

Z historie Jednoty (1862–1869)

Fyzikální práce Josefa Fingera

In: Martina Bečvářová (author): Z historie Jednoty (1862–1869). (Czech). Praha: Prometheus, 1999. pp. 54–60.

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/401749>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků

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



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

FYZIKÁLNÍ PRÁCE JOSEFA FINGERA

IVAN ŠTOLL

Ve své vědecké a odborné činnosti v oblasti fyziky byl Josef Finger poměrně plodný; bibliografie jeho prací čítá 25 položek, včetně rozsáhlé učebnice. Týkají se většinou problémů mechaniky zpracovávaných geometrickými metodami. Přitom jde spíše o práce charakteru metodického a didaktického, než o původní práce vědecké. První z nich začal publikovat jako středoškolský učitel ve výročních zprávách vyšších reálék v Lokti a potom v Lublani. Po příchodu do Vídně se jeho práce objevují především ve zprávách ze zasedání Vídeňské akademie a ve fyzikálních časopisech.

Jeho první práce jsou zaměřeny na „elementární odvozování“ (tak je to uvedeno i v názvech) známých fyzikálních vztahů, to jest bez použití infinitezimálního počtu. Jeho odvozování jsou pracná, ale důvtipná; zabírají mnoho stránek. Člověk žasne, kolik myšlenkového úsilí může někdo vynaložit, aby nemusel integrovat nebo řešit jednoduchou diferenciální rovnici. Finger je ovšem motivován důvody pedagogickými. Jeho středoškoláci integrovat neumějí, a tak hledá způsoby elementárního odvozování za použití diferenčních a geometrických metod, sčítání řad, goniometrie apod. Je ovšem zřejmé, že tyto zdouhavé a pracné postupy mohl těžko s žáky reálky provozovat.

První z těchto prací byla publikovaná v roce 1867; týká se elementárního odvození zákona harmonického kmitavého pohybu s aplikací na kmitání pružiny, matematického a fyzického kyvadla a magnetické střelky (*Elementare Herleitung der einfachen Schwingungsgesetze nebst Anwendung auf die schwingende Bewegung elastischer Körper, des einfachen und des zusammengesetzten Pendels und der Magnetnadel* [F1]). Finger je inspirován povzdechem S. Wüllnera, autora hojně používané učebnice experimentální fyziky (*Experimentalphysik*, 2. vyd., Lipsko 1870). Ten prohlašuje, že musí bohužel rezignovat na odvození zákona harmonických kmitů z pohybové rovnice s elastickou silou, protože to není možné bez použití integrálního počtu. Mimochodem, před tímto problémem stojí i dnes středoškolští učitelé a autoři učebnic.

Finger provádí své odvození na šesti stranách velkého formátu. Vychází z analogie s pohybem v poli konstantní síly a pak přechází k síle úměrné výchylce z rovnovážné polohy. Dělením pohybu na malé prostorové a časové intervaly a nacházením částečných součtů aritmetických řad odvozuje zákon zachování energie (aniž ho tak nazývá) a podobným způsobem obchází i druhé integrování pohybové rovnice. Nakonec se mu podaří do svého odvození vpašovat i goniometrické funkce a zákon harmonického pohybu je na světě. Výsledky pak aplikuje na jednotlivé druhy kmitavých pohybů. Při zmínce o momentu setrvačnosti fyzického kyvadla ovšem znovu hrozí integrály a Finger musí opět najít cestu, jak se jim vyhnout. Člověk si připomíná heroické úsilí Huygensovo, který dokázal určit pohyby kyvadel nejrůznějších geometrických tvarů ještě bez použití Newtonových fluxí.

Druhá Fingerova práce publikovaná v téže výroční zprávě loketské reálky se týká pohybu v centrálním poli a elementárního odvození Keplerových zákonů (*Ueber Centripetalkraft und Fliehkraft nebst Anwendung auf die Planetenbewegung (elementär entwickelt)* [F2]). Napřed rozebírá účinky dostředivé síly, normálového a tečného zrychlení a pak opět přistupuje k mnohostránkovému geometrickému odvozování tvaru trajektorie a rychlosti pohybu planet. Vrací se tak trochu do Keplerových dob. Zdá se však, že Fingerovi středoškolaři, kteří se s derivacemi a integrály nesetkali, měli přece jen poměrně značné geometrické znalosti, jejichž výuku dnes poněkud zanedbáváme.

Ve výroční zprávě loketské reálky se v následujícím roce setkáváme s Fingerovou prací s elementárním odvozením rychlosti šíření podélných a příčných vln podél struny (*Entwicklung der Formeln für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit eines longitudinalen und transversalen Impulses längs einer gespannten Saite auf elementarem Wege* [F3]). Řešení vlnové rovnice je opět nahrazeno geometrickými úvahami; pro vlny malých amplitud Finger nakonec dostává známé vztahy pro rychlost podélné vlny v tenké tyči a příčných vln podél struny. Následuje práce s elementárním odvozením barometrické formule pro závislost tlaku vzduchu na výšce pro izotermickou atmosféru (*Elementare Herleitung der barometrischen Höhemessungsformel* [F4]). Finger dělí atmosféru na tenké horizontální vrstvy a používá své diferenční metody. Uvádí, že výsledek je platný pouze tehdy, nemění-li se teplota vzduchu. Pak uvažuje dvě stanice, které měří tlak vzduchu v různých výškách a ovšem při různé teplotě, a provádí opravu na zprůměrovanou teplotu.

V té době se Finger přemísťuje do Lublaně a pokračuje v publikování své série elementárních odvozování ve výročních zprávách tamní reálky za léta 1871 a 1872. Práce *Elementare Ableitung der Dichtenzustände in einer longitudinalen fortschreitenden und stehenden Welle aus der Wellenformel* [F5] je věnována prostorovému a časovému rozdělení hustoty v prostředí, šíří-li se jím postupná nebo stojatá podélná vlna. I když práce nepřináší původní výsledky, je přesto zajímavá tím, že umožňuje detailnější pohled na mechanismus šíření vlny zhuštění a zředění v pružném prostředí. V poslední práci této série se Finger vrací ke svému elementárnímu odvození zákona harmonických kmitů publikovanému ještě v Lokti. Na jeho práci byl prý tehdy příznivý ohlas (*Gymnasialzeitschrift* 1867, str. 733), ale recenzent vyjádřil „živé přání“, aby se autor pokusil své odvození zformulovat stručněji a přehledněji. Proto Finger publikuje tento svůj postup znovu v práci *Neue elementare Herleitung der einfachen Schwingungsgesetze* [F6] jen s mírnými úpravami; daří se mu ho vtěsnat z původních šesti stran velkého formátu na sedm stran menšího formátu (zato hustším písmem).

V další výroční zprávě reálky v Lublani se Finger zabývá kinematikou a dynamikou rotace tuhého tělesa kolem osy (*Fundamentaltheorie von der rotirenden Bewegung um eine Axe* [F8]). Je to velmi podrobný a logicky dobře utříděný text pojatý metodou věta – důkaz. Finger ve svých pracích dbá na pečlivou formulaci předpokladů a výchozích pojmů. V kinematické části popisuje pohyb jednotlivých hmotných bodů rotujícího tělesa, dospívá

k pojmům úhlové rychlosti a úhlového zrychlení tělesa jako celku. V dynamické části se zabývá vlastnostmi a skládáním silových momentů a silových dvojic a pečlivě zkoumá jejich ekvivalenci. Jako pedagogický text je to vcelku informativní a užitečná studie, vhodná spíše pro učitele než pro studenty. Jak známo, i v dnešních učebnicích se setkáváme se zjednodušenými a nepřesnými formulacemi silového působení na tuhé těleso a u středoškolských studentů nevzniká příliš jasný obraz o této problematice.

V dalších letech publikuje Finger již ve Vídni, kde působí jako profesor na technice. Jeho dvě práce z let 1873, 1874 jsou věnovány pohybu setrvačnicků. První z nich, *Betrachtung der allgemeinen Bewegungsform starrer Körper vom Gesichtspunkte einer Gyralbewegung* [F10], řeší obecný pohyb tuhého tělesa z hlediska gyroskopického. Uvažuje těžký setrvačnik vystavený působení silové dvojice, zavádí soustavu os spojených s tělesem a popisuje průběh precesního a nutačního pohybu. Závěrem upozorňuje na chybu v Schefflerově článku *Imaginární práce, působení odstředivé síly a gyroskopická síla* (*Imaginäre Arbeit, eine Wirkung der Centrifugal- und Gyralkraft*, Schlömilch. Z. 11(1866), 93–151). Druhá práce o relativním otáčivém momentu rotujícího setrvačnicku, *Das relative Drehungsmoment eines rotirenden Schwungrades* [F11], se podrobněji zabývá silovými momenty působícími na setrvačnik v rotující, neinerciální soustavě. V následujícím roce publikuje Finger kratší pojednání o zbytkové deformaci krouceného ocelového drátu (*Zur elastischen Nachwirkung des tordierten Stahldrahtes* [F12]).

Většího rozsahu jsou dvě práce pojednávající o vlivu zemské rotace na atmosférické a mořské proudění (*Über den Einfluss der Erdrotation auf die parallel zur sphäroidischen Erdoberfläche in beliebigen Bahnen vor sich gehenden Bewegungen insbesondere auf die Strömungen der Flüsse und Winde* [F13], *Über den Einfluss der Rotation des Erdsphäroids auf terrestrische Bewegungen, insbesondere auf Meeres- und Windströmungen* [F14]). Autor bere v úvahu zploštění zeměkoule a zabývá se jak pohyby horizontálními, tak šikmými a vertikálními. Uvažuje vybraný malý objem vzduchu nebo vody blízko zemského povrchu a hledá složky síly na tento objem působící. Uvažuje přitom tíži, Archimédův vztlak, Coriolisovu sílu, odstředivou sílu a odpor prostředí. Na základě všech těchto sil formuluje diferenciální rovnice pro horizontální i vertikální gradient tlaku, diskutuje vliv jednotlivých členů a výpočtem, částečně numerickým, nebo spíše odhadem dospívá k závěrům o směru a intenzitě proudění. Dvě kratší Fingerovy práce se týkají úpravy reverzního kyvadla k měření tíhového zrychlení (*Über ein Analogon des Kater'schen Pendels und dessen Anwendung zu Gravitationsmessungen* [F16], *Über ein Analogon des Kater'schen Pendels und dessen Anwendung zu Gravitationsmessungen* [F17]).

V letech 1884 – 1886 vychází ve Vídni Fingerova rozsáhlá, německy psaná učebnice *Základy čisté mechaniky jako předstupeň ke studiu analytické a aplikované mechaniky a matematické fyziky na univerzitách a technikách* (*Elemente der reinen Mechanik als Vorstudium für die analytische und angewandte Mechanik und für die Mathematische Physik an Universitäten und Technischen Hochschulen* [F19]). Toto osmisetstránkové solidní dílo vychází později i ve

2. a 3. vydání. Učebnice je určena absolventům středních škol, kteří začínají studovat na vysoké škole a mají si zvyknout na přesný vědecký přístup k fyzice. Finger podle ní přednášel až do roku 1910; jeho učebnice se tak stala základním učebním textem mechaniky pro celou generaci rakouských studentů techniky.

Látka v podstatě odpovídá dnešnímu základnímu kurzu fyziky a v některých otázkách ho překračuje. Vyznačuje se svědomitostí a důkladností zpracování pro Fingera charakteristickou. Autor se opírá o celou řadu renomovaných učebnic a monografií, domácích i zahraničních, a uvádí mj. práce Lagrangeovy, Jacobiho, Helmholtzovy, W. Thomsona, Kirchhoffovy, Machovy, ale i další učebnice mechaniky autorů francouzských, ruských aj. Jak uvádí v předmluvě, vzorem mu byla především francouzská učebnice analytické mechaniky A. Rittera, která vyšla i v německém překladu. Pokud jde o matematický aparát, používá základní vztahy integrálního počtu a řeší jednoduché diferenciální rovnice. Vyhýbá se však násobným integrálům a parciálním derivacím a z toho důvodu nezařazuje ani partie z mechaniky kontinua, které se bez nich neobejdou. Učebnice má jaksi dvojaký cíl: chce připravit jednak studenty univerzity ke studiu analytické mechaniky na vyšší matematické úrovni, ale též studenty technik pro technickou mechaniku. Proto věnuje velkou pozornost například statice a rovnováze těles.

Učebnice je rozdělena do devíti kapitol (*Einleitung, Statik des materiellen Punktes, Dynamik des materiellen Punktes, Statik des linearen materiellen Punktsystems, Allgemeine Principien der Mechanik räumlicher materieller Punktsysteme, Elemente der Kinematik eines unveränderlichen (starren) Punktsystems, Statik des starren Körpers, Dynamik des starren Punktsystems, Principien der Hydromechanik*); připojeny jsou matematické dodatky se základními vztahy a algoritmy analýzy a analytické geometrie, jak se to ostatně dělá i dnes. Jednotlivé kapitoly jsou věnovány základním pojmům (jednotky, grafický popis pohybu, síla, relativní pohyb a interakce, druhy těles, rozdělení mechaniky), statice hmotného bodu (rozkládání sil a vazby), dynamice hmotného bodu (popis pohybu v poli různých sil, včetně disipativních), statice vláken (řetězovky), soustavám hmotných bodů (diferenciální variační principy, pohyb těžiště), kinematice tuhého tělesa, statice tuhého tělesa (podrobné výpočty těžiště), dynamice tuhého tělesa (rotace, moment a elipsoid setrvačnosti, ráz těles) a principům hydromechaniky (rovnováha tekutin, základní rovnice hydrodynamiky). Autor se dotýká mnoha otázek a speciálních případů, včetně třeba pohybu sférických a cykloidálních kyvadel.

Je zajímavé, že přes padesát stránek je věnováno řetězovkám; stavba řetězových mostů byla tehdy zřejmě velmi aktuální. Autor vychází ovšem z Newtonových pohybových zákonů, ale uvádí i řadu principů analytické mechaniky, jako d'Alembertův nebo princip „živé síly“. Zákon zachování mechanické energie je využíván jen nepřímo, zřejmě ještě nevstoupil do povědomí fyziků jako jeden ze základních fyzikálních zákonů usnadňující integraci pohybových rovnic. Vedle kinetické energie zde stále figuruje „živá síla“.

Tak obsažná učebnice jako přípravný text k vysokoškolskému studiu je jistě nad možností potenciálních čtenářů. Na druhé straně sepsal Finger rozsáhlé kompendium, kam vložil výsledky svého intenzivního studia a vlastních úvah i výpočtů a dodal publikaci přehlednou, logicky utříděnou strukturu. Projevil se v tom jeho syntetický a třídící duch, který je jistě nezbytným prvkem vědeckopedagogické činnosti. Bylo by zajímavé zjistit, co všechno požadoval Finger na svých studentech. Odborné kritiky si Fingerovo dílo pochvalovaly, doporučovaly ho k pilnému studiu, oceňovaly autorovy zkušenosti z výuky na vídeňské technice a pozastavovaly se pouze nad značným objemem učebnice. Finger si toho byl vědom a v předmluvě se omlouvá za to, že jeho kniha obsahuje příliš mnoho slov. Na druhé straně vysvětluje, že usiloval o vědecky přesný výklad. Výsledkem bylo, že zatímco druhé vydání mělo 797 stran, třetí už 842.

Finger se angažoval i v popularizační činnosti, a to s nadšením a vynalézavostí. Na půdě vídeňského *Spolku pro šíření přírodovědných znalostí* přednesl v roce 1882 rozsáhlou přednášku o přitažlivosti zemské (*Ueber terrestrische Gravitation* [F18]) a roku 1887 přednášku o pohybech na zemském povrchu (*Die relativen Bewegung auf der Erdoberfläche* [F20]).

Ve své první přednášce vzpomněl Keplerových zákonů, Galileiových zásluh a Newtonova jablka, jakož i úspěchů nebeské mechaniky, které se odtud odvinuly. Přednášku doprovodil pokusem s pádem těles uvnitř Newtonovy trubice s vyčerpaným vzduchem. Dále pak vysvětlil relativitu pohybů vztažených k různým soustavám a vznik setrvačných sil v soustavách neinerciálních. Kritizoval přitom Julese Verna za jeho fyzikálně neudržitelná tvrzení v knize *Cesta na Měsíc* a uvedl dokonce velikost první kosmické rychlosti. Popsal Cavendishův experiment měření gravitační konstanty a výsledky měření hmotnosti nebeských těles. Předvedl posluchačům reverzní kyvadlo, změřil tíhové zrychlení a vypočetl, o kolik budou posluchači lehčí, vystoupí-li na Mont Blanc. Pojednal o vlivu odstředivé síly a zploštění zeměkoule na tíhové zrychlení. Pustil se dokonce do hlubin zemských a vysvětlil, jak ubývá tíže s hloubkou. Nakonec vzdal hold matičce Zemi, která neviditelným ramenem gravitace k sobě poutá své syny. Nemůže však připoutat náš duch, který *se vznáší vysoko nad tímto žalostným pozemským údolím v lehkém letu do světlých, vznešených sfér, do říše nepomíjejícího a věčného, do čisté říše vědění, aby se tu podílel na nejušlechtlejších pocitech, které přináší výzkum a poznávání pravdy.*

Druhá přednáška začíná pozváním posluchačů na cestu rychlíkem, aby si uvědomili, co je to pohyb vzhledem k pohybuující se vztažné soustavě, na pádu dešťových kapek pochopili, co je to aberace, při brzdění vlaku poznali setrvačnou sílu a v zatáčkách sílu odstředivou. Pak je nechá vystoupit z vlaku v nějaké důlní oblasti a povozit se výtahem důlní šachty s různým zrychlením, aby poznali změny působícího zrychlení, případně se mohli ve stavu beztlíže v padajícím výtahu stavět na hlavu. Fingerův výtah je tedy předchůdcem Einsteinovy zdviže.

Pak musí posluchači znovu do vlaku projíždět se po poledníku, aby na sobě pocítili vliv Coriolisovy síly a nakonec se ještě projet na velkém kole v Prátru a všechno si zopakovat. Jak Finger uvádí, o Coriolisově síle měl povědomost

už Halley, který s její pomocí vysvětloval směr pasátních větrů. Finger se dále podrobně zabývá Baerovým zákonem o utváření říčních břehů na severní a jižní polokouli; vzpomeňme, že se o tento jev zajímal i Einstein. Závěrem své přednášky vzdává Finger Coriolisově síle čest – kdyby jí nebylo, neodkláněl by se Golský proud směrem k Evropě, neoteploval by její klima a Evropa by se nestala kolébkou kultury. Z uvedeného vidíme, že Fingerovy populární přednášky měly vysokou obsahovou i formální úroveň; kdyby byly předneseny dnes, překvapovaly by posluchače novými, neznámými poznatky, stejně jako před sto lety.

V dalších letech se pak Finger věnuje grafickým a geometrickým metodám zkoumání deformace pružných těles a rotační rovnováhy těles tuhých. V práci *Über die Beziehungen der homogenen Deformationen fester Körper zur Reactionsfläche. (Ein Beitrag zur graphischen Statik elastischer Körper)* [F15] popisuje metodu Cauchyho kvadrik homogenních deformací a napětí (nazývá je „reakčními plochami“). V sérii tří článků (*Über die gegenseitigen Beziehungen gewisser in der Mechanik mit Vortheil anwendbaren Flächen zweiter Ordnung nebst Anwendungen auf Probleme der Astatik* [F22], *Über jenes Massenmoment eines materiellen Punktsystems, welches aus dem Trägheitsmomente und dem Deviationsmomente in Bezug auf irgend eine Axe resultirt* [F23], *Über den Hauptpunkt einer beliebigen Axe eines materiellen Punktsystems* [F24]) navazuje na Darbouxovy, Poinsovy a Möbiovy výsledky týkající se volné rovnováhy tuhých těles vystavených působení silových momentů a dvojic, v některých bodech je upřesňuje a dále rozvíjí.

Geometricky transformuje moment setrvačnosti do hlavních os, zavádí další pomocné kvadratické plochy a významné body a zabývá se rotací způsobenou účinkem daného souboru sil kolem os libovolného směru neprocházejících těžištěm. Tak přichází s pojmem „hmotnostního momentu“ (Massenmoment), který definuje jako součet hlavních a deviačních momentů setrvačnosti a dále pak „hlavních bodů“ na ose, vzhledem k nimž mají jeho hmotnostní momenty minimální hodnotu. Jeho „hlavní body“ se mu pak ukládají na plochách třetího a čtvrtého stupně, což vzrušuje jeho geometrické cítění. Popsané metody zabírají autorovi desítky stran a je zde možno jen naznačit, kudy se jeho snahy ubíraly. Pro praktické užití byly tyto metody příliš složité a těžko by se v nich mohli vyznat studenti techniky. Přesto však poukazují na některé zajímavé geometrické vztahy obecně rotujících systémů.

Docela zajímavá je Fingerova práce *Das Potential der inneren Kräfte und die Beziehungen zwischen den Deformationen und den Spannungen in elastisch isotropen Körpern bei Berücksichtigung von Gliedern, die bezüglich der Deformationselemente von dritter, beziehungsweise zweiter Ordnung sind* [F25] z roku 1894 směřující k upřesnění Hookeova zákona. Vychází totiž z deformační energie pružného tělesa, kterou rozkládá do řady a nachází korekční členy druhého a třetího řádu a odpovídající koeficienty, které vztahuje k působícím mezimolekulárním silám. Je to tedy téma disertabilní nebo aspoň „diplomabilní“ i dnes. Z téhož roku pochází i práce *Über die allgemeinsten Beziehungen zwischen endlichen Deformationen und den zugehörigen Spannungen in aeo-*

lotropen und isotropen Substanzen [F27], v níž se Finger zabývá vztahy mezi elastickými koeficienty v anizotropním prostředí. Při studiu elasticity využívá dokonce větu o viriálu a diskutuje její souvislost s deformační energií s cílem popsat i konečné deformace (viz práce *Über die innere Virial eines elastischen Körpers* [F28]).

Poslední vědecká práce, kterou třiašedesátiletý Finger v roce 1904 publikuje, poukazuje na souvislost mezi rotací tuhého tělesa a některými geometrickými tvary vyskytujícími se u kapilárních jevů, jako tvar vodní hladiny nebo podoba vodních kapek (*Über die einer allbekanntes Kapillarscheinung analogen Resultate eines bestimmten Problems der Kinetik starrer Körper* [F29]). Rotuje-li tuhé těleso kolem pevného bodu, ukládají se údajně trajektorie bodů o nejmenší křivosti na plochách třetího stupně. Finger tyto plochy s gusem studuje a nachází analogii např. v plochách udávajících tvar vodní kapky, která se tvoří na spodu vlhké desky, až se nakonec odtrhne. Tato Fingerova práce byla věnována k šedesátinám Ludwigu Boltzmannovi dva roky před jeho tragickou smrtí.

Josef Finger, který se ve svých studentských letech zasloužil o tradici české fyziky a Jednoty, působil pak po celý život jako rakouský fyzik spjatý převážně s vídeňskou technikou. Jeho oborem se stala mechanika a geometrické metody v ní a věnoval se jí se zaujetím. Nedospěl sice k vlastním významným fyzikálním objevům, ale rozhodně projevil velkou píli a erudici, získal rozsáhlé vědomosti a udržoval krok s rozvojem této vědy. Přicházel s novými nápady a zajímavými tématy, občas upozornil na nepřesnosti či chybu v pracech svých současníků a mnohé jistě inspiroval. Jeho pedagogické dílo, metodické práce a popularizační činnost také napomáhaly vědeckému pokroku a porozumění. Je proto na místě, aby dnešní Jednota jeho zásluhy o vědeckou a výchovnou práci ocenila.