

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

Kliment Šoler
Barkhausenův efekt

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 67 (1938), No. Suppl., D147--D152

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/120792>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1938

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>

a vzdálenost sousedních dvou udává poloviční délku vlny. Podobně neonovou lampičkou možno nalézt kmitny napětí, jež se shodují s uzly intensity na důkaz fázového rozdílu obou.

Jiný, stejně pěkný pokus možno provést s dipolem, t. j. otevřeným oscilátorem, který opět opatříme žárovkou. Pokud možná opatříme si k němu ramena proměnné délky (na způsob zasouvacích nožek fotograf. stativu). Jeden takový dipol umístíme do blízkosti vysilače a upravme vazbu a délku ramen, aby žárovka svítila. Podobný dipol s izolovaným držátkem uprostřed chopme do ruky a, pohybujeme-li se s ním směrem od prvního, rozsvítí se v některých místech žárovka (v kmitnách), jsou-li jeho ramena rovnoběžná s prvním.

S podobným, ale kratším dipolem se přesvědčíme o vlivu dielektrika na délku vlny. Vložme jej do válce s vodou; pohybem válce od vysilače docílíme opět toho, že se jeho žárovka rozsvítí, ale při dipolu kratším vzhledem k dielektrické konstantě vody.

* * *

Uvedl jsem část pokusů, jež považuji za nejinstruktivnější z těch, které jsme konali v oktávě Jirsíkova gymnasia v Čes. Budějovicích při výkladech o elektromagnetických vlnách a mohu říci, že jejich úspěch odmění učitele za námahu a čas, vynaložené na jejich přípravu, neboť jsou z oněch pokusů, které vyžadují předchozí pečlivé přípravy nejvíce.

Aparatura je sice nákladnější,*) ale tam, kde dostatečná dotace kabinetu dovolí, jest její pořízení nutností, neboť zmíněná partie je aktualitou fyziky poválečné.

Barkhausenův efekt.

Dr. Kliment Šoler, Čes. Budějovice.

Nízkofrekvenční lampový zesilovač jest dnes v praktickém životě i ve škole věc zcela běžná. Pro fysika plynou z toho dvě výhody. Především má v ústavě nebo přímo ve fysikálním kabinetě pomůcku, která mu dovoluje ukázat pokusně některé nové věci, které by jinak mohl vyložit pouze čistě teoreticky. Okolnost, že nízkofrekvenční lampový zesilovač jest žákům — jako předmět denní potřeby — věcí zcela běžnou, pak dovoluje, abychom takové pokusy užívající nízkofrekvenčního zesílení konali i tehdy, když vlastní funkce elektronové lampy a tudíž i činnost zesilovače

*) Fysma, Praha II, Žitná 25, vypracovala soubor pro výklady o elektromagnetických vlnách upravený vhodně pro střední školy.

nebyla ve škole ještě po fyzikální stránce probrána. Stačí uvést, že zesilovač zesiluje slabé elektrické impulsy do něho přicházející asi podobně, jako zesiluje slabou energii zachycenou anténou radiopřijímače. V podrobnostech možno pak poukázat na pozdější výklad. Tento postup nebude snad metodicky na závalu a umožní nám předvésti ve fyzice některé nové pokusy. Výklady o záznamu a reprodukci zvuku a o zvukovém filmu dají se tak na příklad velmi pěkně oživit řadou zajímavých pokusů.

Mezi zajímavé zjevy, které jest možno na střední škole pomocí nízkofrekventního zesilovače poměrně snadno předvésti, patří také efekt Barkhausenův, který dovoluje ukázat pokusně, že feromagnetická látka skládá se skutečně z malých elementárních magnetů, které se při zmagnetování takové látky obracejí do směru magnetického pole. Tyto elementární magnety se však při magnetisaci neotáčejí ponaáhlu a spojitě, nýbrž každý takový elementární magnet otočí se vždy najednou o větší úhel. Je to působeno tím, že tyto elementární magnety jsou elastickými silami drženy ve své původní rovnovážné poloze. Jednotlivé částice jsou uspořádány tak, že následkem jejich vzájemného působení jest mezi nimi rovnováha. Změní-li se zevní pole magnetické, tato rovnováha se poruší. Jednotlivé elementární magnety však mají určitou setrvačnost, takže se neotočí do nové polohy ihned po porušení rovnováhy, nýbrž teprve tehdy, když síla vychylující je z této polohy dosáhne určité výše potřebné k tomu, aby se překonalo tření, elastické síly i jiné překážky bránící otočení těchto elementárních magnetů. Jakmile síla rušící rovnováhu dosáhne potřebné výše, elementární magnet se najednou prudce otočí do nové polohy. Protože soudržnost jednotlivých částí feromagnetické látky jest na různých místech různá, otočí se některé elementární magnety do nové polohy dříve, jiné o něco později. Otočení každého elementárního magnetu působí pak i na rovnováhu částic sousedních, jichž rovnováha se otočením sousedních elementárních magnetů může porušiti. Jest tedy otáčení těchto jednotlivých elementárních magnetů nespojitě. Při rostoucí intenzitě vnějšího magnetického pole začnou se jednotlivé elementární magnety postupně otáčeti, při čemž časové rozdělení těchto skoků se řídí Gausovou křivkou z počtu pravděpodobnosti, takže v určitém okamžiku se otáčí těchto elementárních magnetů největší počet.

Vzbudíme-li tudíž v okolí takové feromagnetické látky vhodné magnetické pole, jehož intenzitu případně i směr postupně měníme, překlopují se postupně jednotlivé elementární magnety dané látky do směru tohoto pole. Podobně při zeslabování magnetického pole jsou jednotlivé elementární magnety taženy zase zpět do své původní rovnovážné polohy. Otáčení magnetů děje se zase postupně,

nikoli najednou. Podobný zjev nastává, je-li daná látka mezi póly podkovovitého magnetu, který se pomalu otáčí.

Otáčení a skoky těchto elementárních magnetů dají se poměrně jednoduše pozorovati tím způsobem, že se magnetovaný materiál vloží do vhodné indukční cívky. V indukční cívice nastává magnetoindukce, to jest při každém otočení některého takového elementárního magnetu se v ní indukuje slabý proudový náraz, který po dostatečném zesílení se nám projeví jako praskot ve sluchátkách nebo v reproduktoru. Počet prasknutí v reproduktoru odpovídá počtu elementárních magnetů, které se otočily do nové polohy.

Uvedený pokus popsal po prvé známý odborník v zesilovací technice prof. H. Barkhausen¹⁾ v roce 1919. Od té doby vyšla o Barkhausenově efektu nepřehledná řada publikací, neboť tento zjev a jeho studium má neobyčejný význam pro teorii a výklad podstaty magnetismu a struktury kovů vůbec, neboť nám dovoluje studovati jemnou strukturu feromagnetických látek. U nás popsal přede dvěma léty tento pokus s některými novými variantami prof. dr. Václav Šebesta.²⁾ Ukazuje se, že přesný a podrobný výklad Barkhausenova zjevu jest značně obtížný, má-li zahrnovati všechny výsledky dosud pokusně získané. Při pozorování zjevu uplatňuje se také celá řada vedlejších vlivů, které jeho studium stěžují. Zcela vyhovující výklad zahrnující všechna dosud známá fakta dosud vlastně ještě podán nebyl, ale jest velmi pravděpodobné, že zjev tento souvisí s magnetostrikcí.

Jisto jest však tolik, že Barkhausenův zjev potvrzuje pokusně existenci elementárních magnetů ve feromagnetických látkách. To nám jistě pro výklad na střední škole zcela postačí. Důležitější jest, že se pokus dá provésti poměrně dosti jednoduše a bez zvláštních pomůcek.

Pokus možno nejsnáze vykonati v úpravě, které užil již při svém prvním pokuse sám Barkhausen. Základem jest malá indukční cívicečka navinutá na slabé trubce z nemagnetického materiálu. (Na příklad skleněná trubka, průřez asi 1—3 mm, délka asi 3—5 cm.) Na cívice jest navinuto asi 300—1000 závitů slabého měděného drátu (isolovaný měděný drát průřezu 0,1—0,15 mm). Cívku tuto možno odporem a počtem závitů přizpůsobiti primárnímu vinutí užitého nízkofrekventního transformátoru, ale není to nutné, neboť pokus se zcela dobře daří i bez tohoto přizpůsobení. Tato indukční cívka připojena jest ke vstupním svorkám nízkofrekventního zesilovače. Ukazuje se, že k přímému buzení nízkofrekventní části normálního síťového rozhlasového přijímače (při-

¹⁾ H. Barkhausen: *Physikalische Zeitschrift* 20 (1919), str. 401—403.

²⁾ V. Šebesta: Experimentální příspěvek k výkladu Barkhausenova efektu. *Hornický Věstník* 1935.

pojením na svorku pro gramofonovou přenosku) někdy indukční nárazy vyvolané v indukční cívce překlápním elementárních magnetů nestačí. V tom případě jest nutno mezi indukční cívku a vlastní síťový zesilovač zapojiti asi dvou- až třilampový bateriový předzesilovač. Subjektivně projevuje se Barkhausenův efekt slabě i bez nízkofrekventního zesilovače také v dosti citlivém telefonu připojeném přímo k indukční cívce. Velmi zřetelně jeví se tento efekt ve sluchátkách po 2—3 stupňovém zesílení. Pro objektivní demonstraci tohoto pokusu většímu počtu posluchačů jest zapotřebí 3—5násobného zesílení s normálními zesilovacími lampami, při užití moderních vysoce výkonných koncových lamp stačí případně i zesílení o něco menší.

Do indukční cívky vloží se slabý drátek z měkkého železa případně několik takových drátků vedle sebe, které se v trubičce vhodným způsobem upevní, aby se při přibližování a vzdalování magnetu v trubičce nemohly pohybovati, neboť tím by mohly v reproduktoru vznikat rušivé rachoty. Železné drátky sahají až těsně k oběma koncům indukční cívky. Přibližujeme-li nyní k této cívce s vloženým železným drátkem pomalu tyčovitý magnet, ozve se v telefonu neb reproduktoru náhle praskot, který trvá tak dlouho, pokud magnet přibližujeme. Při určité vzdálenosti magnetu jest praskot maximální a při dalším přibližování magnetu poněkud slábne. Podobný praskot ukazuje se také v případě, když magnet od cívky opět vzdalujeme. Důležité jest, že praskot nastává pouze při pohybu magnetu, tudíž při změně magnetického pole.

O přímý indukční účinek magnetu na indukční cívku se v tomto případě jednati nemůže, neboť při pomalém přibližování a vzdalování magnetu mohl by vždy vzniknouti pouze jediný proudový stejnosměrný náraz, který by se v telefonu ani patrně neprojevil, nikoli celá řada praskotů. Zjev jest mimo to při poměrně pomalém pohybu magnetu nápadnější, než při pohybu rychlém, což též potvrzuje, že se zde nejedná o přímou indukci. Jedná se zde tudíž skutečně o proudové nárazy vznikající tím, že se jednotlivé elementární magnety při přibližování magnetu obracejí postupně směrem k němu a při svém náhlém otočení indukují v cívce jednotlivé proudové nárazy. Nejvíce těchto elementárních magnetů obrací se v tom okamžiku, kdy vzdálenost budícího magnetu jest taková, že jeho pole právě překonává elastické i jiné molekulární síly držící tyto elementární magnety v jejich rovnovážné poloze. Protože tyto molekulární síly jsou pro různé elementární magnety různé, překlápějí se jednotlivé elementární magnety při různé vzdálenosti budícího magnetu.

Zjev dá se ukázati také pomocí magnetu podkovovitého, tak, že se indukční cívka s vloženým železným drátkem umístí mezi

póly podkovovitého magnetu, který se pomalu otáčí tak, aby se jeho póly otáčely v rovině cívký. Tím se jednotlivé póly střídavě přibližují k oběma koncům železného drátku a opět se od něho vzdalují, čímž se drátek stále přemagnetovává. Nejvhodnější jest umístiti podkovovitý magnet do centrifugálního stroje. Při otáčení strojem slyšíme skoro stále praskání, které se střídavě zesiluje a slabne. Při této otáčivé úpravě jest možno zjev předváděti bez přerušení i po delší dobu.

Aby se Barkhausenův zjev zřetelně projevil, musí býti zachován určitý poměr mezi silou budícího magnetu a mezi tloušťkou přemagnetovávaného materiálu. Především musí býti permanentní magnet dostatečně silný, aby k zmagnetování dané látky stačil. Ukazuje se také, že efekt jest tím výraznější, čím jest železný drátek slabší. Pro normální permanentní magnety nejvhodnější jest drátek z měkkého železa o síle 0,1—1 mm, dobře se osvědčuje drátek asi půl milimetru silný a 3—5 mm dlouhý. S rostoucí silou materiálu efekt slabne a u jádra o síle asi 2 centimetry již není vůbec patrný. Proto jest výhodnější vzít raději větší počet drátků slabších. Ukazuje se, že pokovované drátky vykazují efekt značně slabší než vůbec žádný. Efekt ukazuje se také na drátech napínaných mechanicky, na znející železné struně atd., což vše jsou podrobnosti, které zde není možno probírat. Pokud se jakosti materiálu týče, jest efekt tím výraznější, čím jest přemagnetovávaný materiál magneticky měkčí. Jeví se pouze u drátku v celku, u drátku rozstříhaného se neukazuje (ani po jeho sletování), rovněž u železných pilin se nejeví.

Barkhausenův efekt dokazuje bezpečně existenci elementárních magnetů, mimo to dokazuje, že tyto elementární magnety se při svém stáčení nepohybují spojitě, jak by se snad na prvý pohled zdálo, nýbrž otáčejí se do nové polohy vždy skokem. Také tento výsledek má pro teorii magnetismu značný význam.

Barkhausenův zjev byl samozřejmě sledován dále, při čemž bylo použito nejmodernějších fyzikálních přístrojů. Fotografická registrace a počítadlo proudových nárazů umožnily sledovati tyto nárazy početně a statisticky. Výpočet ukazuje, že se zde skutečně jedná o náhlé přeskupení určitých komplexů molekul, a umožňuje alespoň přibližně vypočítati za určitých předpokladů i jejich velikost. Ukazuje se, že rozměr takového elementárního molekulárního magnetu činí asi jednu setinu krychlového milimetru, což jest hodnota jistě větší, než by se snad na prvý pohled zdálo a přesahuje rozhodně rozměry molekul. Představíme-li si tyto molekulární magnety jako koule, byl by jejich průměr větší než čtvrt milimetru, takže tyto elementární magnety by byly pozorovatelné dokonce i pouhým okem. Doba trvání překlopení takového elementárního magnetu nebyla dosud dosti přesně určena,

ale dosavadní měření ukazují, že jest kratší než jedna třisetina vteřiny. Teoreticky jest Barkhausenův efekt vysvětlován jako zjev magneto-elastický, při němž se současně mění veličiny magnetické i elektrické.

Při demonstraci Barkhausenova zjevu na střední škole užíváme ve skutečnosti vedle nízkofrekventního zesilovače ještě jednoho zjevu žákům dosud neznámého, totiž elektromagnetické indukce. Myslím ale, že ani to by nemuselo býti na závalu tomu, aby bylo možno pokus předvésti již v nauce o magnetismu. Jednak si při něm žáci všimnou jen hlavního děje pokusu: přibližování magnetu k železnému drátku. O indukční cívce snad stačí uvést, že jest to něco podobného jako mikrofon. Kdežto mikrofon nám mění akustické kmity ve kmity elektrické, umožňuje nám tato indukční cívka opět přeměnití otáčení elementárních magnetů v proudové nárazy a po zesílení v praskot v reproduktoru. Cívka zachycuje tudíž otáčení elementárních magnetů a mění je v praskot. Výklad tento s poukazem na to, že funkce této indukční cívky bude později podrobněji vysvětlena, žákům jistě zcela postačí a umožní nám předvésti tento pokus v té partii magnetismu, kde máme pokusů poměrně málo. Jinak bylo by nutno pokus přesunouti až do výkladů o indukci nebo ještě spíše až k výkladům o činnosti nízkofrekventního zesilovače.
