teplota a fenomenologicky interpretovaný pojem ideálneho plynu. O stavových veličinách tlak, teplota a objem sa bude hovoriť ako o makroskopických veličinách, ktoré charakterizujú stav telesa ako celku. Ideálny plyn sa bude definovať ako plyn, ktorý za každých podmienok spĺňa Boyle-Mariottov zákon, prípadne stavovu rovnicu plynov.

V ďalšom sa môže preberať kinetická teória plynov, doplnená štatistickými pojmami, ktoré už študenti poznajú (napr. z preberania Brownovho pohybu). Vlastnosti plynov sa budú znova vykladať na základe kinetickej teórie plynov a zo štatistického hľadiska.

V tejto časti učiva možno zachovať nasledujúci postup: *molekulárny model plynu, model ideálneho plynu, pohyb molekúl ideálneho plynu a jeho opis, zrážky molekúl, stredná voľná dráha; rýchlosť molekúl ideálneho plynu, Sternov pokus, molekulový lúč, odvodenie vzťahu pre strednú rýchlosť molekúl ideálneho plynu; rozdelenie molekúl ideálneho plynu podľa rýchlostí, tabuľka rozdelenia, histogram rozdelenia, Maxwellova krivka, analýza Maxwellovej krivky; najpravdepodobnejšia rýchlosť molekúl, stredná aritmetická rýchlosť molekúl; makrorozdelenie a mikrorozdelenie molekúl ideálneho plynu podľa rýchlostí; zmena rýchlosti molekúl plynu so zmenou teploty plynu; stredná kvadratická rýchlosť molekúl ideálneho plynu; základná rovnica kinetickej teórie plynov — rovnica pre tlak plynu; definícia teploty z hľadiska kinetickej teórie plynov; odvodenie zákonov platných pre plyny z rovnice pre tlak plynu; fluktuácia.*

4.2 Učivo o plynoch možno usporiadať aj tak, že na začiatku sa nebudú preberať experimentálne odvodené zákony pre plyny, ale sa študenti hneď oboznámia s kinetickou teóriou plynov doplnenou niektorými štatistickými pojmami. Pri ďalšom výklade učiva sa zachová postup, ktorý je uvedený v pred-

chádzajúcom odstavci. Veličiny tlak a teplota sa budú interpretovať ako stredné hodnoty účinkov mikrodejav v plynách. Zákony platné pre plyny, odvodené zo základnej rovnice kinetickej teórie plynov, sa budú študentom ilustrovať na vhodných experimentoch.

V tejto variante sú kinetická teória plynov a v nej použité štatistické prvky zaradené do stredoškolskej fyziky organicky. Netvorí dodatok, ktorým sa dopĺňa výklad vlastností plynov a experimentálne odvodené zákony platné pre plyny, ale podstatu, z ktorej tento výklad vychádza.

4.3 Oba predchádzajúce postupy možno obmeniť tak, že štatistické pojmy sa budú zavádzať až na záver preberania učiva o plynách. Pri matematickom odvozovaní rovnice pre tlak plynu, pri uvádzaní vzťahu pre teplotu a pri odvozovaní zákonov platných pre plyny, nemá Maxwelllovo rozdelenie molekúl podľa rýchlostí žiadnu úlohu. Môže sa preto prebrať aj na záver témy. Tu sa potom vysvetlia a použijú aj niektoré štatistické pojmy a dodatočne sa zo štatistického hľadiska doplní predchádzajúci výklad o plynách, najmä tlaku a teplote.

Štatistické pojmy sú v tejto variante usporiadania učiva o plynách vlastne len dodatkom k učivu, čím sa do určitej miery stráca možnosť demonštrovať študentom štatistickú metódu skúmania fyzikálnych javov a vytvárať u nich obsah pojmu štatistický zákon.*

5. Zaradenie niektorých štatistických pojmov a štatistickej metódy skúmania fyzikálnych javov do obsahu stredoškolskej fyziky, štatistická interpretácia niektorých fyzikálnych javov, veličín a zákonov, ale najmä cielavedomé rozvíjanie a používanie štatistických pojmov v celom rozsahu stredoškolskej fyziky, si v mnohých prípadoch vyžaduje nový výber faktov, ich nové usporiadanie v rámci učebných osnov a ich nové metodické spracovanie. Vytvorenie takého kurzu stredoškolskej fyziky iste nebude jednoduché a preto bude trvať dlhšie. Podľa nášho názoru, možno však už teraz, bez toho, aby sa podstatnejšie menili platné učebné osnovy a učebnice fyziky, zaradiť do molekulovej fyziky v druhých ročníkoch stredných všeobecnovzdelávacích škôl a) preberanie Brownovho pohybu s použitím niektorých štatistických prvkov, b) tabuľky rozdelenia molekúl plynov podľa rýchlostí, zostrojovať príslušné histogramy a zaviesť vyššie spomínané štatistické pojmy.

Na týchto dvoch okruhoch si študenti môžu nielen osvojiť niektoré štatistické pojmy, vytvoríť nové predstavy o podstate fyzikálnych javov, ale budú mať tiež príležitosť aktívne sa zoznámiť so štatistickou metódou skúmania fyzikálnych javov a s obsahom pojmu štatistický zákon. Nadobudnuté vedomosti, skúsenosti a predstavy obohatia nielen sumu ich fyzikálnych poznatkov, ale získajú nimi nový názor na svet okolo seba, ich všeobecné vzdelanie sa obohatí o novú kvalitu.

Katedra fyziky pedagogickej fakulty University Komenského v Trnave

LITERATÚRA

- [1] *Vanonič, J.*: Fyzika pro vyšší třídy středných škol. Bratislava, 1941
- [2] *Chytrilová, M. – Paolík, B. – Šolér, K. – Vlach, B.*: Fyzika pro třetí třídu gymnázij. Bratislava, 1952
- [3] *Šolér, K. – Lohár, F. – Fiha, J.*: Fyzika pro desíty ročník všeobecnovzdelávacích středných škol. Praha, 1954

* V príspevku sa nezaobráme problematikou zaradenia prvkov termodynamiky do stredoškolskej fyziky.

- [4] *Soler, K., Dibelka, J., Fischer, J., Kašpar, E.*: Fyzika pre deviaty ročník jedenásto-ročných stredných škôl. Bratislava, 1958
- [5] *Janovič, J., Sokol, E., Thern, L., Vlach, B.*: Fyzika pre druhý ročník stredných všeobecnovzdelávacích škôl. Bratislava, 1966
- [6] Lehrbuch der Physik für die erweiterte Oberschule, elftes Schuljahr. Berlin, 1961
- [7] Physik, Lehrbuch für die erweiterte Oberschule, Klasse 10. Berlin, 1963
- [8] *Peryškín, A. V.*: Kurs fiziki. Moskva, 1966
- [9] *Baturina, G. I., Lovzinov, I. I.*: Izučeniej teme: „Osnovy kinetičeskoj teoriji gazov“. — „Fizika v škole“, 27, 1967, č. 6, s. 23–29
- [10] *Bludov, M. I.*: „Šabaš vedm“ i statistika. — „Fizika v škole“, 28, 1968, č. 2, s. 35–40
- [11] *Mysljajev, A. M.*: Izučeniej gazovyh zakonov na osnove molekularno – kinetičeskoj teoriji. — „Fizika v škole“, 27, 1967, č. 6, s. 29–33
- [12] *Rožina, N. A.*: Izučeniej svedenij o molekularnom strojeniji veščestva. — „Fizika v škole“, 28, 1968, č. 3, s. 27–35
- [13] *Reznikova, L. I.*: Izučeniej osnov molekularno – kinetičeskoj teoriji strojenija veščestva v desjatoj klasse. — „Fizika v škole“, 24, 1964, č. 4, s. 41–45
- [14] *Reznikova, L. I.*: Fizičeskije ideje Ejnštejna v prepodavaniji. — „Fizika v škole“, 25, 1965, č. 6, s. 23–28, preklad „Fyzika ve škole“, 8, 1960, s. 453–460
- [15] *Zvenčik, J. E., Baturina, G. I.*: Ob izučeniji statističeskich zakonomernostej. — „Fizika v škole“, 24, 1964, č. 6, s. 53–59
- [16] *Fock, E., Weber, K.*: Lehrbuch der Physik für Gymnasien. Frankfurt am Main – Hamburg, 1965
- [17] *Orear, J.*: Fundamental Physics. New York, 1960; ruský preklad Populjarnaja fizika. Moskva, 1964
- [18] Physics, PSSC. Boston, 1960; ruský preklad Fizika, Moskva, 1965
- [19] Physics, The Nuffield Foundation. London, 1967
- [20] *Janovič, J.*: Štatistické prvky vo fyzike plynov na strednej škole. Kandidátska dizertačná práca. Prírodovedecká fakulta UK v Bratislave, 1969
- [21] *Janovič, J.*: Kinetická teória látok a jej odraz v učebniciach fyziky pre stredné školy. In.: Univerzitas Comeniana FYZIKA II, zborník Pedagogickej fakulty UK v Bratislave so sídlom v Trnave, v tlači
- [22] *Janovič, J.*: Plynové zákony. — „Matematika a fyzika ve škole“ 1, 1970/71, s. XX–XX

SÜHRN

PRÍSPEVOK K ZARADENIU ŠTATISTICKÝCH PRVKOV DO STREDOŠKOLSKEJ FYZIKY

JOZEF JANOVIČ

V príspevku je opísaný súčasný stav vo vysvetľovaní fyzikálnych javov zo štatistického hľadiska v českých, slovenských i niektorých zahraničných učebniciach fyziky pre stredné školy. Predložený je návrh na výber štatistických prvkov a varianty ich zaradenia do fyziky plynov na strednej škole. Problematika je podrobnejšie spracovaná v [20].

ZUSAMMENFASSUNG

**BEITRAG ZUR EINREIHUNG DER STATISTISCHEN
ELEMENTE IN DIE MITTELSCHULPHYSIK**

JOZEF JANOVIČ

In diesem Beitrage wird der gegenwärtige Stand in Erklärung physikalischer Erscheinungen aus dem statistischen Standpunkte in den tschechischen, slovakischen und auch in einigen ausländischen Lehrbüchern der Physik für Mittelschulen beschrieben. Es ist auch ein Antrag zur Auswahl der statistischen Elemente und der Variante für Einreihung von diesen in die Gasephysik in der Mittelschule vorgelegt. Diese Problematik wird ausführlich in [20] behandelt.