

# Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

---

Augustin Žáček

Experimentální důkaz Ampèrových molekulárních proudů

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 45 (1916), No. 2-3, 218--221

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/108953>

## Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1916

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>

## Experimentální důkaz Ampèroových molekulárních proudů.

Napsal Dr. August Žáček.

V 8. čísle loňského ročníku Zpráv německé fysikální společnosti publikovali *Einstein a de Haas*\*) vysoce interesantní práci podávající experimentální důkaz existence Ampèroových proudů molekulárních. Mám za to, že nepřijdu nevhod čtenářům našeho Časopisu, podám-li v následujícím referátě hlavní myšlenky, krátký popis experimentálního uspořádání a výsledky citované práce.

Nedlouho potom, co Oerstedt ukázal, že v okolí elektrického proudu existuje magnetické pole, vyslovil Ampère domněnku, že také magnetismus látek paramagnetických a ferromagnetických možno pokládati za efekt proudů v molekulách látky probíhajících. Také elektronová theorie podržela tuto Ampèroovu hypotesu o molekulárních proudech; dle předpokladů této theorie jsou tyto molekulární proudy tvořeny elementárními náboji (elektrony) v magnetické molekule se pohybujícími.

Ampèroova hypotesa jak v původní formě tak i ve formě, jež jí dala elektronová theorie, jest spojena s jistými obtížemi; proto má experimentální důkaz představy, že magnetický moment jest způsoben elektrony v molekule kroužícími, pro elektronovou theorii fundamentální význam.

Einstein a de Haas založili svůj důkaz na následujícím: Jak v dalším ukážeme, přísluší kroužícímu elektronu impulsivní moment stejného směru jako jest jeho moment magnetický. Velikost poměru obou nezávisí ani na geometrických poměrech ani na frekvenci oběhu elektronu. Taková magnetická molekula chová se s mechanického stanoviska jako setrvačnick s osou rovnoběžnou s osou magnetickou; změní-li se magnetický stav tělesa, změní se orientace oněch setrvačnicků a tím také impulsivní moment elektronů. Dle věty o zachování impulsivního momentu musí být tato změna ihned kompensována jiným impulsivním momentem — v našem případě bude to obyčejný mechanický impulsivní

\*) A. Einstein u. W. J. de Haas: Experimenteller Nachweis der Ampèreschen Molekularströme. — Verhandlungen d. D. Phys. Gesellschaft 17. J. S. 152. 1915.

moment, t. j. těleso uvede se při změně magnetisace do rotace, jež se má experimentem konstatovati.

Jednoduchým počtem snadno se přesvědčíme o správnosti předcházející úvahy: Magnetický moment  $m$  proudu vznikajícího elektrickým nábojem  $\epsilon$  (měřeným elektromagneticky) obíhajícím v kruhové dráze s frekvencí  $n$  jest dán výrazem

$$m = \epsilon n F,$$

kdež  $F$  značí velikost obíhané plochy. Magnetický moment jest vektor kolmý na plochu  $F$ , směr jeho jest dán buď pravotočivým nebo levotočivým šroubem podle toho, je-li obíhající náboj pozitivní nebo negativní.

Takový kroužící náboj o hmotě  $m$  má však také impulsivní moment. Komponenty impulsivního momentu jsou dány všeobecně formulemi:

$$\mathfrak{M}_x^i = \sum m \left( y \frac{dz}{dt} - z \frac{dy}{dt} \right),$$

$$\mathfrak{M}_y^i = \sum m \left( z \frac{dx}{dt} - x \frac{dz}{dt} \right),$$

$$\mathfrak{M}_z^i = \sum m \left( x \frac{dy}{dt} - y \frac{dx}{dt} \right).$$

Volíme-li rovinu  $(x, y)$  v rovině kruhové dráhy elektronu, počátek souřadnic pak položíme do středu kruhu, máme:

$$\begin{aligned} x &= r \cos 2\pi n t, & y &= r \sin 2\pi n t, & z &= 0, \\ \mathfrak{M}_x^i &= 0, & \mathfrak{M}_y^i &= 0, & \mathfrak{M}_z^i &= m \cdot 2\pi n r^2 \\ & & & & &= 2m n F; \end{aligned}$$

impulsivní moment stojí tedy kolmo na rovině dráhy náboje, t. j. splývá se směrem příslušného magnetického momentu.

Poměr obou vektorů

$$\mathfrak{M}_z^i = \frac{2m}{\epsilon} m$$

nezávisí na velikosti dráhy, ani na frekvenci oběhu.

Je-li takových obíhajících nábojů v molekule více, stačí v poslední rovnici provéstí summaci. Tento vztah lze rozšířiti i na libovolná magnetisace schopná tělesa, vztahujeme-li summaci na všechny kroužící náboje, jež v tělese jsou obsaženy. V tom případě

$$\overline{\mathfrak{M}}^i = \sum \mathfrak{M}^i$$

značí úhrnný impulsivní moment elektronů,

$$J = \Sigma m$$

úhrnnou magnetisaci tělesa.

Uzijeme-li tohoto označení, dostáváme pro další úvahy fundamentální vztah

$$\overline{M}^i = \frac{2m}{\epsilon} J.$$

V případě, že Ampèreovy proudy jsou fakticky působeny obíhajícími negativními elektrony, pro něž známe hodnotu spec. náboje

$$\frac{\epsilon}{m} = -1,77 \cdot 10^7,$$

dostáváme

$$\overline{M}^i = -1,13 \cdot 10^{-7} J.$$

Dle věty o zachování impulsivního momentu má každá změna impulsivního momentu za následek vznik rotačního momentu  $\vartheta$ :

$$\vartheta = -\frac{d\overline{M}^i}{dt} = 1,13 \cdot 10^{-7} \frac{dJ}{dt},$$

t. j. při každé změně magnetisace vzniká rotační moment.

To měl experiment ukázat; jak ze zběžného počtu viděti, není při vhodně zvolených podmínkách očekávaný efekt tak malý, že by jej nebylo lze pozorovati.

Metoda, již Einstein a de Haas k pozorování efektu užíli, jest v principu velmi jednoduchá: Dlouhá, tenká tyčinka železná jest zavěšena na skleněném vlákně v ose magnetisační cívky, jež tyčinku axiálně magnetisuje. Kommutováním proudu v cívce se tyčinka přemagnetisuje, při tom vzniká moment, jenž tyčinku pootočí. Při pozorování touto methodou jsou však magnetické síly, jimž tyčinka také podléhá, velmi značné a geometricky nedosti symmetrické, takže při kommutaci vykoná tyčinka vlivem těchto magnetických sil pohyby, jež očekávaný efekt, poměrně malý, úplně překrývají. Uvedenou obtíž odstranili auktoři tím, že užíli proudu střídavého a současně volili délku závěsného vlákna skleněného tak, aby vlastní doba torsních kmitů se shodovala s frekvencí užitého střídavého proudu. Pak moment způsobený dle předcházející theorie změnou magnetisace jest

periodický a způsobuje torsní kmity tyčinky, jež pozorují se na rozšíření obrazu vlákna žárovky odraženého na zrcadélku, jež na tyčince jest připevněno. Tento obrat má vedle okolnosti, že odstraňuje všechny rušivé vlivy, jež nemají frekvenci užitého proudu, i tu velikou výhodu, že resonancí se očekávaný efekt zesílí. Jediný rušivý vliv se uplatňoval, jak ukazoval experiment, a sice ten, že osa rotace nesplývala úplně s osou magnetickou, takže horizontální pole (na př. horizontální složka zemského magnetismu) uvádělo tyčinku do torsních kmitů téže frekvence jako má užitý proud. Zvláštní kompensací horizontální složky zemského magnetismu bylo lze uvedený rušivý vliv snadno odstraniti.

Ku konci několik slov o výsledku pokusů: Když byly připojeny magnetisační cívky na síť střídavého proudu, zůstal světelný index v naprostém klidu tak dlouho, dokud nebyla vhodně zvolena délka závěsného vlákna. Při délce vlákna 8 *cm* byl obor resonance asi 1 *mm*. Byla-li délka vlákna naregulována na resonanci, tu bylo lze pozorovati rozšíření světelného indexu (na škále ve vzdálenosti 45 *cm*) až na 3 *cm*. Kompensací horizontální složky zemského magnetismu redukovala se tato „výchylka“ na 4,5 *mm*. Na velikost této minimální výchylky nemá již vnější horizontální pole vlivu. Experiment ukázal dále, že moment tyto torsní kmity způsobující má fakticky fási výrazu  $\frac{dJ}{dt}$ ; další pokus ukázal touž závislost momentu na intensitě magnetisujícího proudu, jakou na proud závisí magnetisace tyčinky, konečně úměrnost momentu výrazu  $\frac{dJ}{dt}$  a nikoliv  $-\frac{dJ}{dt}$ , z čehož možno usuzovati, že pozorovaný efekt jest způsoben částicemi negativně nabitými. Kdežto z nahoře uvedené theorie plyne pro „výchylku“ hodnota 6,5 *mm*, byla pozorována výchylka pouze 4,5 *mm*.

Jak se zdá, podařilo se těmito pokusy učiniti z Ampèreovy představy, jež dosud byla pouze hypotésou, experimentální fakt.