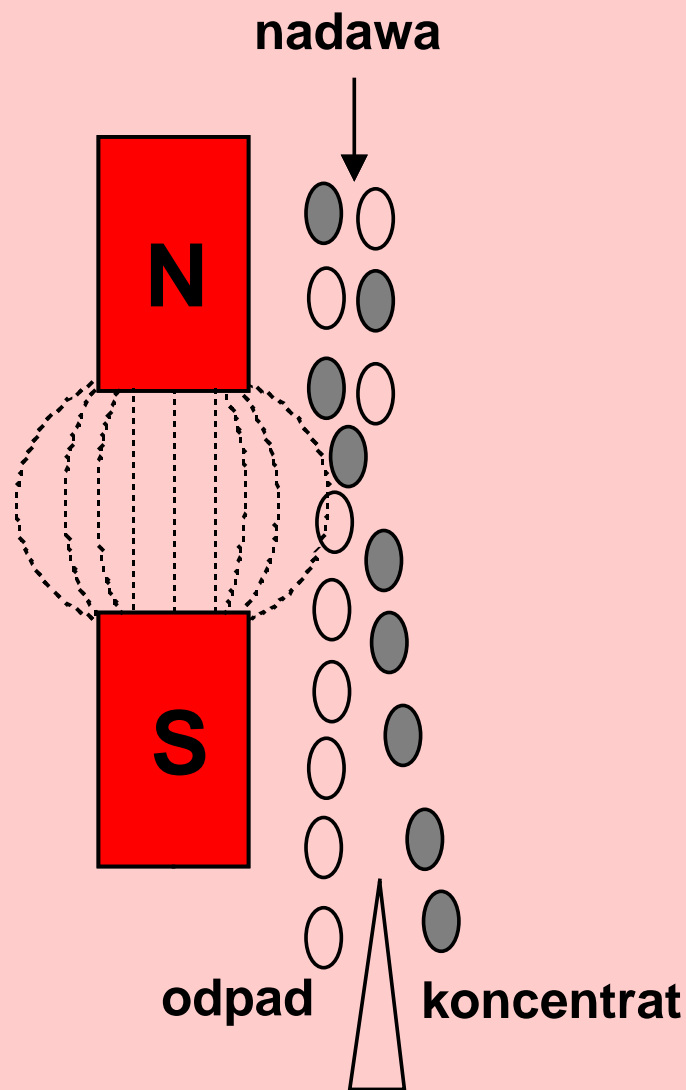


**PODSTAWY
MINERALURGII**

Wykład 10

Separacja magnetyczna

Zasada separacji magnetycznej



Wykorzystywana

cecha

materiałowa:

podatność

magnetyczna

W próżni:

$$B_0 = \mu_0 H$$

μ_0 – przenikalność magnetyczna próżni ($4\pi 10^{-7} \text{ V}\cdot\text{s}/(\text{A}\cdot\text{m}) = \text{H/m}$)

H - natężenie pola magnetycznego (A/m)

B_0 - indukcja magnetyczna w próżni ($\text{V}\cdot\text{s}/\text{m}^2 = \text{T}$)

W ośrodku materialnym (np. ziarnie):

$$B = \mu H$$

$$B = \mu_0 (H + M) = B_0 + \mu_0 M$$

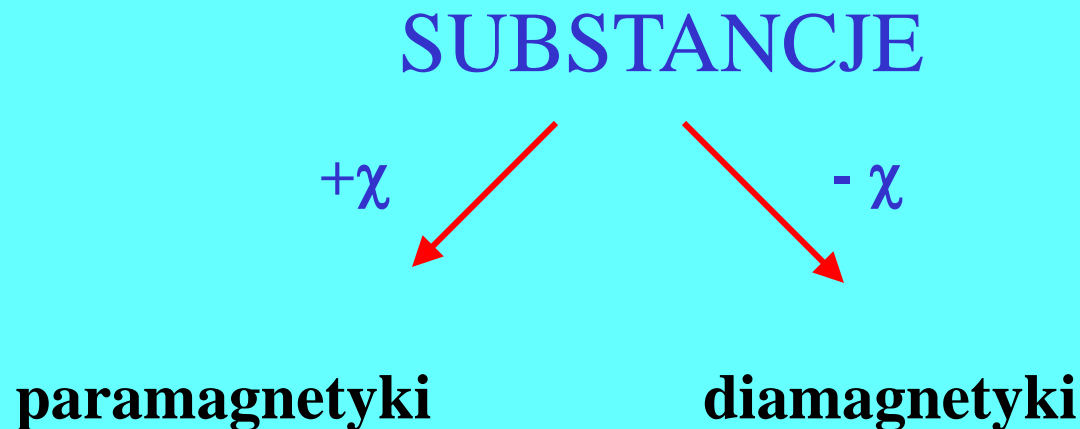
udział próżnia

udział ziarna

Wektor indukcji magnetycznej B , w obecności ziarna w polu magnetycznym, jest różny od wektora indukcji w próżni B_0 .
Krotność przyrostu indukcji magnetycznej wynosi:

$$\chi = (B - B_0)/B_0 = (\mu - \mu_0)/\mu_0 = \mu_0 M/B_0$$

χ jest objętościową podatnością magnetyczną (bezwymiarowa)



Sposoby wyrażania podatności

χ

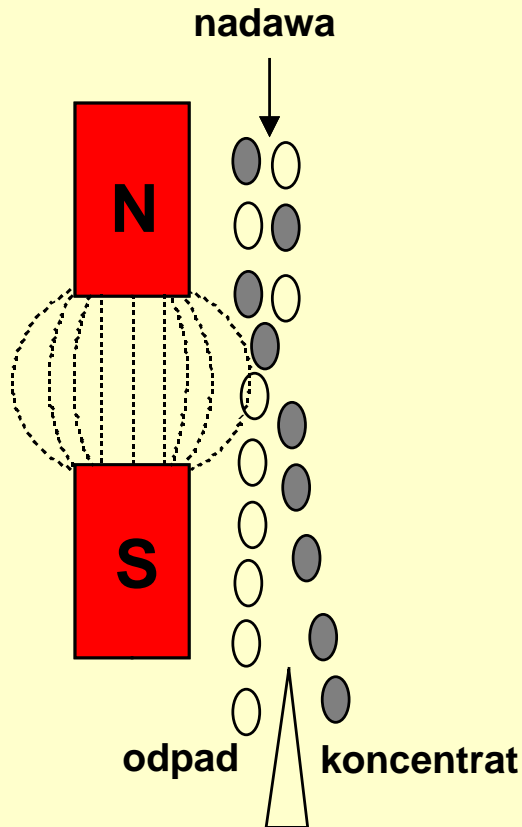
objętościowa
(bezwymiarowa)

$\chi_w = \chi / \rho$

masowa
właściwa (cm³/g)

$\chi_M = \chi_w M$

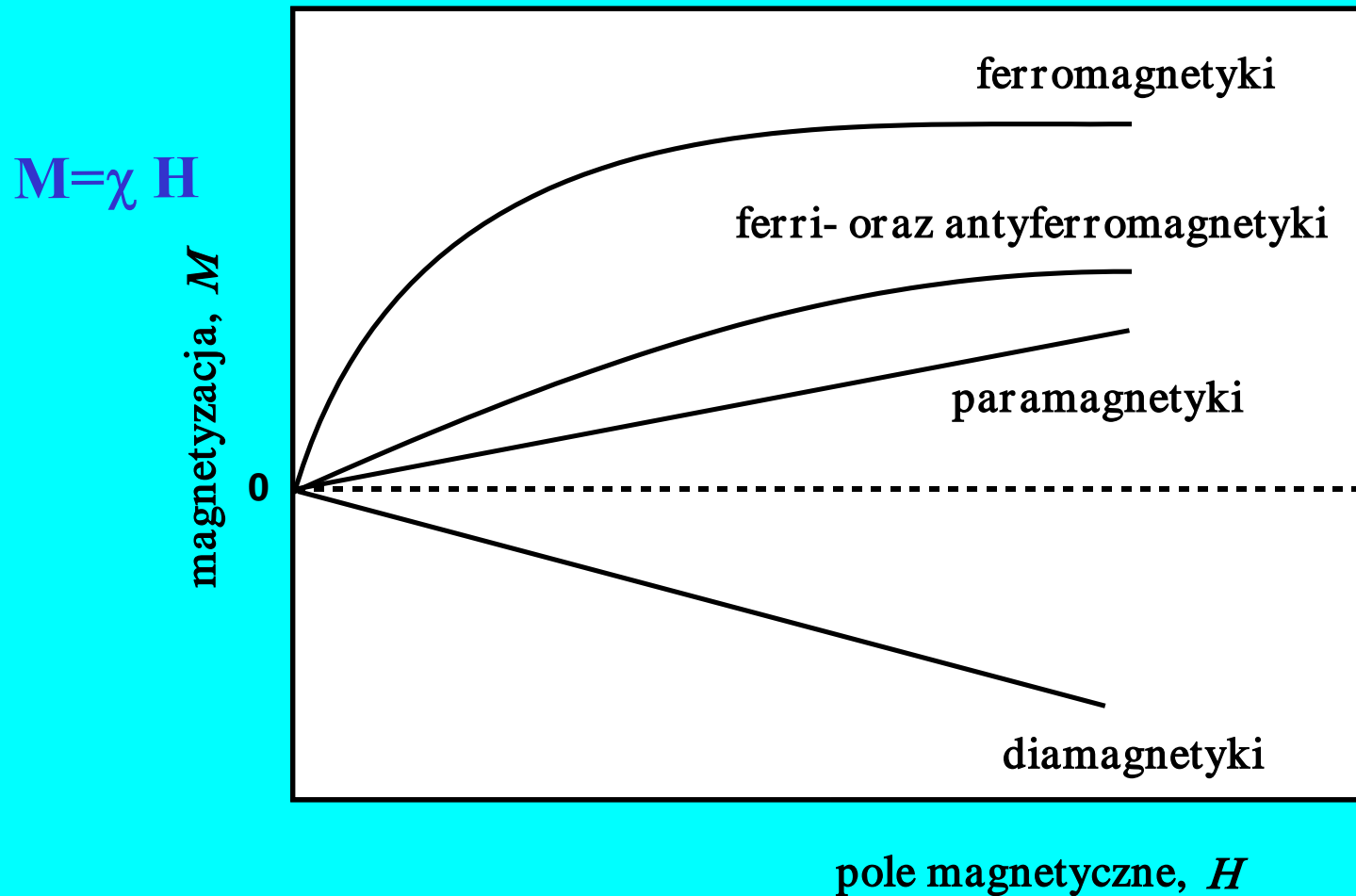
molowa właściwa
(cm³/mol)



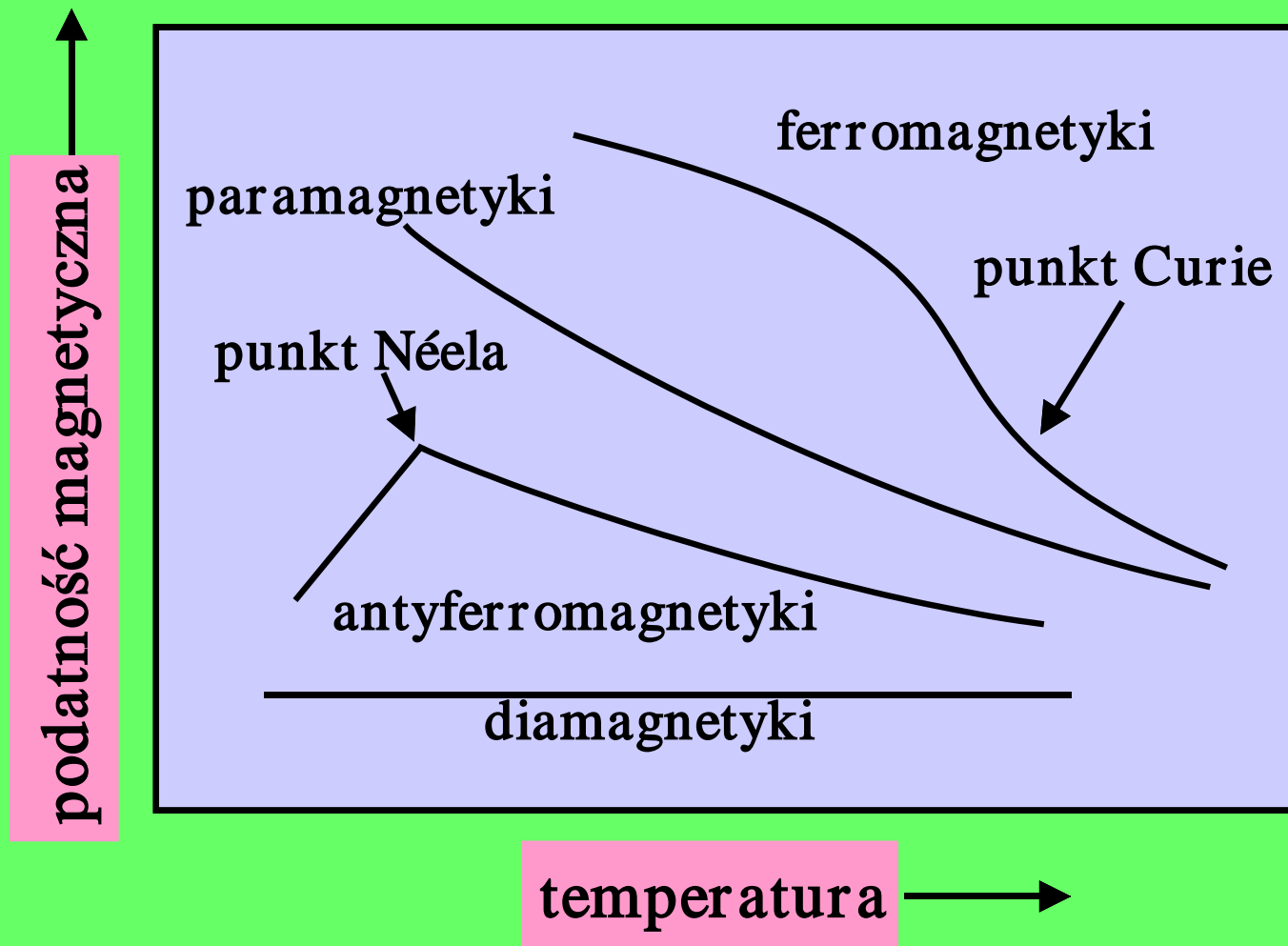
$$F_x = \mu_0 \chi_w m \left(H_x \frac{\partial H_x}{\partial x} + H_y \frac{\partial H_y}{\partial x} + H_z \frac{\partial H_z}{\partial x} \right)$$

ogólnie:
$$F_x = \mu_0 \chi_w m \left(H_x \frac{\partial H_x}{\partial x} \right)$$

Podział substancji magnetycznych w zależności od zachowania się w polu magnetycznym



Wpływ temperatury



Diamagnetyki

Tabela 8.3. Specyficzna (gramowa) podatność magnetyczna substancji diamagnetycznych w 293 K (20 °C) (według Hopstocka, 1985)

Minerał i jego wzór chemiczny	$-\chi_w(10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g})$ (SI)	Minerał i jego wzór chemiczny	$-\chi_w(10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g})$ (SI)
Pierwiastki			
Diament, C	6,17	Srebro, Ag	2,41
Grafit, C	44	Złoto, Au	1,79
Siarka, α -S	6,09	Bizmut, Bi	16,8
Miedź, Cu	1,08		
Siarczki			
Sfaleryt, ZnS	3,27	Stybnit, Sb_2S_3	3,17
Molibdenit, MoS_2	6,05	Cynobar, HgS	2,99
Argentyt, Ag_2S	3,71	Galena, PbS	4,40
Tlenki			
Woda (lód), H_2O	9,07	Kupryt, Cu_2O	1,76
Korund, Al_2O_3	3,80	Cynkit, ZnO	4,29
Kwarc, SiO_2	6,20	Kasyteryt, SnO_2	2,33
Halogenki			
Halit, NaCl	6,49	Fluoryt, CaF_2	4,51
Sylwin, KCl	6,54		
Węglany			
Magnezyt, MgCO_3	4,83	Cerusyit, PbCO_3	2,88
Kalcyt, CaCO_3	4,80		
Siarczany			
Anhydryt, CaSO_4	4,47	Baryt, BaSO_4	3,84
Gips, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	5,33	Anglezyt, PbSO_4	2,89
Smitsonit, ZnSO_4	3,41		

Paramagnetyki

-prawdziwe paramagnetyki

-antyferromagnetyki

-ferrimagnetyki

-ferromagnetyki

Prawdziwe paramagnetyki

Tabela 8.5. Podatności magnetyczne wybranych prawdziwych paramagnetyków w temperaturze pokojowej

Paramagnetyk	Podatność, χ_w (SI) cm^3/g^*	Paramagnetyk	Podatność, χ_M (SI) $\text{cm}^3/\text{mol}^{**}$
FeCO_3	$1000 \pm 200 \cdot 10^{-6}$	UO_2	$29657 \cdot 10^{-6}$
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	$76,7 \cdot 10^{-6}$	KMnO_4	$251,3 \cdot 10^{-6}$
FeSO_4	$844 \cdot 10^{-6}$	Pt	$2537 \cdot 10^{-6}$
$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	$201 \cdot 10^{-6}$	NiS	$2388 \cdot 10^{-6}$
MnO	$860 \cdot 10^{-6}$	MoO_3	$37,7 \cdot 10^{-6}$
CoS	$2827 \cdot 10^{-6}$	Al	$207,3 \cdot 10^{-6}$

* Dane χ_w według Svobody (1986/87).

** Dane χ_M według CRC (1987).

Antyferromagnetyki

Antyferromagnetyk	$\chi_M(\text{cgs})$	θ_N (K)	θ_p (K), dla $T > \theta_N$
Hematyt, Fe_2O_3	$3586 \cdot 10^{-6}$ (1033 K)	950	2000
Bunsenit, NiO	–	533–650	~2000
Pirotyn, FeS^*	$1074 \cdot 10^{-6}$ (293 K)	613	857
Cr_2O_3	$1960 \cdot 10^{-6}$ (300 K)	318	–
Tenoryt, CuO	$238,6 \cdot 10^{-6}$ (289 K)	230	–
Alabandyt, MnS	$3850 \cdot 10^{-6}$ (293 K)	165	528
Piroluzyt, MnO_2	$2280 \cdot 10^{-6}$ (293 K)	84	–
Ilmenit, FeTiO_3		68	–
Syderyt, FeCO_3	$11300 \cdot 10^{-6}$ (293 K)	57	–

* FeS jest typowym bertolidem, czyli związkiem niestechiometrycznym, i jego właściwości zależą od składu. W zakresie $\text{FeS}_{1,10}$ do $\text{FeS}_{1,14}$ jest ferrimagnetykiem.

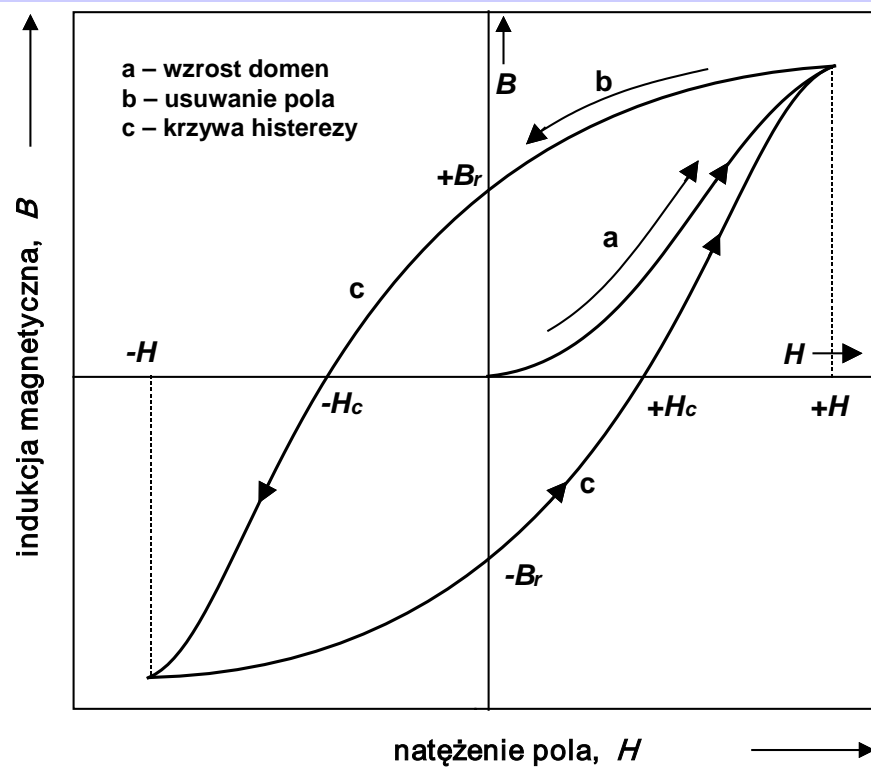
Ferrimagnetyki

Natężenie pola magnetycznego H , kA/m	Podatność magnetyczna właściwa, χ_w (SI), cm ³ /g	Natężenie pola magnetycznego H , kA/m	Podatność magnetyczna właściwa χ_w (SI), cm ³ /g
Magnetyt		Pirotyt	
2	1,40	1	$3,8 \times 10^{-2}$
4	1,65	8	$5,0 \times 10^{-2}$
8	2,75	16	$6,2 \times 10^{-2}$
16	2,25	24	$6,8 \times 10^{-2}$
24	1,80	32	$6,2 \times 10^{-2}$
32	1,53		
48	1,11		

Ferromagnetyki

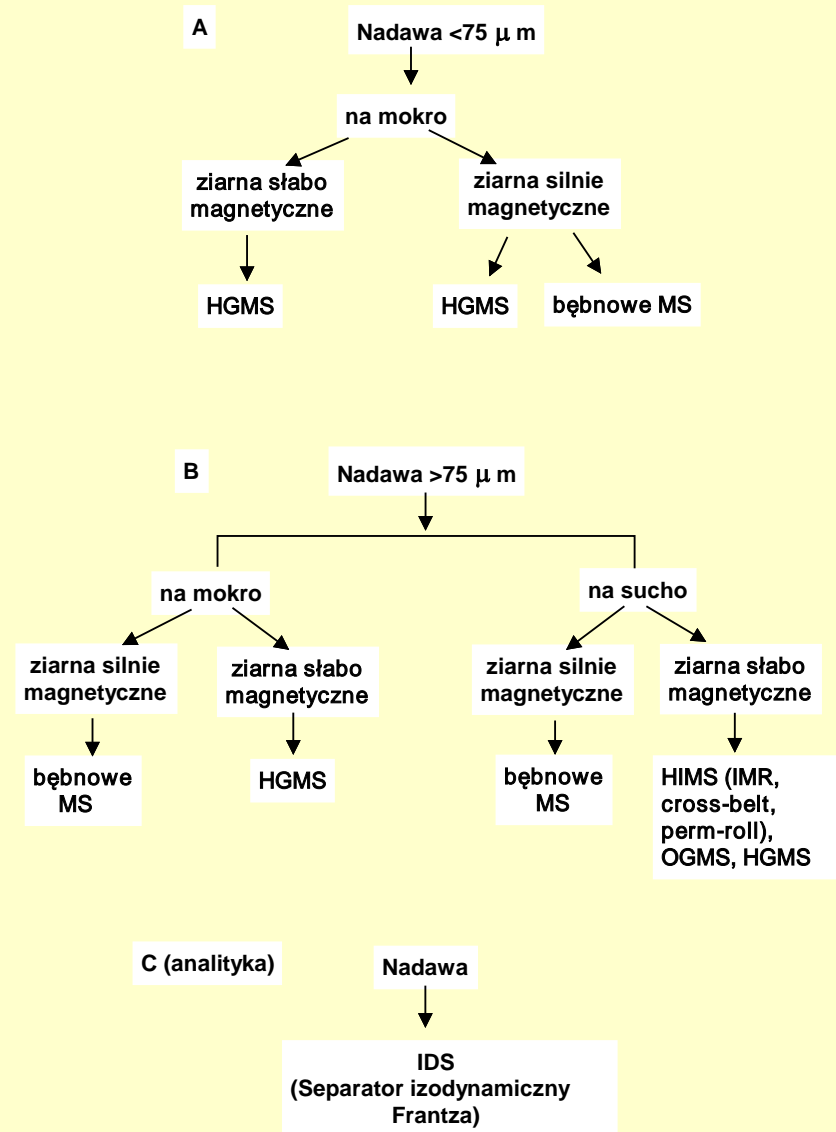
Wybrane materiały ferromagnetyczne o dużym namagnesowaniu reszkowym
oraz dużej energii namagnesowania

Material	B_r (tesla)	$(BH)_{\max}$ (kJ·m ⁻³)
Alnico 12 (13,5Ni; 8Al; 24,5Co; 2Nb)	1,20	76,8
PrCo ₅	1,20	286
NdCo ₅	1,22	295
Sm(Co _{0,65} Fe _{0,28} Cu _{0,05} Zr _{0,02}) _{7,7}	1,20	264
Fe; 23Cr; 15Co; 3V; 2Ti	1,35	44

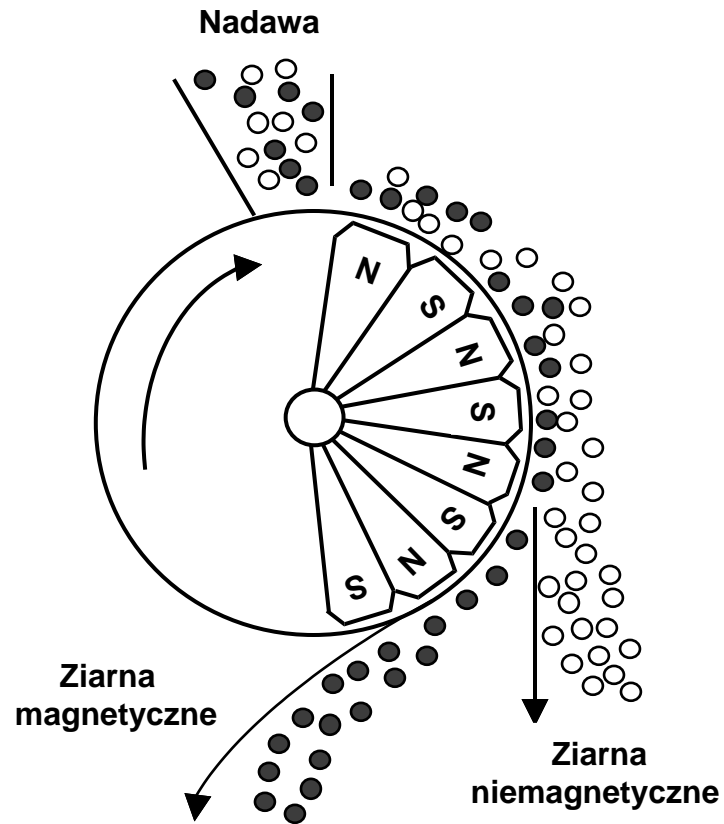


Rys. 8.4. Zależność pomiędzy natężeniem pola magnetycznego i indukcją magnetyczną dla materiałów ferromagnetycznych (według Frederikse'a, 1997/98)

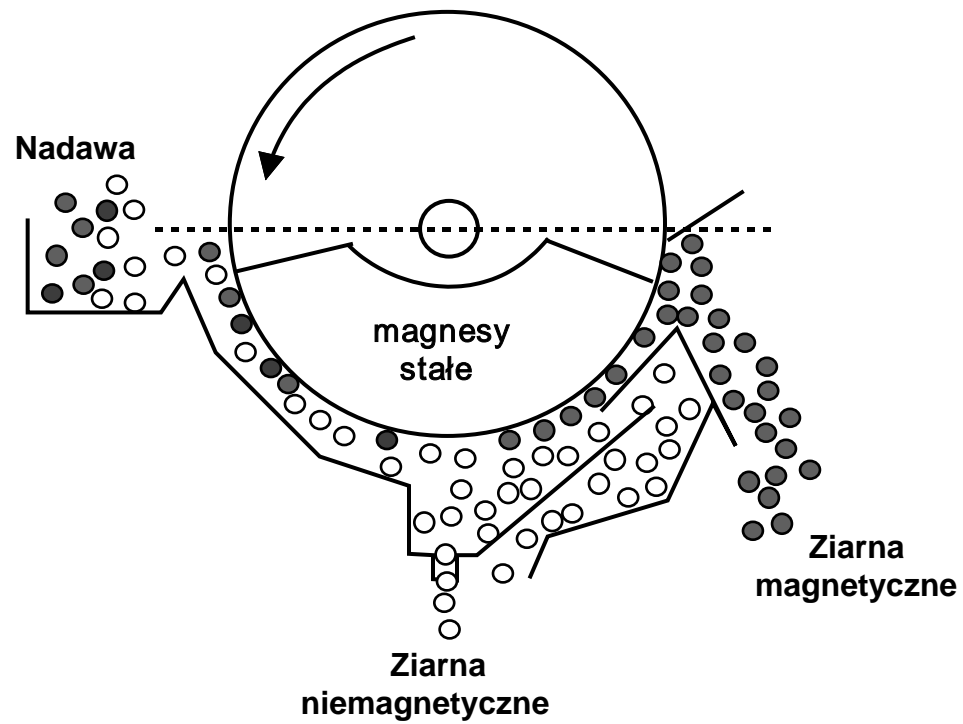
Paramagnetyk	Podatność χ_w (SI), cm ³ /g	Paramagnetyk	Podatność χ_w (SI), cm ³ /g
Getyt, FeOOH	250–380·10 ⁻⁶	malachit, Cu ₂ (OH) ₂ CO ₃	100–200·10 ⁻⁶
Hausmanit, Mn ₃ O ₄	500–760·10 ⁻⁶	monacyt, (Ce,La,Dy)PO ₄	120–250·10 ⁻⁶
Ilmenit, (Fe, Mn)TiO ₃	200–1500·10 ⁻⁶	syderyt, FeCO ₃	380–1500·10 ⁻⁶
Limonit, Fe ₂ O ₃ ·H ₂ O	250–760·10 ⁻⁶	wolframit, (MnFe)WO ₄	380–1200·10 ⁻⁶



Rys. 8.5. Rodzaje separatorów magnetycznych w zależności od uziarnienia nadawy i sposobu separacji: bębnowe MS – separacja w polu o niskiej intensywności pola magnetycznego (inaczej LIMS), HIMS – separacja w polu o wysokiej intensywności, np. IMR (*induced magnetic roll*), HGMS – separacja w polu o wysokim gradiencie, OGMS – separacja w polu o otwartym gradiencie w separatorach nadprzewodzących, IDS – separacja w izodynamicznym polu magnetycznym

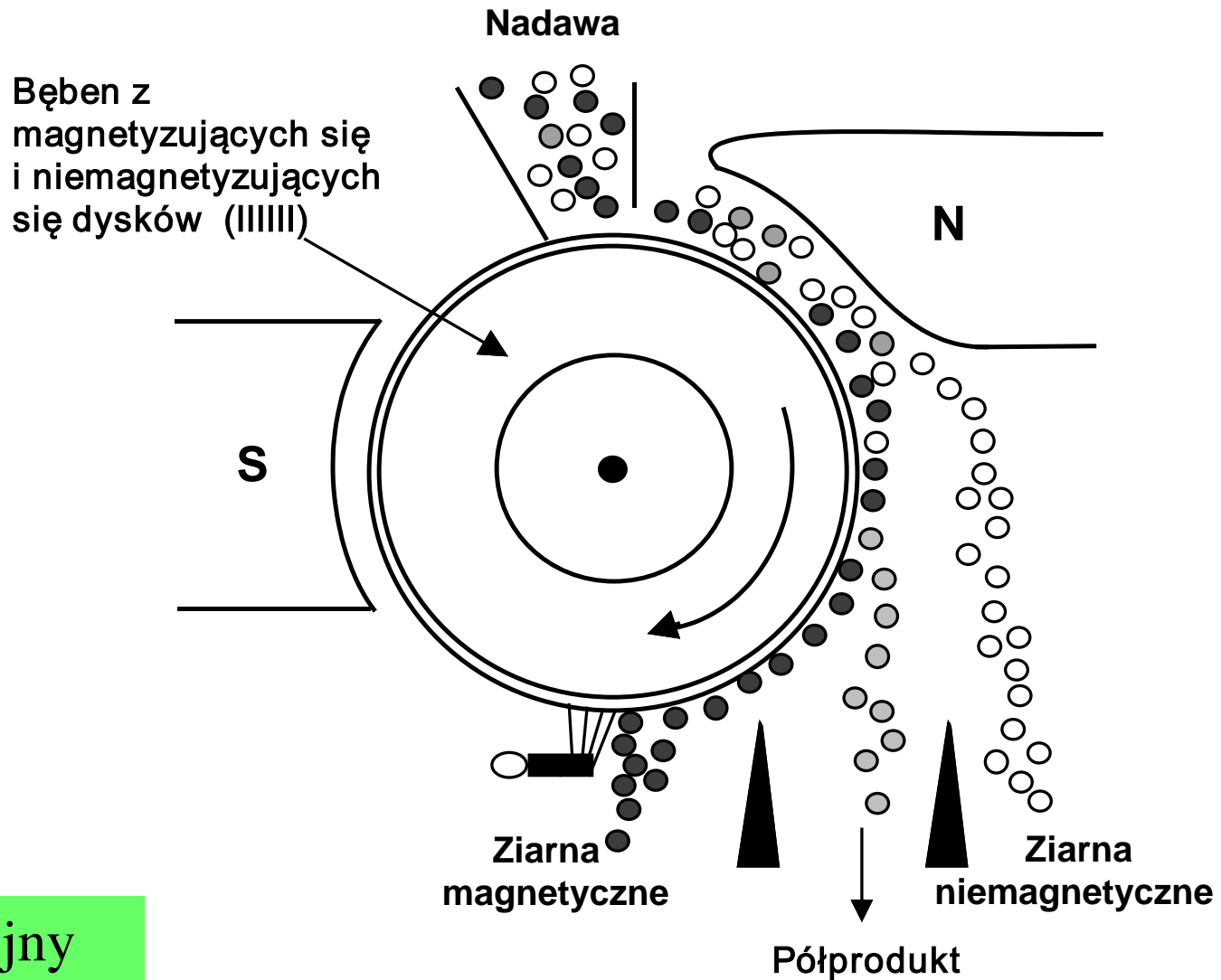


Separacja na sucho

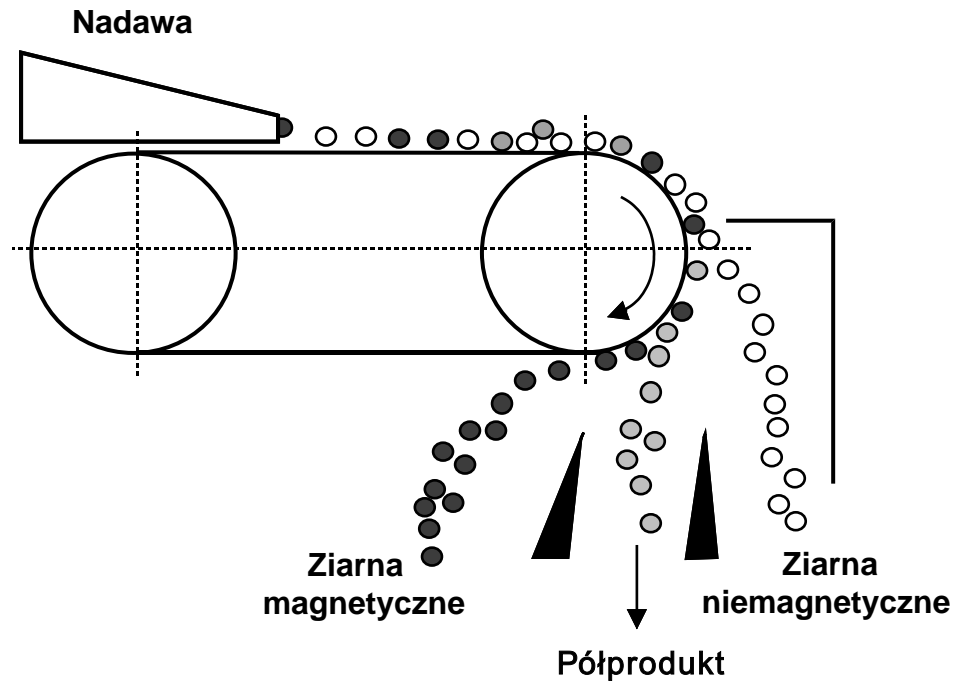


Separacja na mokro

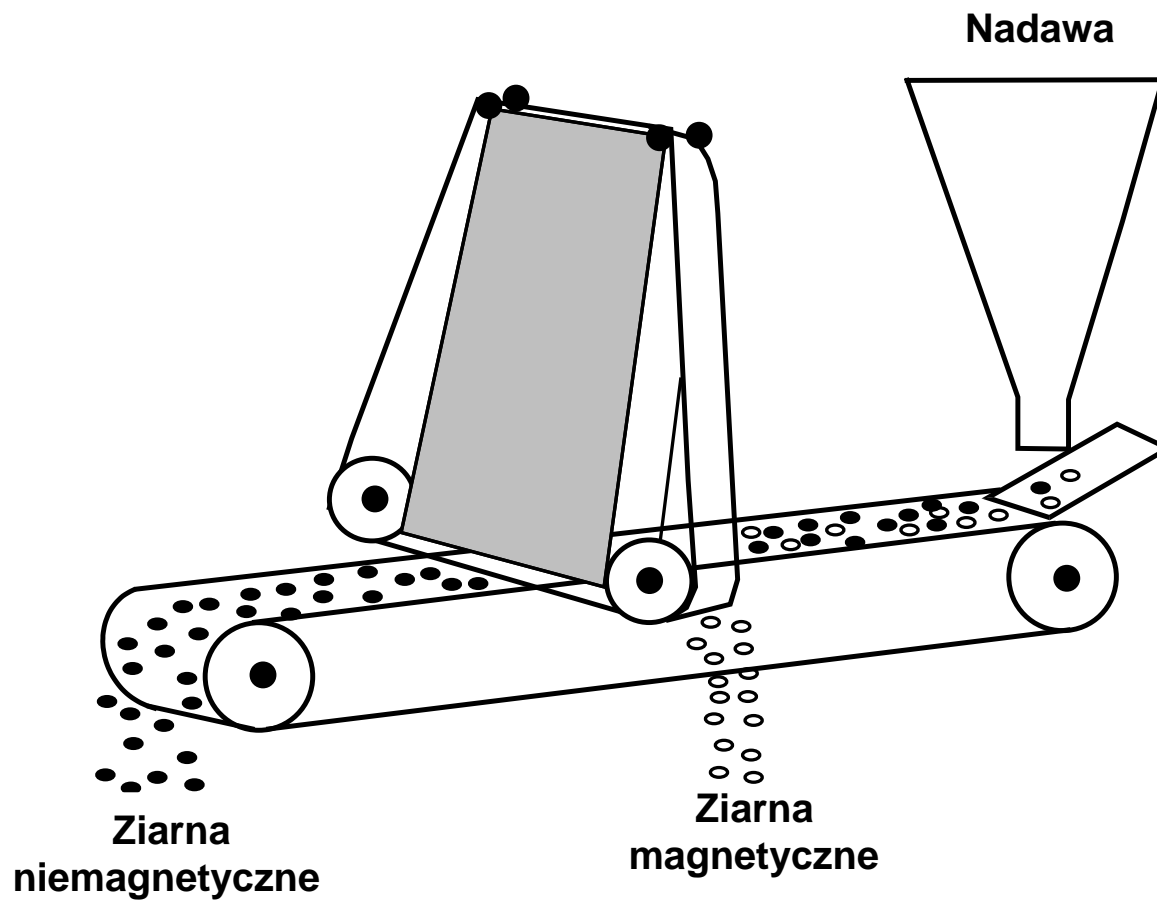
Urządzenia do separacji



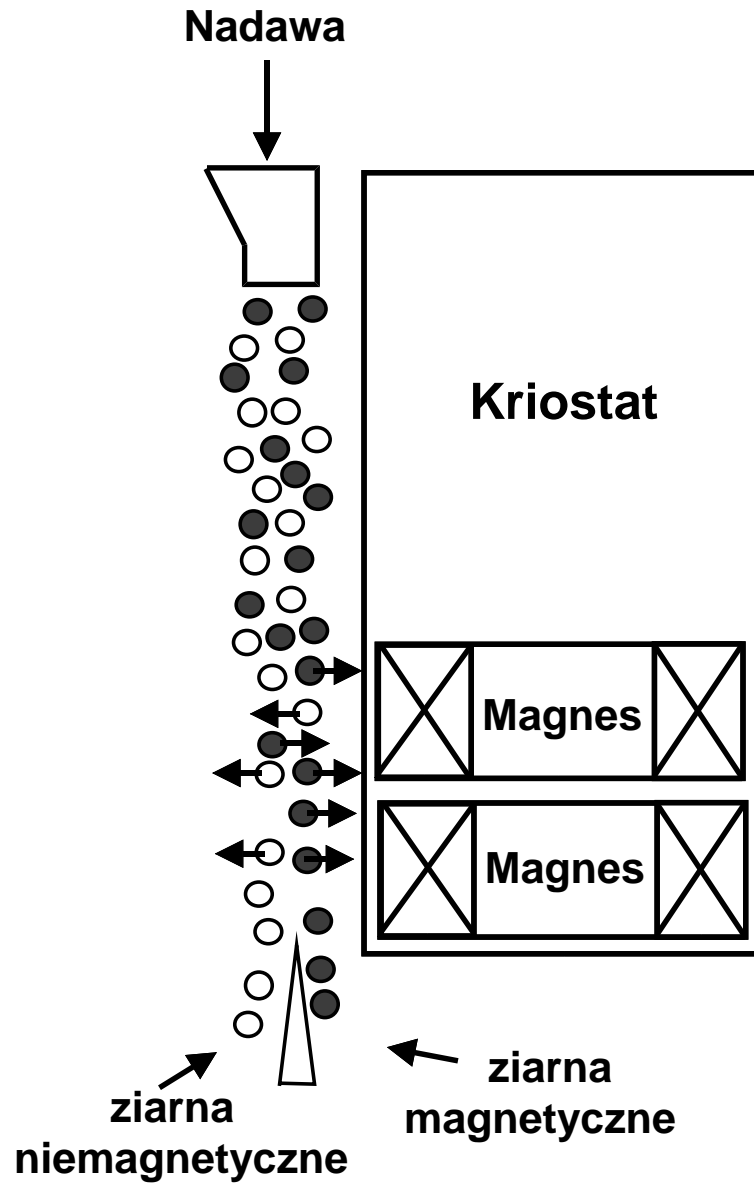
indukcyjny



Przeñośnikowo-taśmowy

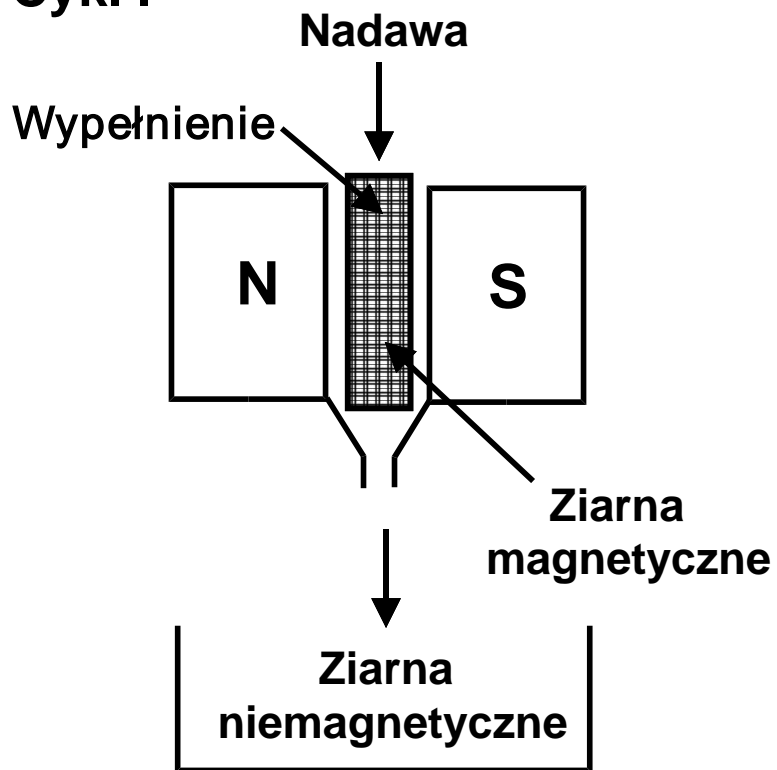


skrzyżowanych taśm

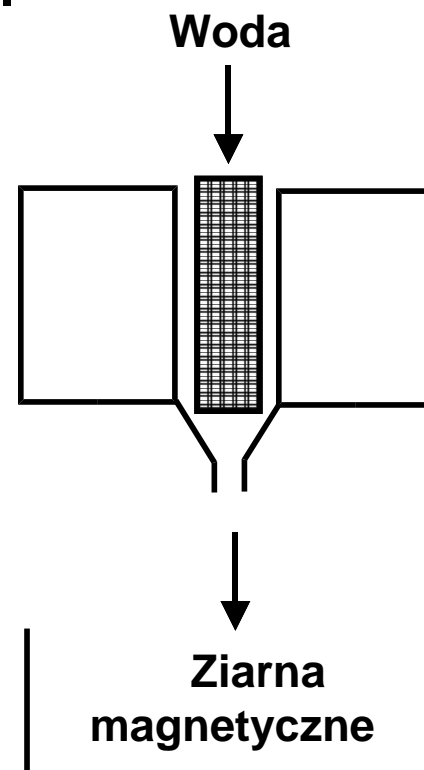


nadprzewodzące

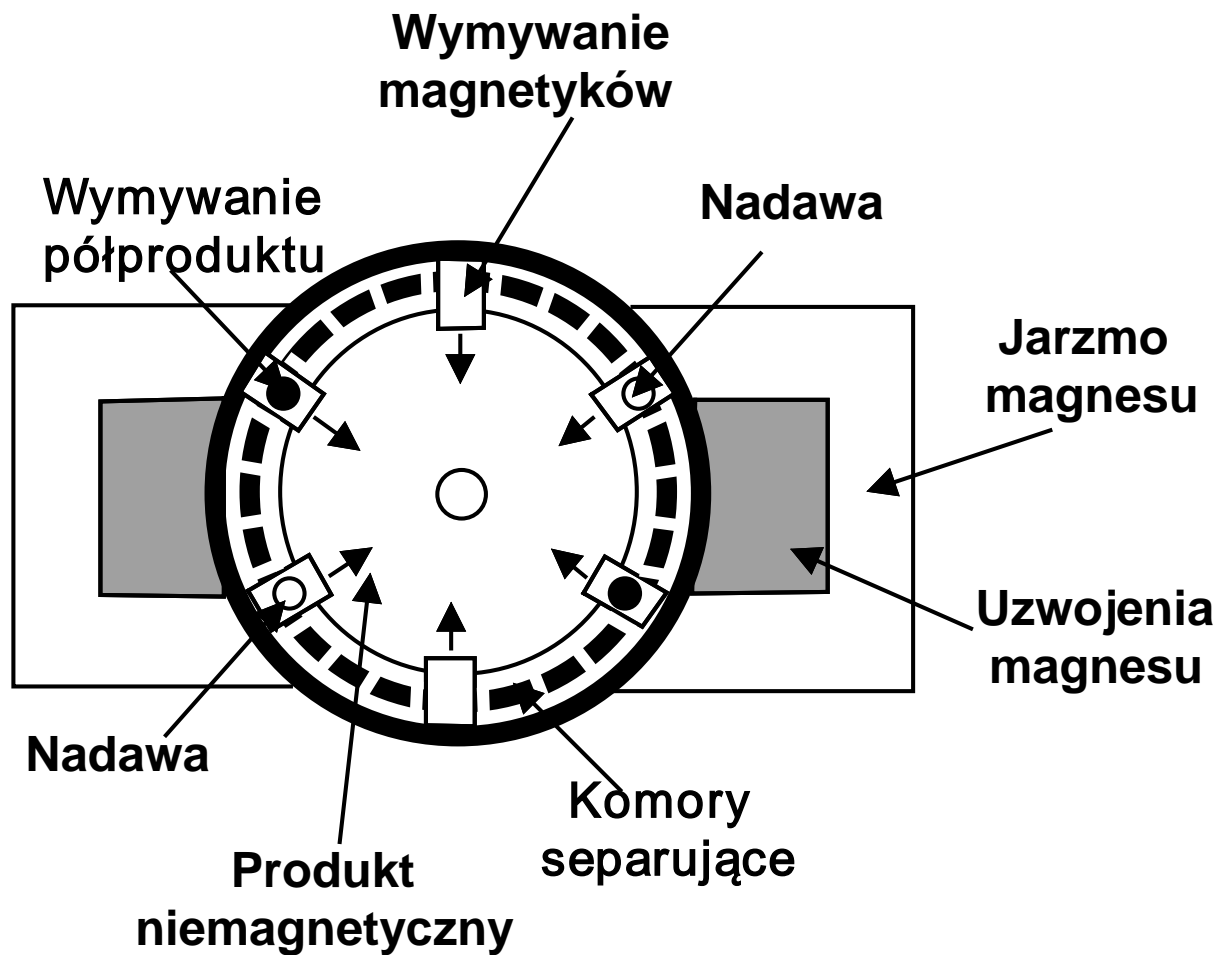
Cykl I



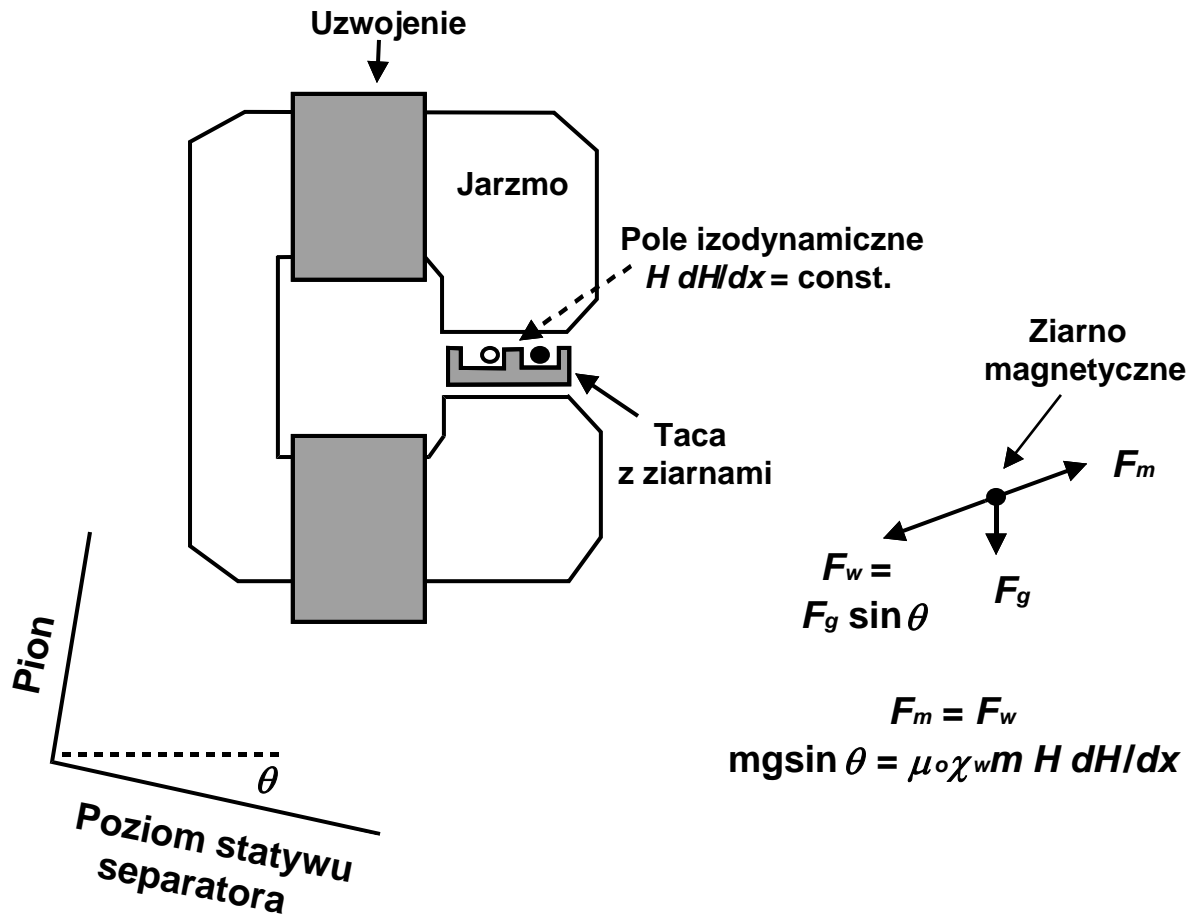
Cykl II



HGMS, okresowy



HGMS, ciągly



ISD