

Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

## Fyzikální praktikum II



### Úloha č. 21

Název úlohy: ..... Studium hysterezních smyček feritů .....

Jméno: ..... Vladislav Wohlrath ..... Obor: (FOF) FAF FMUZV

Datum měření: ..... 17. 10. 2016 ..... Datum odevzdání: .....

Připomínky opravujícího:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 5	
Teoretická část	0 - 1	
Výsledky měření	0 - 8	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 1	
Seznam použité literatury	0 - 1	
<b>Celkem</b>	max. 20	

Posuzoval:.....

dne: .....

## Pracovní úkoly

- U feritových kroužků I, II a III
  - Změřte závislost indukce  $B_m$  a koerktivní síly  $H_C$  na intensitě magnetického pole  $H_m$ .
  - Sledujte základní typy hysterezních smyček v závislosti na intensitě pole  $H_m$  a zjistěte přibližně, při které intensitě pole  $H_m$  (nebo v kterém intervalu intenzit polí) jednotlivé typy hysterezních smyček přecházejí jeden v druhý.
- Okalibrujte aparaturu pomocí střídavého napětí známé velikosti.
- Výsledky dle bodu 1a) zpracujte tabelárně a graficky.

## Teoretická část

Budeme sledovat hysterézní smyčky feritů. Rozeznáváme tři základní typy hysterézních smyček — úsečku, Rayleighův tvar a normální.

Používáme zapojení na obrázku 1.

Na miliampérmetru měříme efektivní hodnotu proudu  $I_{ef}$ , z něj určíme maximální intenzitu magnetického pole v kroužku

$$H_m = \frac{2n_1\sqrt{2}I_{ef}}{\pi(d_1 + d_2)}, \quad (1)$$

kde  $n_1$  je počet závitů na primárním vinutí a  $d_1$  a  $d_2$  jsou vnitřní a vnější průměr kroužku.

Koerktivní sílu  $H_C$  určíme srovnáním s  $H_m$  na stínítku osciloskopu.

Abychom mohli určit maximální magnetickou indukci  $B_m$ , okulibrujeme vertikální osu osciloskopu pomocí střídavého napětí známé velikosti. Obvod zapojíme podle obrázku 2 a pustíme do něj střídavé napětí o známé úhlové frekvenci  $\omega$ .

Na dekádě zvolíme odpor  $999\ \Omega$ , takže efektivní hodnota napětí na normálu  $U_{ef}$  bude rovna jedné tisícině udáje na voltmetru.  $B_m$  určíme jako [1]

$$B_m = \frac{U_{ef}\sqrt{2}}{\omega S n_2}, \quad (2)$$

kde  $n_2$  je počet závitů na sekundárním vinutí a  $S$  je průřez kroužku

$$S = \frac{1}{2}(d_1 - d_2)v, \quad (3)$$

kde  $v$  je výška kroužku. Takto určíme jednu skutečnou hodnotu  $B_m$  při plně rozvinuté hysterezní smyčce, ostatní určíme poměrně k ní.

## Výsledky měření

Měření proběhlo při normálním tlaku a pokojové teplotě (přibližně  $22^\circ\text{C}$ ). Všechny uvedené nejistoty jsou standardní a v zápisu  $10(1)$  znamená číslo v závorce nejistotu v řádu poslední uvedené číslice.

Měřili jsme tři feritové kroužky označené římskými I, II, III. Jejich vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 1.

Proud i napětí jsme měřili multimetrem METEX M-3720D.

Při kalibraci jsme používali střídavé napětí o síťové frekvenci 50 Hz, proto  $\omega = 2\pi \cdot 50\text{ rad s}^{-1}$ .

Nastavili jsme napětí na normálu takové, aby úsečka na osciloskopu byla vysoká jako hysterezní smyčka každého kroužku při nejvyšším měřeném proudu. Pro kroužky I a III ukazoval voltmetr napětí  $7,0(1)\text{ V}$  a pro kroužek II  $5,7(1)\text{ V}$ . Napětí  $U_{ef}$  je tedy rovné tisícině této hodnoty.

Podle (2) jsme vypočítali magnetickou indukci v každém kroužku při plně rozevřené hysterezní smyčce a poměrně k této hodnotě jsme určili ostatní hodnoty.

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2. Hodnoty indukce, které byly určeny kalibrací jsou tučně. Délky úseček na stínítku neuvádíme, stejně jako poměr  $H_C/H_m$ , případně jsou k nahlédnutí v záznamu z měření.

Nejistotu způsobenou nepřesným odečtem délek na stínítku osciloskopu odhadujeme.

Závislosti  $H_C$  a  $B_m$  na  $H_m$  pro jednotlivé kroužky jsou zaneseny do grafů 1 až 6.

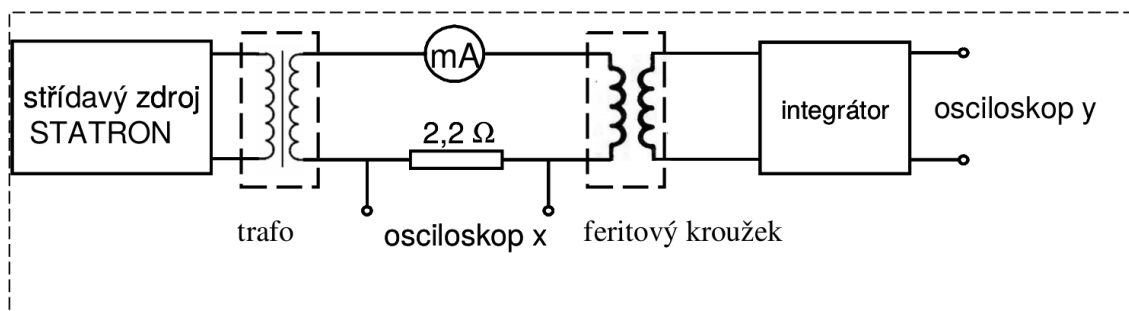
Hysterezní smyčka měla tvar úsečky u kroužku I přibližně do  $8\text{ A m}^{-1}$ , u kroužku II do  $50\text{ A m}^{-1}$  a u kroužku III do  $2000\text{ A m}^{-1}$ . Při vyšších intenzitách pole se už začaly uplatňovat nevratné děje a smyčka měla Rayleighův tvar. Smyčka přešla v normální tvar u kroužku I přibližně při  $15\text{ A m}^{-1}$  a u kroužku II při  $100\text{ A m}^{-1}$ . U kroužku III měla smyčka v Rayleighově oblasti přiškrtnutý tvar, do normálního tvaru přešla přibližně při  $5000\text{ A m}^{-1}$ .

kroužek	$n_1$	$n_2$	$d_1$	$d_2$	$v$
I	50	6	29,20 mm	20,75 mm	4,40 mm
II	50	6	30,65 mm	21,80 mm	4,35 mm
III	300	6	31,00 mm	21,80 mm	4,15 mm

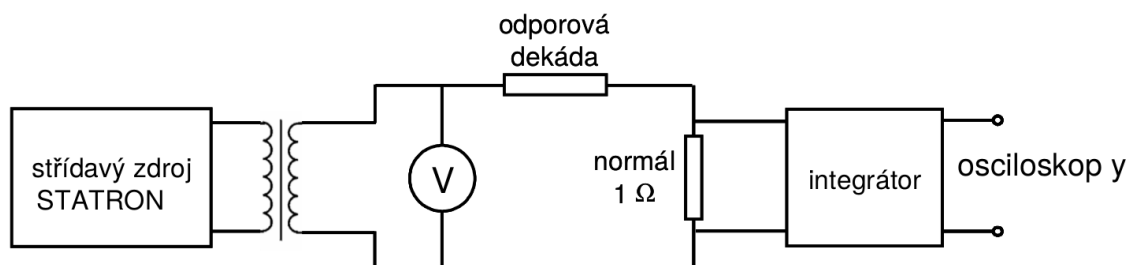
Tabulka 1: Měřené feritové kroužky

kroužek	$I_{ef}$ (mA)	$H_m$ (A m <sup>-1</sup> )	$H_C$ (A m <sup>-1</sup> )	$B_m$ (T)
I	8,0(3)	7,2(3)	0,0(8)	0,027(5)
	15,8(4)	14,2(4)	2,5(6)	0,064(6)
	36,5(7)	32,9(6)	9,2(8)	0,154(8)
	50(2)	46(2)	12,2(10)	0,200(9)
	63(2)	57(2)	12,9(9)	0,218(10)
	82(3)	74(3)	14,0(9)	0,241(11)
	104(3)	94(3)	15,0(11)	0,259(11)
	126(3)	113(3)	15,8(13)	0,268(11)
	151(4)	136(4)	16,3(15)	<b>0.282(10)</b>
II	32,3(6)	27,8(6)	0,0(8)	0,026(5)
	63(2)	54(2)	1,3(9)	0,052(5)
	93(3)	80(3)	8,0(9)	0,078(6)
	122(3)	105(3)	14,7(12)	0,109(7)
	152(4)	130(3)	23,4(15)	0,139(8)
	181(4)	155(4)	33(2)	0,166(9)
	212(5)	182(4)	40(2)	0,196(10)
	250(5)	214(5)	49(3)	<b>0.222(10)</b>
III	305(6)	1560(30)	47(32)	0,031(5)
	400(60)	2050(300)	164(30)	0,044(5)
	450(60)	2300(300)	320(50)	0,053(5)
	500(60)	2560(300)	690(80)	0,071(6)
	550(60)	2800(300)	1070(120)	0,106(6)
	600(60)	3070(300)	1350(140)	0,159(8)
	710(60)	3630(300)	1530(140)	0,257(11)
	830(70)	4250(400)	1610(140)	0,239(10)
	1000(70)	5110(400)	1740(140)	0,257(11)
	1200(80)	6140(400)	1900(150)	<b>0.274(10)</b>

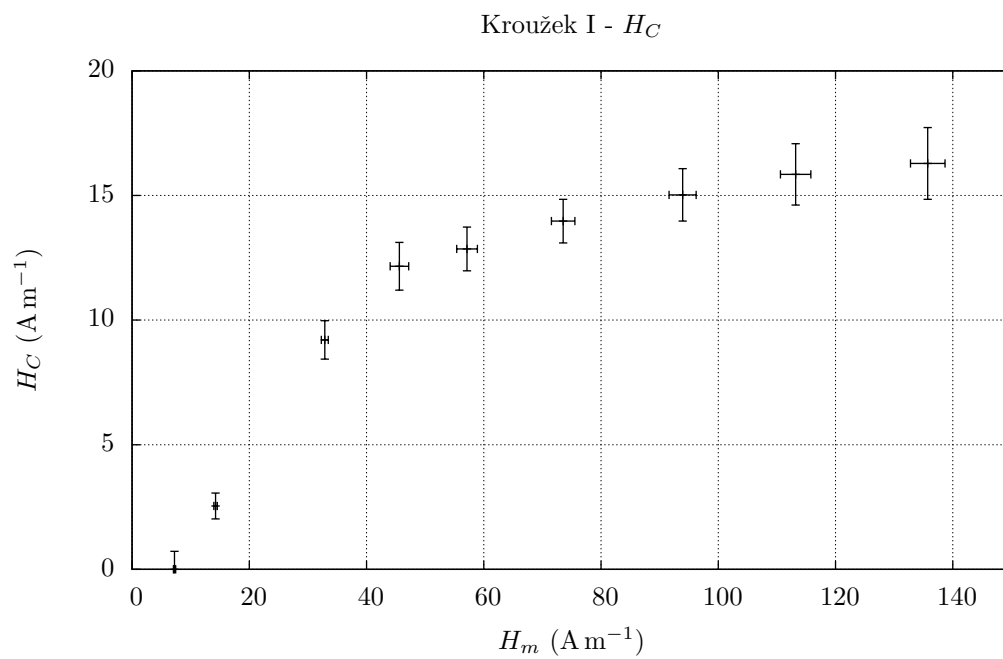
Tabulka 2: Studium hysterezních smyček feritů



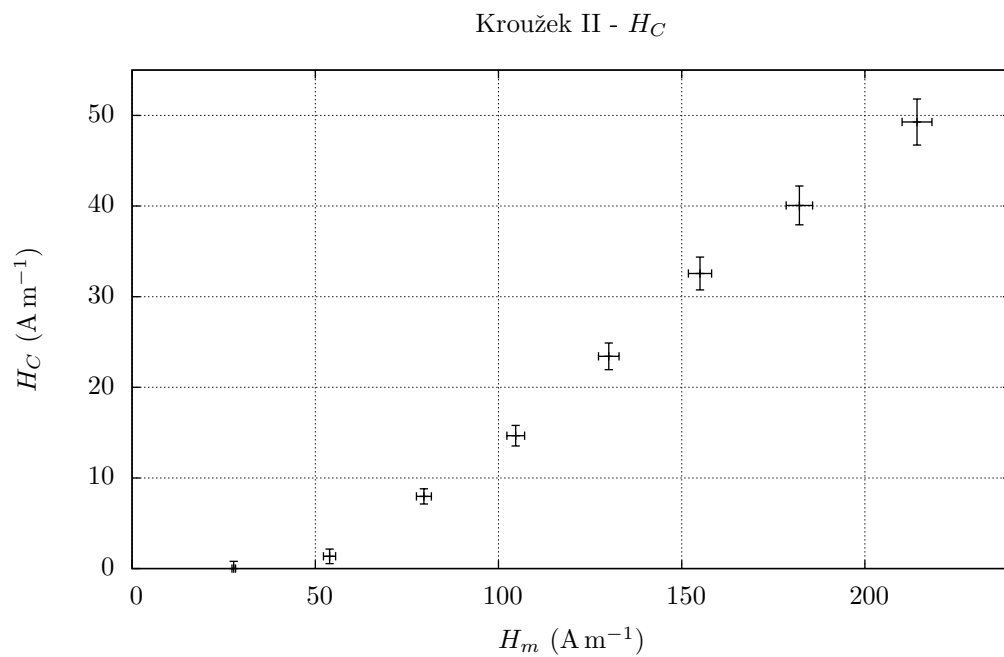
Obrázek 1: Zapojení pro pozorování hysterezních smyček



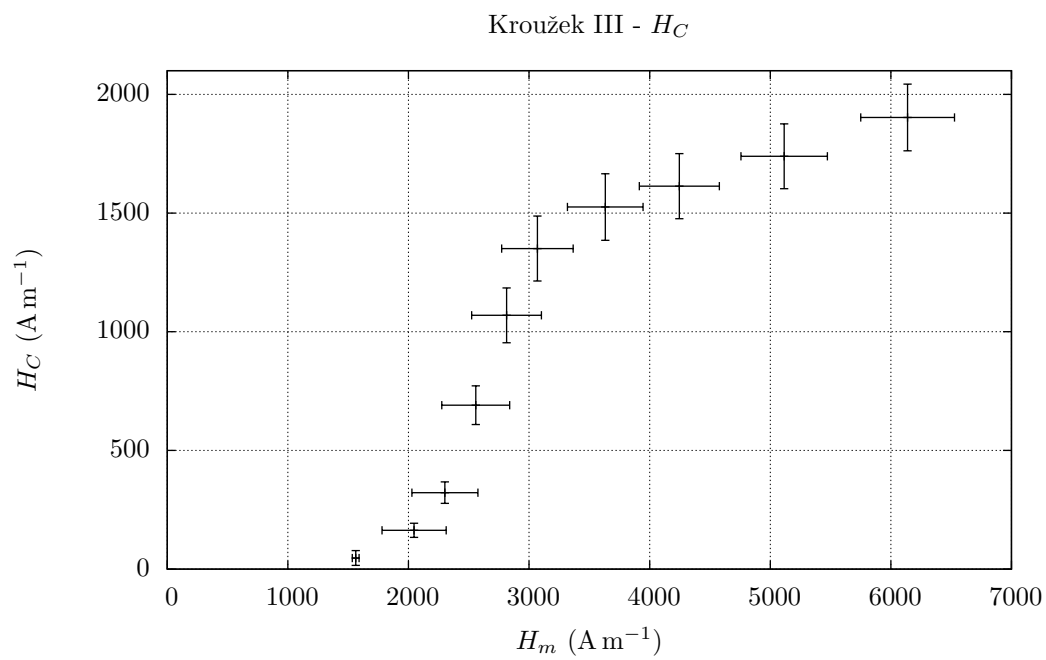
Obrázek 2: Zapojení pro kalibraci vertikální osy



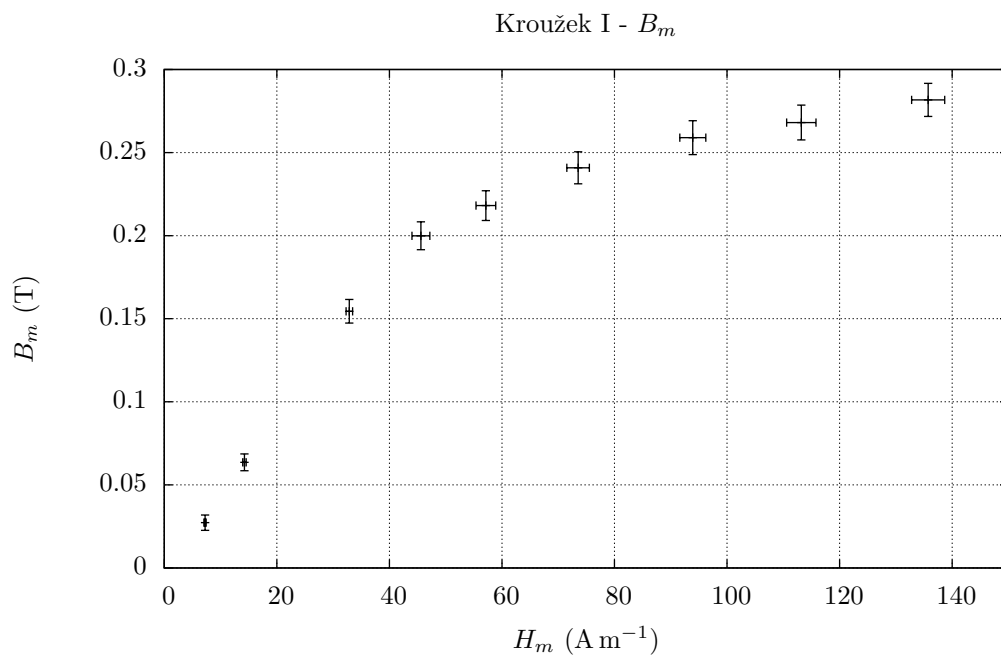
Graf 1: Koercivní síla kroužku I



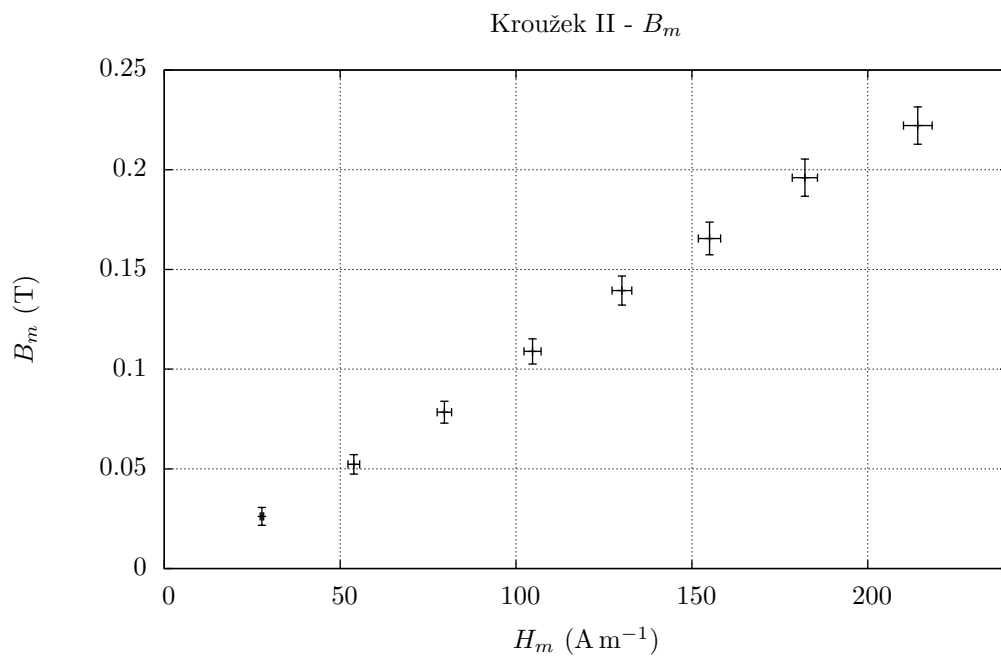
Graf 2: Koercivní síla kroužku II



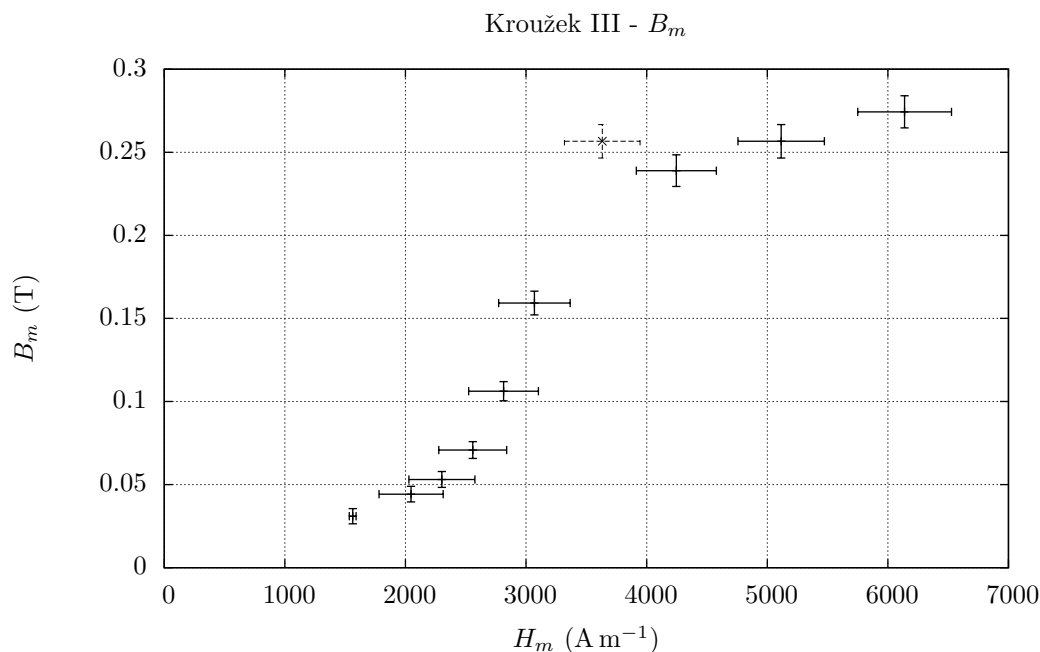
Graf 3: Koercivní síla kroužku III



Graf 4: Magnetická indukce v kroužku I



Graf 5: Magnetická indukce v kroužku II



Graf 6: Magnetická indukce v kroužku III, bod slabou čarou ( $H_C = 3630 \text{ A m}^{-1}$ ) je pravděpodobně hrubá chyba

## Diskuze

Použitý multimetr nebyl příliš přesný v porovnání s ostatními multimetry dostupnými v praktiku. Zejména u třetího kroužku bylo použití tohoto multimetru krajně nevhodné a vysoce se podílelo na chybách naměřených hodnot, měřili se hodnoty 300–1200 mA v rozsahu ampérmetru 20 A.

Intenzity pole, při kterých se mění typ hysterezní smyčky, jsou skutečně jen přibližné.

Závislosti  $H_C$  a  $B_m$  na  $H_m$  vyšly u všech kroužků podle očekávání.

U kroužku III se vyskytla jedna podezřelá hodnota  $B_m$  ( $H_C = 3630 \text{ A m}^{-1}$ ), kde závislost není monotónní (viz graf 6). I když nemůžeme vyloučit pravdivost této hodnoty, nejpravděpodobněji se jedná o hrubou chybu při odečítání délky úsečky na stínítku, protože nemonotónnost této závislosti je jev, kterého bych si při měření jistě všimnul.

## Závěr

Změřili jsme závislost indukce  $B_m$  a koercivní síly  $H_C$  na intenzitě magnetického pole  $H_m$  pro tři feritové kroužky (viz tabulka 1). Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2 a zaneseny do grafů 1 až 6.

Naměřené závislosti vyšly podle očekávání.

## Seznam použité literatury

1. *Základní fyzikální praktikum* [online]. [cit. 2016-04-06]. Dostupný z WWW: <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/start>.