

Physics misconceptions due to the historical development of physics concepts and terminology

Miskoncepce ve fyzice vlivem historického vývoje fyzikálních pojmů a terminologie

Tomáš MILÉŘ

Abstract

Contemporary physics and its terminology is based on efforts of many generations of scientists seeking the essence of natural processes. Although physics concepts form a consistent system, current terminology is sometimes misleading and evoke wrong ideas. The paper deals with the development of terms WORK, ENERGY and HEAT in relation to physics education and improvement of students' physics thinking.

Key words

physics concepts; terminology; education

Abstrakt

Současná fyzika a její terminologie jsou výsledkem úsilí mnoha generací vědců hledajících podstatu přírodních dějů. Ačkoliv fyzikální pojmy dnes již tvoří konzistentní systém, ustálená slovní označení pojmů (termíny) jsou v některých případech zavádějící a vyvolávají chybné představy. V příspěvku se zabýváme vývojem pojmů PRÁCE, ENERGIE a TEPLA ve vztahu k fyzikálnímu vzdělávání a rozvoji fyzikálního myšlení žáků.

Klíčová slova

fyzikální pojmy; terminologie; vzdělávání

DOI: <https://doi.org/10.5817/CZ.MUNI.P210-8590-2017-12>

Úvod

Vyvíjí se vědecké poznání i jazyk. Současná fyzikální terminologie měla dlouhý historický vývoj, volba slovních označení fyzikálních veličin a jevů však nebyla vždy šťastná. Bylo nutné dělat kompromisy v rámci vědecké komunity, kultury a lingvistiky. Často nejsou pro potřebu vědy vymyšlena slova nová, ale do terminologie je převzato slovo užívané v běžné řeči v poněkud odlišném významu. Jindy zas vědecký termín v běžné řeči zdomácní s významem pozmeněným. Lidé (včetně fyziků) používají v běžném životě výrazy jako síla, práce, teplo, energie apod. v jiném smyslu než fyzika.

Zpřesňování fyzikální terminologie je dlouhodobý proces, který zdaleka není u konce. Nejde přitom o nějaké slovíčkaření nebo purismus. Špatně zavedené termíny, které v myslí lidí vyvolávají chybné asociace, nebo jejich systém není konzistentní, nám znemožňují porozumět realitě (např. *živá síla* ve smyslu *kinetické energie*, *tepelná energie* ve smyslu *tepla*, *teplo* ve smyslu *teploty*). V článku chceme ukázat, že některé miskoncepce žáků na všech stupních škol mohou mít příčinu v nevhodně zavedených termínech, kterými současná věda disponuje. Některé chybné představy, které měli lidé před více než 150 lety, nadále přežívají vlivem popleteného jazyka a terminologie.

Vztah pojmů a termínů

V první řadě bychom rádi vysvětlili, co vůbec rozumíme slovem „pojem“. Různí lidé mají různé představy o všem možném, což v běžném životě nepředstavuje pro komunikaci vážný problém. Představy vědců o předmětech jejich bádání by ale měly být co nejbližší, ideálně totožné. *Pojem definujeme jako představu, která má přesně vymezený obsah. Pojem označujeme slovem, ve vědě tzv. termínem.* Rozlišujeme tedy systém fyzikálních pojmů (např. fyzikální teorie) a terminologický systém fyziky. *Je žádoucí, aby každému pojmu příslušel právě jeden termín.* Používání synonym a homonym má smysl v krásné literatuře, ale ve vědě rozhodně srozumitelnosti nepomáhá.

S pojmy pracuje logika, se slovy lingvistika, v obecnějším smyslu se různými označeními pojmů (symboly) zabývá sémiotika. Například fyzikální veličina *elektrický odpor* může být označena slovem tištěným nebo řečeným (v různých jazycích odlišně), značkou *R* nebo ve schématu elektrického obvodu příslušnou značkou. Učebnice fyziky v různojazyčných překladech by měla ve čtenářích vyvolávat vždy stejné představy bez ohledu na jazyk. Gramaticky správná věta ještě nemusí dávat logický smysl. Pravdivost logického výroku lze posuzovat jen tehdy, mají-li všechny zkoumané pojmy oporu v reálném světě (Russell, 1967). Řeč fyziky musí být logicky správná, jednoznačná a musí co nejvěrněji popisovat přírodní děje v reálném světě.

Geneze fyzikálních pojmů

Analýzou konkrétních příkladů vývoje fyzikálních pojmů jsme dospěli k vymezení následujících pěti kategorií:

- **Vznik** – v určité době se objevila potřeba zavedení nového pojmu k vysvětlení fyzikálního jevu. Např. experimenty s elektřinou, magnetismem a zářením vedly v 19. stol. k Maxwellově teorii a zavedení nového pojmu *pole*.
- **Zánik** – zavedený pojem se postupem času ukázal být v rozporu s novějšími teoriemi, experimentem a realitou vůbec. Ve fyzice-vědě byly některé pojmy opuštěny, stále však mají význam z hlediska historie fyziky (např. *ether*, *flogiston*).
- **Vzkříšení** – pojem byl zaveden, opuštěn a ve světle nových poznatků znovu akceptován (*kosmologická konstanta*).
- **Oddělení** – s prohlubujícím se poznáním dochází ke zpřesňování pojmu tak, že se z něj vyčleňují pojmy jiné. Dobrým příkladem je pojem *teplo*, který zpočátku zahrnoval všechny možné termické jevy, ale mohl zahrnovat i jevy související jen zdánlivě (např. chuť pálivého koření). Později vznikly pojmy *teplota*, *vnitřní energie*, *tepelná kapacita* atd., pro které bylo nutné zavést vhodné termíny.
- **Sloučení** – mohou být pozorovány dva jevy, u nichž se později ukáže, že mají stejnou podstatu. Např. všechny hmotné objekty se vzájemně přitahují, ale také vykazují

jistou setrvačnost pohybového stavu. Proto kvantifikaci těchto jevů vznikly pojmy *hmotnost tíhová* a *hmotnost setrvačná*, které byly později sloučeny v jedinou fyzikální veličinu – *hmotnost*. Dále došlo ke sloučení pojmů *prostor* a *čas* v nový pojem *prostorčas*, jakkoliv ve fyzice mají oba původní pojmy smysl i nadále.

Některé pojmy se neustále vyvíjejí, rozrůstají se o další a další znaky (přestože jim příslušné termíny se měnit nemusí). Např. fyzikální pojem *energie* se zrodil v oblasti mechaniky, rozšířil se do ostatních fyzikálních oborů; zásadním způsobem byl obohacen o princip zachování energie, který byl později povýšen na zákon. V kosmologii ještě můžeme očekávat převratné objevy v souvislosti s tzv. *temnou energií*, čímž energie získá nové znaky, resp. obsah pojmu se zvětší. V souladu s historickým vývojem pojmu se žáci ve školách seznamují nejprve s kinetickou a potenciální energií, později je pojem energie rozšiřován o další druhy a jevy z náročnějších partií fyziky.

Sonda do historie pojmů a terminologie termodynamiky

Termodynamika není dílem jediného člověka. Potřeba zdokonalení parního stroje přivedla mnoho významných vědců k výzkumu tohoto oboru. Z dílčích poznatků a hypotéz pak v průběhu 19. století vznikla ucelená a konzistentní teorie, která dobře popisovala tepelné děje. Do termodynamiky však spadají i procesy, ve kterých teplo nefiguruje (adiabatický děj).

*Tepl*o si od poloviny 17. století lidé představovali jako nezničitelnou, nevažitelnou substanci, která se přelévá z teplejšího tělesa do chladnějšího (Varvoglis, 2014, s. 84). Tato tzv. „flogistonová teorie“ musela být opuštěna, protože nedokázala vysvětlit, proč se tělesa zahřívají i konáním mechanické práce, např. při vrtání dělových hlavních. Ještě před vznikem flogistonové teorie Francis Bacon ve svém latinském díle *Novum Organum* (Bacon, 1620) poměrně podrobně rozebírá různé tepelné děje. Neznalost částicové struktury hmoty, termodynamických zákonů a teorie elektromagnetického záření neumožňovala Baconovi vytvořit si vhodné pojmy, které by byly ve shodě s realitou. V českém překladu z roku 1922 jsou hojně používána slova „teplo“ a „teplota“, jde ale o invenci překladatele, který se snažil dobový text přizpůsobit čtenáři, jenž rozdíl mezi oběma pojmy zná. Bacon má však pro všechny popisované jevy jediné označení *calor*. Neexistenci vhodné terminologie považujeme za problém druhořadý. Nic nenasvědčuje tomu, že by Bacon mezi teplem a teplotou rozlišoval, natož pak že by chápal pojem energie, vnitřní energie, tepelná izolace apod. Bacon uvádí výčet 27 příkladů souvisejících s teplem, z nichž na ukázkou vybíráme čtyři: (Stehlík & Stejskal, 1922)

13. *Všechny kosmaté látky, jako vlna, chlupy zvířat a peří, také obsahují teplo.*

16. *Každé těleso, tře-li se silně, jako kámen, dřevo nebo sukno atd.; proto nápravy kol se někdy vzejmou; nicení ohně v Západní Indii dělo se třením.*

25. *Vonné látky a palčivé rostliny jako dracunculus, řeřicha atd. Třeba se nejeví teplými na dotek (ani roztlučeny na prášek), přec na jazyku a na patře, jsoucny živý, hřejí a páli.*

27. *Také prudký a silný mráz působí jakýsi pocit pálení, neboť se říká, že „Pálí pronikavý a mrazivý severák“.*

T. S. Kuhn Baconovo dílo komentuje následovně (Kuhn, 2008, s. 28): „*Člověk vůbec váhá, zda tuto literaturu nazvat vědeckou. Baconova „historie“ tepla, barvy, větru, hornictví atd. jsou plné informací, někdy velmi nejasných. Ale jsou tu vedle sebe uvedena fakta, která se později ukážou jako objektivní (např. ohřev mícháním) spolu s těmi (např. zahřívání kupy hnoje), která zůstanou po nějaký čas příliš složitá na to, aby vůbec mohla být zahrnuta do nějaké teorie.*“

Rozřešení podstaty tepla přišlo až v polovině 19. století. Pro pochopení termodynamických dějů a jednoznačné vymezení příslušných pojmů bylo nejprve potřeba rozvinout kinetickou teorii plynů, formulovat zákon zachování energie (ZZE) a odhalit podstatu elektromagnetického záření.

Termín *energie* jako první použil ve fyzikálním smyslu Thomas Young a sice ve smyslu kinetické energie tělesa (Young, 1807). Termín energie akceptovali William Thomson (známý jako Lord Kelvin) i Rudolf Clausius, ale nelze říct, že by byl přijat všeobecně. Ještě celé další století se pro kinetickou energii používalo označení *živá síla*. O historii sousloví *živá síla* se zmiňuje Strouhal v odborné knize o mechanice (Strouhal & Kučera, 1910): „*Otázka, zdali živá síla či hybnost jest pravou měrou síly, jakou má hmota v pohybu, byla předmětem vědeckého sporu, kterýž vedli Descartes a Leibnitz a kterýž dále trval 57 let, ač byl způsoben nedorozuměním onoho názvu síla hmoty. Název *quantitas motus* zavedl Descartes a přijal též Newton. Název *živá síla* a to pro součin mv^2 zavedl Leibnitz, rozeznáváje živou sílu hmoty rozehnané proti mrtvé síle hmoty tlakem působící. Později Coriolis volil též název pro součin $1/2mv^2$, jak se ho dosud užívá.*“ O zákonu zachování mechanické energie (ZZME) se dříve psalo jako o zákonu zachování živých sil. O matematické rozvedení ZZEM se zasloužil Joseph L. Lagrange (Lagrange, 1811); na jehož práci navázal William Hamilton formulováním principu nejmenší akce (Hamilton, 1834). O zachování sil (ve smyslu zachování energie) napsal významnou práci i Hermann von Helmholtz (Helmholtz, 1847).

Energie, ačkoliv nepatří mezi základní veličiny SI, má v moderní fyzice významné postavení. To, co činí energii mezi fyzikálními veličinami jedinečnou, je všeobecná platnost ZZE (jenž je totožný s 1. termodynamickým zákonem). Různé formy energie, ať už byla tato veličina v minulosti nazývána jakkoliv, byly dlouho známy a zkoumány odděleně. ZZE jako první formuloval německý lékař Julius Robert Mayer roku 1842, který však velice psychicky strádal tím, že mu tehdejší vědecká komunita prvenství upřela (Lenard, 1943). Na Mayerovy zásluhy poukázal v přednášce pro veřejnost slavný anglický fyzik John Tyndall o 20 let později; v témže roce byl vydán i anglický překlad Mayerova původního článku (Mayer, 1862).

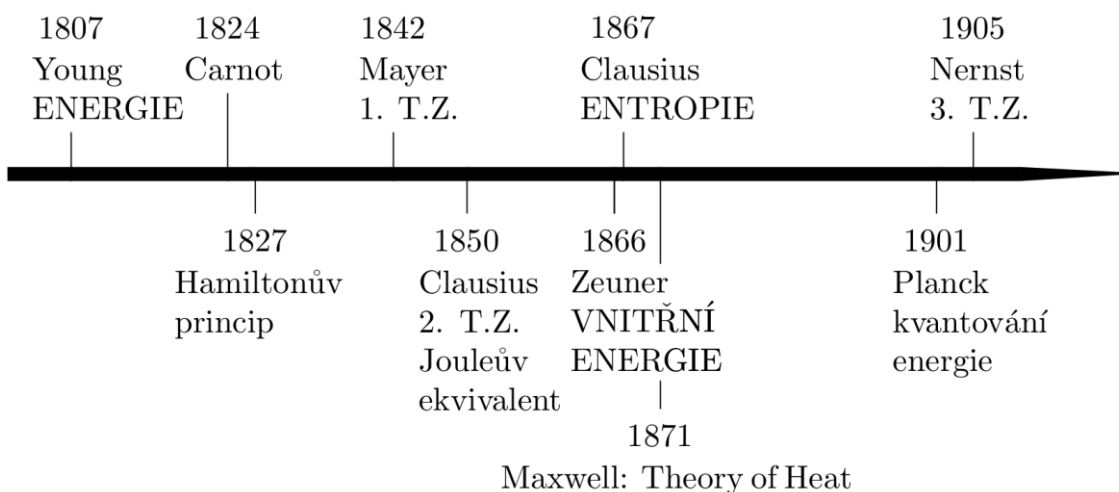
Termín *vnitřní energie* poprvé použil německý fyzik Gustav Zeuner (Zeuner, 1866), ačkoliv stejný koncept byl pod různými označeními dříve popsán jinými autory. Clausius vnitřní energii nazýval „funkce U “, ale za vhodný považoval i termín „energie tělesa“ (energy of the body) (Clausius, 1867, s. 251).

Termín *entropie* zavedl Rudolf Clausius, přičemž pro entropii zvolil označení S na počest Sadi Carnota a jeho přelomové práce o teorii tepelných motorů z roku 1824 (Carnot, 2005), která upoutala pozornost tehdejších fyziků a inspirovala je k dalšímu výzkumu dané problematiky. Clausius formuloval dva „fundamentální teorémy mechanické teorie tepla“ (Clausius, 1867, s. 365):

1. *Energie vesmíru je konstantní.*
2. *Entropie vesmíru směřuje k maximu.*

Tím ovšem nebyl vývoj termodynamiky zdaleka ukončen. Bylo potřeba vyřešit podstatu elektromagnetického záření a tepelného záření těles. Tento výzkum vedl k objevu *kvantování energie* a zrodu kvantové fyziky. Na počátku 20. století přispěl Albert Einstein k rozšíření pojmu energie o relativistickou perspektivu (např. co se děje s energií částic, pohybují-li se rychlostí blízkou rychlosti světla) a odhalil fyzice nové obzory v oblasti *jaderné energie*.

Obrázek 1: Vybrané milníky v historii termodynamiky.



Zdroj: Vlastní zpracování

Přetrvávající nejednoznačnost v pojmech a terminologii

Americký fyzik Mark W. Zemansky identifikoval tři běžné chyby v chápání tepla a používání příslušného termínu „heat“ (Zemansky, 1970):

1. Odkazování na „teplo v tělese“ (např. „heat in a body“).
2. Použití „heat“ jako slovesa (např. „If you heat something, it becomes warmer.“).
3. Kombinování *tepla* a *vnitřní energie* v jeden nedefinovaný koncept *tepelné energie* (thermal energy), který někdy má význam tepla a jindy vnitřní energie.

První a třetí bod se shoduje s miskoncepcemi v českém prostředí. Ve druhé bodě miskoncepce vzniká vlivem omezené slovní zásoby v anglickém jazyce. V češtině máme slovesa jako „ohřívat“ a „zahřát“ odlišná od slova „teplo“, které nahrazují v angličtině hluboce zakořeněné sloveso „to heat“. V češtině máme ale jiný problém. Teplo má v běžné řeči význam teploty, resp. tepelné pohody (např. „venku je teplo“ nebo „je mi teplo“). Přístroj pro měření teploty by bylo lépe nazývat „teplotoměr“, protože přímo neměří fyzikální veličinu teplo. Teplo standardně měříme pomocí kalorimetru, ačkoliv bez teploměru se přitom neobejdeme. Termín *teploměr* je zavádějící, ale není zcela chybný. Označení teploměr (z latinského *thermometrum*) vzniklo v době, kdy rozdíl mezi teplem, teplotou a vnitřní energií nebyl znám. Teploměr můžeme chápat jako přístroj pro měření tepla ve smyslu (člověku příjemné) teploty; přístroj pro měření nízkých teplot (z antropocentrické perspektivy) bychom pak obdobně mohli nazvat „chladoměr“ nebo „mrazoměr“. Problém dvojího významu českého slova „teplo“ má lingvistickou příčinu

stejně jako 2. bod v Zemanského seznamu výše, v českém prostředí jej tedy může ve výčtu zastoupit.

James P. Joule experimentálně prokázal, že mechanickou prací lze zvýšit vnitřní energii kapaliny, přičemž kvantitativně určil tzv. *mechanický ekvivalent tepla* – v angličtině dodnes běžně používané sousloví *mechanical equivalent of heat* (Joule, 1850). Ve skutečnosti při Jouleově pokusu k žádné tepelné výměně nedocházelo, protože nádoba s kapalinou ohřívanou pohybem lopatek byla tepelně izolována. Joule svůj pokus provedl a popsal ještě před vznikem pojmu vnitřní energie a ustálením vhodného termínu. Dnes bychom měli důsledně používat sousloví *mechanický ekvivalent změny vnitřní energie*. Tento problém souvisí s 1. bodem, protože sousloví *mechanický ekvivalent tepla* podporuje miskoncepci „tepla v tělese“. V současných učebnicích je již Jouleův pokus většinou vysvětlován korektně.

Jiný nešvar, který má kořeny v 19. století nebo dříve, ale stále se vyskytuje v základoškolských učebnicích, je použití sousloví *tepelné záření*. Pocit „tepla“ u rozehřátých kamen podporuje představu, že podstata „tepelného záření“ je jiná než u světla, protože je vnímáme různými smysly. Před objevem elektromagnetického záření se mělo za to, že sluneční záření se skládá ze světla, které vidíme, a tepla, které hřeje. Infračervené záření objevil roku 1800 William Herschel, když rozložil spektrum slunečního záření hranolem. Podezření, že světlo a neviditelné IR záření mají stejnou podstatu existovalo již v polovině 19. století, což lze doložit popisem z dobového textu (Pokorný, 1868) „*Teplo sálavé jeví ve všech případech největší podobnost se světlem, pročez v nejnovější době počíná ujímati se náhled, že jest s ním jedno.*“

V dnešních učebnicích fyziky je obvykle tepelné záření ztotožněno s infračerveným, jako by záření na jiných vlnových délkách nehřálo, resp. neneslo žádnou energii. Pro ultrafialové záření žádné synonymum nemáme a není potřeba ani pro infračervené. Emanuel Klier v recenzi učebnice pro 8. ročník autorky Marty Chytilové napsal (Klier, 1990): „*Výklad celkově vyznívá v tom směru, že viditelné světlo působí jen zrakové vjemy, kdežto energii že přenáší jen „tepelné záření“: („Tepelné záření je nositelem energie.“) Rozhodně v dalším výkladu o energii slunečního záření chybí zmínka o tom, že největší část energie je přenášena ve viditelné části slunečního světla.*“ Autorka učebnice následně publikovala svou reakci, kde některé z Klierových výtek objasnila, ale termín tepelné záření nekomentovala. Domníváme se, že je účelné termín „tepelné záření“ používat jen v širším smyslu, tedy pro záření těles s nenulovou termodynamickou teplotou. Tepelné záření je pak synonymem ke slovu *sálání*. V tomto pojetí by „tepelné záření“ žádné miskoncepce u žáků vyvolávat nemělo.

Závěr

Vědecká terminologie je kolektivním dílem, jednotlivé termíny jsou postupně akceptovány na základě konsenzu vědecké komunity. Termín s víceznačným významem může vyvolávat mylné asociace, proto je potřeba se fyzikální terminologii zkoumat z hlediska vzdělávacího procesu. Nevhodně zvolený termín může být překážkou v porozumění a systematizaci znalostí, tedy v rozvoji fyzikálního myšlení. Příčiny nedokonalé terminologie mají lingvistické i historické kořeny. Identifikovali jsme pět způsobů, jak se vědecké pojmy mohou vyvíjet. V článku jsme se zaměřili na termodynamiku; podali jsme stručný přehled o tom, jak se vyvíjelo vědecké poznání a terminologie v tomto oboru. Dále jsme diskutovali konkrétní termíny, jež jsou nejednoznačné a mohou být překážkou v porozumění žáků fyzice. Doporučujeme termín

„tepelné záření“ v učebnicích neztotožňovat s IR zářením, ale se sáláním těles v celém elektromagnetickém spektru.

Literatura

- Bacon, F. (1620). *Novum organum*. Získáno z <http://www.thelatinlibrary.com/bacon/bacon.liber2.shtml>
- Carnot, S. (2005). *Reflections on the Motive Power of Fire: And Other Papers on the Second Law of Thermodynamics*. Courier Corporation.
- Clausius, R. (1867). *The Mechanical Theory of Heat: With Its Applications to the Steam-engine and to the Physical Properties of Bodies*. J. Van Voorst.
- Hamilton, W. R. (1834). On a General Method in Dynamics; By Which the Study of the Motions of All Free Systems of Attracting or Repelling Points is Reduced to the Search and Differentiation of One Central Relation, or Characteristic Function. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 124, 247–308. <https://doi.org/10.1098/rstl.1834.0017>
- Helmholtz, H. von. (1847). *Über die Erhaltung der Kraft, eine physikalische Abhandlung: vorgetragen in der Sitzung der physikalischen Gesellschaft zu Berlin am 23sten Juli 1847*. Culture et civilisation.
- Joule, J. P. (1850). On the Mechanical Equivalent of Heat. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 140, 61–82. <https://doi.org/10.1098/rstl.1850.0004>
- Klier, E. (1990). Poznámky k učebnici fyziky pro 8. ročník ZŠ. *Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, 35(3), 153–156.
- Kuhn, T. S. (2008). *Struktura vědeckých revolucí*. (T. Jeníček, Přel.) (dotisk 1. vyd.). Praha: OIKOYMENH.
- Lagrange, J. L. (1811). *Mécanique analytique*. Ve Courcier.
- Lenard, P. (1943). *Velcí přírodovědci. Dějiny přírodovědného bádání v životopisech*. (1. vyd.). Praha: ORBIS.
- Mayer, J. R. (1862). Remarks on the Forces of Inorganic Nature.
- Pokorný, M. (1868). *Síly přírody a užívání jich*. Praha: I.L. Kober. Získáno z <http://kramerius.nkp.cz/kramerius/MShowMonograph.do?id=25510>
- Russell, B. (1967). *Logika, jazyk a věda*. Svoboda. Získáno z <http://www.databazeknih.cz/knihy/logika-jazyk-a-veda-136024>
- Stehlík, Č., & Stejskal, A. (1922). *Filosofické spisy Františka Bacona* (Filosofická bibliotheka). Praha: Česká akademie věd a umění. Získáno z <http://www.digitalniknihovna.cz/knav/view/uuid:2e0496fd-32a9-4bc8-a2a4-976c8048bc51?page=uuid:c02f7e6f-0b29-4bfd-8b30-ef74369f5c3b>
- Strouhal, Č., & Kučera, B. (1910). *Mechanika* (2. vyd.). Nákladem Jednoty českých matematiků.
- Varvoglis, H. (2014). *History and Evolution of Concepts in Physics*. Springer Science & Business Media.
- Young, T. (1807). *A course of lectures on natural philosophy and the mechanical arts*. London : Printed for J. Johnson. Získáno z <http://archive.org/details/lecturescourseof02younrich>
- Zemansky, M. W. (1970). The Use and Misuse of the Word „Heat“ in Physics Teaching. *The Physics Teacher*, 8(6), 295–300. <https://doi.org/10.1119/1.2351512>

Zeuner, G. (1866). *Grundzüge der mechanischen Wärmetheorie *: mit Anwendungen auf die der Wärmelehre angehörigen Theile der Maschinenlehre insbesondere auf die Theorie der calorischen Maschinen Dampfmaschinen*. A. Felix.

Kontakt

Mgr. Tomáš Milář, Ph.D.

Katedra fyziky, chemie a odborného vzdělávání, Pedagogická fakulta MU

Poříčí 7, 603 00 Brno, Česká republika

80022@mail.muni.cz