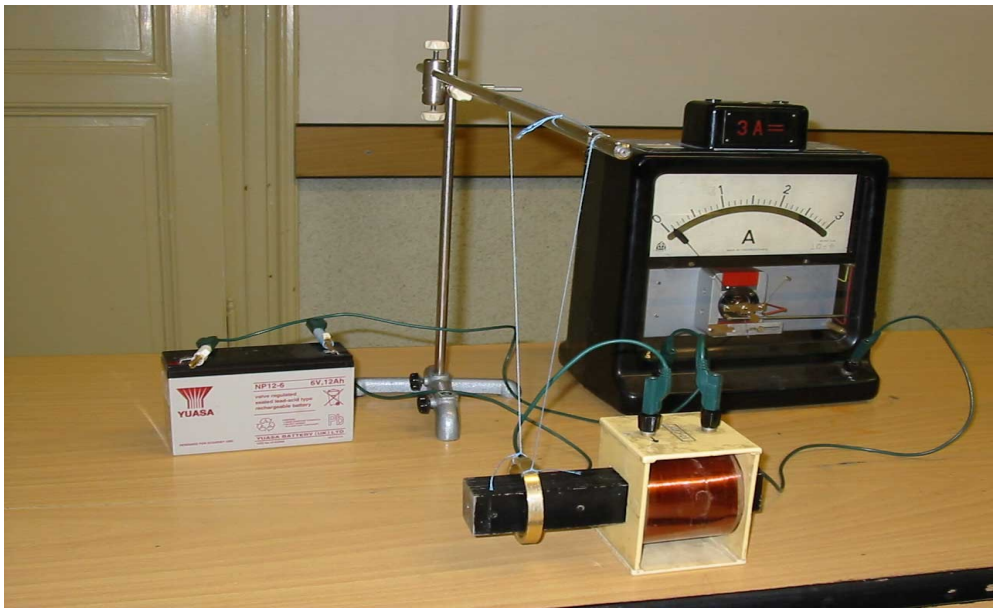
4.5.10 Lenzův zákon

Předpoklady: 4502, 4503, 4507, 4508

Pokus:



Na obrázku je zachyceno rozestavení pokusu. Cívku můžeme připojit ke zdroji a vytvořit z ní elektromagnet. Uvnitř cívky je zastrčeno dlouhé tyčové jádro, aby vytvořené pole zesílilo. Na závěsu je upevněn hliníkový kroužek, tak aby byl „navlečen“ na jádro, nedotýkal se ho a mohl se volně kývat.

- cívku připojíme ke zdroji ⇒ kroužek se odpudí od cívky a začne se trošku kývat
- ustálíme kroužek v rovnovážné poloze a pak cívku vypneme ⇒ kroužek se přitáhne k cívce a opět se rozkývá

Jak bude kroužek reagovat na zapnutí a vypnutí, když připojíme cívku ke zdroji s obrácenou polaritou?
Většina lidí si myslí, že jeho chování se obrátí, ale pozor. My jsme si neříkali, jak cívku k připojujeme, že by na tom nezáleželo?
Opravdu, i když připojíme cívku ke zdroji obráceně, pokus proběhne přesně stejně:

- cívku připojíme ke zdroji ⇒ kroužek se odpudí od cívky a začne se trošku kývat
- ustálíme kroužek v rovnovážné poloze a pak cívku vypneme ⇒ kroužek se přitáhne k cívce a opět se rozkývá

Př. 1: Vysvětli průběh pokusu. Proč se při zapínání kroužek vždy odpudí? Proč se při vypínání vždy přitahuje?

První nápad: při zapínání se z cívky stává magnet ⇒ kroužek se zmagnetuje a pak na něj cívka začne působit.
Tak to být nemůže:

- Kroužek je z hliníku, z diamagnetické látky, takže se nedá zmagnetovat a magnet na něj nepůsobí (o čemž se můžeme přesvědčit, když k němu pomalu přiblížíme magnet. Pokud ho naopak budeme ke kroužku přibližovat rychle, můžeme dosáhnout stejného efektu jako při zapínání cívky).

- všechny látky se zmagnetovávají tak, aby se začaly přitahovat k magnetu, který je zmagnetoval ⇒ kroužek by se musel přitahovat
- Jak to, že cívka na kroužek nepůsobí, když už je zapojená?

efekt se objevuje pouze při zapínání a vypínání proudu (stejně jako elektromagnetická indukce) ⇒ zřejmě tam hraje roli indukování napětí v kroužku
Opatrnější pohled:

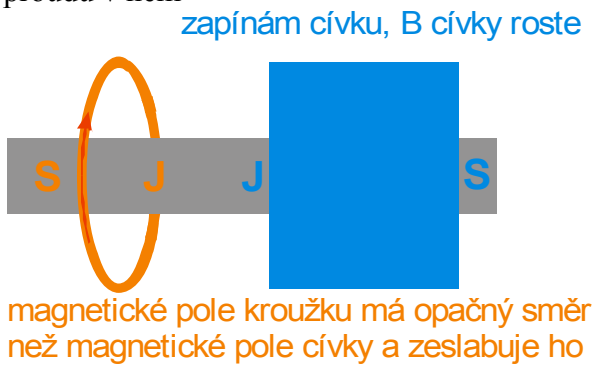
- zapínáme cívku ⇒ zvětšuje se její magnetické pole a protože kroužek je navlečen na stejném jádru zvětšuje se magnetické pole i uvnitř kroužku ⇒ v kroužku se mění magnetický indukční tok ⇒ v kroužku se indukuje elektrické napětí ⇒ protože je vodivý a uzavřený začne v něm téct proud ⇒ stane se magnetem a může se přitahovat nebo odpuzovat od cívky
- cívka je zapnutá ⇒ nemění se magnetické pole cívky a tím ani magnetický indukční tok v kroužku ⇒ v kroužku se neindukuje proud ⇒ kroužek není magnetem a magnetické pole cívky na něj nepůsobí
- vypínáme cívku ⇒ zmenšuje se její magnetické pole a protože kroužek je navlečen na stejném jádru zmenšuje se magnetické pole i uvnitř kroužku ⇒ v kroužku se mění magnetický indukční tok ⇒ v kroužku se indukuje elektrické napětí ⇒ protože je vodivý a uzavřený začne v něm téct proud ⇒ stane se magnetem a může se přitahovat nebo odpuzovat od cívky

⇒ zbývá vyřešit směry vzniklého proudu

a) Zapínání obvodu

neznám směr proudu v cívce, vyberu si orientaci její magnetického pole libovolně

kroužek se odpuzuje ⇒ můžeme si označit póly magnetu, který vznikl z kroužku, i směr proudu v něm

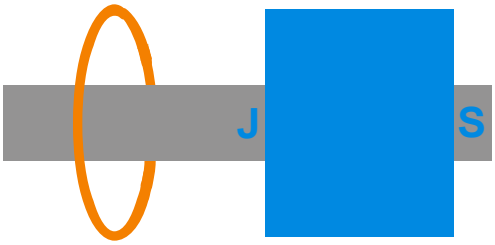


pokud bychom zapojili cívku ke zdroji s opačnou polaritou, změnilo by se označení pólů a směr proudu v kroužku, vše ostatní by zůstalo

b) Vypínání obvodu

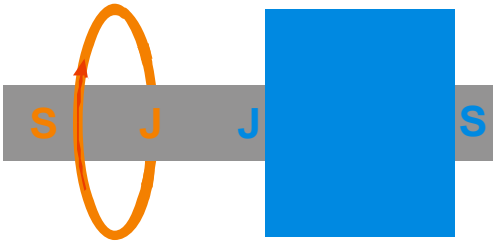
neznám směr proudu v cívce, vyberu si orientaci její magnetického pole libovolně

vypínám cívku, B cívky klesá



kroužek se přitahuje ⇒ můžeme si označit póly magnetu, který vznikl z kroužku, i směr proudu v něm

zapínám cívku, B cívky roste



magnetické pole kroužku má opačný směr než magnetické pole cívky a zeslabuje ho

pokud by byla cívka zapojená ke zdroji s opačnou polaritou, změnilo by se označení pólů a směr proudu v kroužku, vše ostatní by zůstalo

Co mají oba případy společného?
Elektrický proud se indukuje v kroužku tak, že se jeho magnetické pole snaží zmenšit změnu magnetického pole cívky (když pole cívky roste, kroužek ho zmenšuje, když pole cívky klesá, kroužek ho zvětšuje)

Předchozí závěr je zformulován jako **Lenzův zákon**:
Indukovaný elektrický proud v uzavřeném obvodu má takový směr, aby svým magnetickým polem působil proti změně magnetického indukčního toku, která jeho vznik vyvolala.

Docela dobře si můžeme představit Lenzův zákon jako mínus, které nás trápilo v zákonu elektromagnetické indukce.

Náš předchozí pokus trochu vylepšíme, aby byl kapánek efektnější.
Cívku s jádrem otočíme tak, aby jádro směřovala kolmo vzhůru. Kroužek sundáme ze závěsu a navlékneme ho na jádro tak, aby ležel na cívce. Cívku připojíme do zásuvky a kroužek vyletí více než metr na cívku.

Př. 2: Vysvětli, proč byl v tomto případě efekt daleko znatelnější než v prvním pokusu.

Napětí v zásuvce je podstatně větší než napětí baterie z prvního pokusu ⇒ při pokusu potečou cívkou větší proudu a zřejmě budou větší i působící síly.

Předchozí vysvětlení než špatné, ale není ani úplné. Vezmeme do ruky knížku a přiložíme ji k seshora k jádru tak, aby kroužek nemohl vyletět. Po zapojení kroužek vyletí od cívky a zůstane ezspoda přilepen ke knížce.

Př. 3: Vysvětli, jak je možné, že cívka odpuzuje kroužek i poté, co proud cívkou už nějakou dobu prochází.

V zásuvkách máme střídavé napětí ⇒ proud procházející cívkou neustále mění směr (50x za sekundu) ⇒ neustále se mění indukční tok procházející kroužkem ⇒ v kroužku se neustále indukuje elektrický proud ⇒ kroužek se neustále odpuzuje od cívky.

Z předchozího pokusu je zřejmé, že kromě rozdílné velikosti působících sil hraje roli i různá doba, kterou působí na kroužek.

Pedagogická poznámka: Můj fyzikář na střední škole předváděl pokus ještě efektněji. Poté, co nechal kroužek vyletět do stropu se vsadil, že ho nikdo neudrží. Samozřejmě se našel svalovec, který byl přesvědčen, že kroužek udržet půjde. Vzhledem k tomu, že jde o pokus se síťovým napětím, nikdy jsem neměl odvahu to udělat stejně.

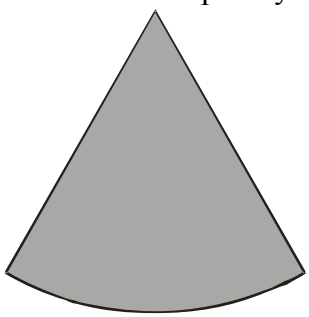
Další zajímavý efekt: pokud chvilku kroužek knížkou přidržujeme ve vzduchu silně se zahřeje.

Př. 4: Vysvětli, proč se kroužek levitující nad cívkou zahřívá.

Protože je nadlehčován z načnou silou, musí přes něj téct značný proud, který ho samozřejmě silně zahřeje.

Nasadím dvě cívky na U jádro tak, aby společně vytvořili elektromagnet. Na vrchní stranu jádra přiložím speciální nástavce tak, aby se magnetické pole koncentrovalo do úzké štěrbiny. Na celou aparaturu přidělám kyvadélko v hliníkového plechu tak, aby se kývalo ve štěrbině.

- cívkami neprochází proud ⇒ kyvadlo po vychýlení rukou houpe déle
- cívkami prochází proud ⇒ houpání kyvadla se rychle zastaví a kyvadlo se pomalu vrátí do klidové polohy.

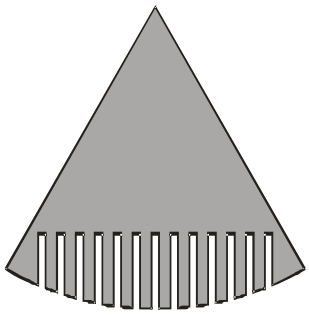


Podobně jako v kroužku i v kyvadle vznikají indukované proudy. Mají tvar vírů a nazývají se Foucaultovy proudy. Tyto proudy vytvářejí z kyvadélka magnet, který působí proti změnám magnetického pole ve svém okolí a tím brzdí pohyb kyvadla ⇒
(elektro)magnetická brzda – brzdí například kotouček elektroměru, otáčení hliníkového kotoučku mezi póly permanentního magnetu se zastaví, jakmile přestaneme odebírat elektrický proud, právě díky naindukování proudů do kotoučku elektroměru

Většinou o Foucautovy proudy moc nestojíme. Svým průchodem materiál zahřívají ⇒ ztráty energie ⇒ snaha zmenšit indukované proudy ⇒

- například jádra transformátoru nejsou z jednoho kusu plechu, ale jsou slepena z více izolovaných vrstev (na menším prostoru je menší naindukované napětí a tím i menší proudy)
- jádra se vyrábí z nevodivých ferimagnetických látek

Vliv tvaru vodiče na velikost Foucaultových proudů můžeme ověřit pomocí kyvadla se zubatým okrajem. Takové kyvadlo se při zapnutém proudu zastaví, ale až po delší době.



Př. 5: Vysvětli, proč se jádra vysokofrekvenčních cívek nedělají z ocele, ale z málo vodivého feritu.

Vysokofrekvenční cívky jsou určeny do obvodů, kde se velmi rychle mění napětí a proud ⇒ obrovské změny magnetického toku v těchto cívkách ⇒ obrovské hodnoty indukovaného napětí v jádrech ⇒ jádra musí mít velký odpor, aby v nich netekly velké proudy

Shrnutí: Indukovaný proud má takový směr, aby jeho magnetické účinky působili proti změně, která ho vyvolala.