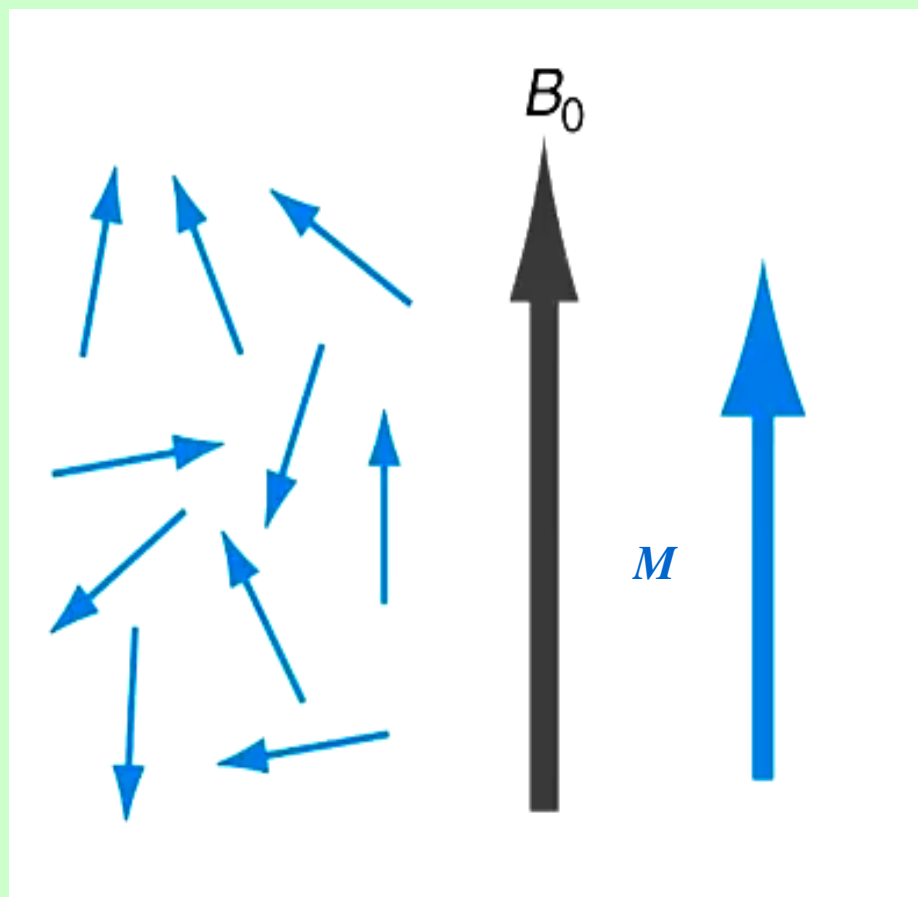
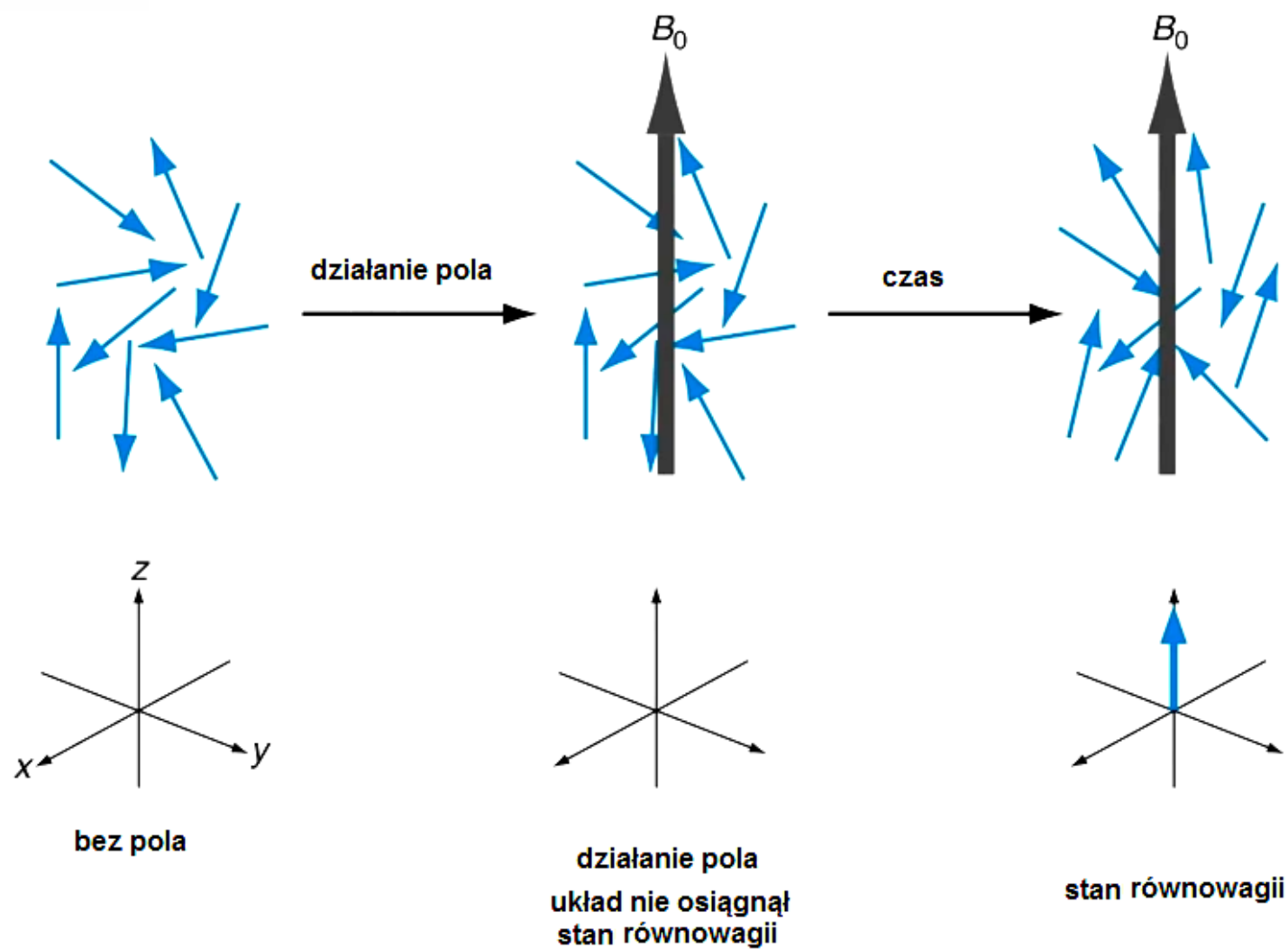
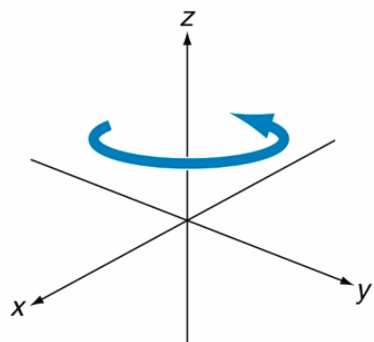


MAKROSKOPOWY OPIS ZJAWISKA NMR

Podstawy

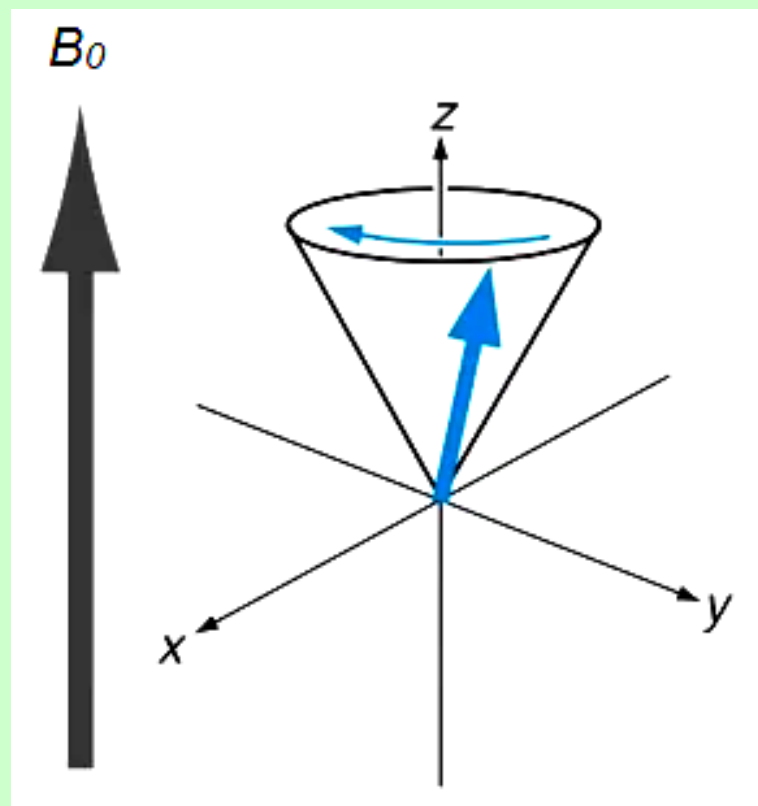


wypadkowa magnetyzacja
dla wszystkich spinów

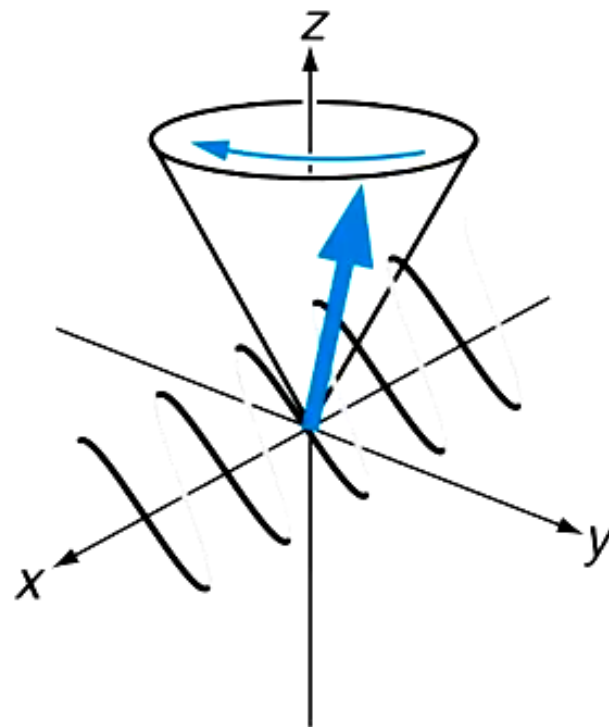


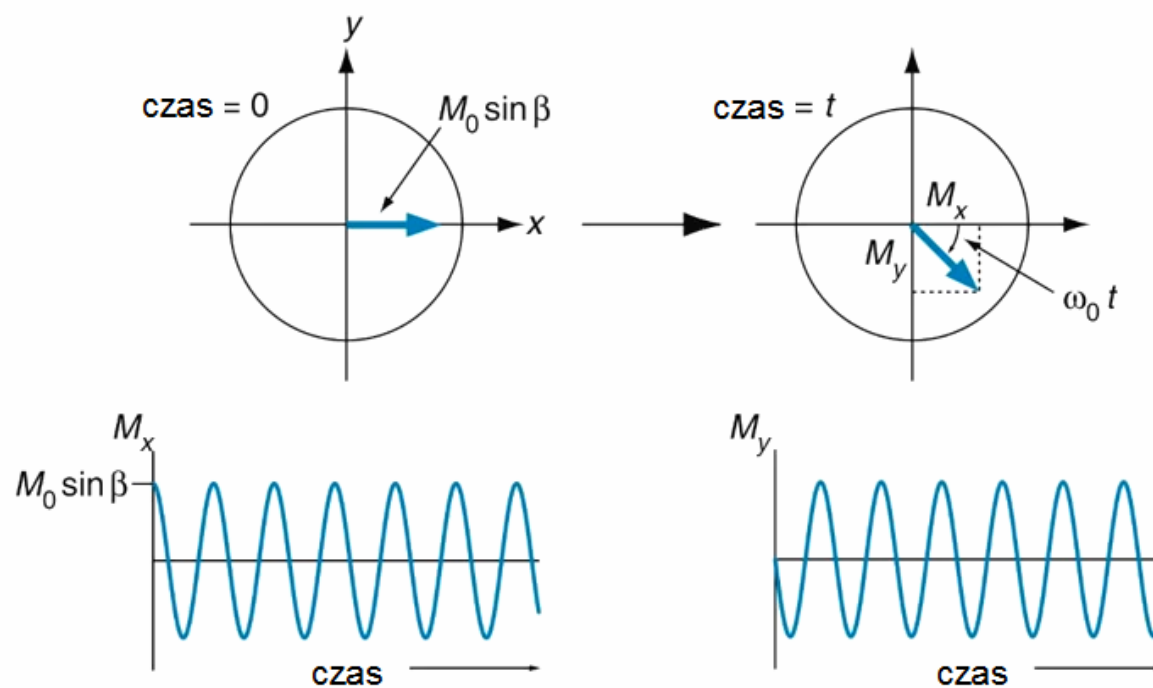
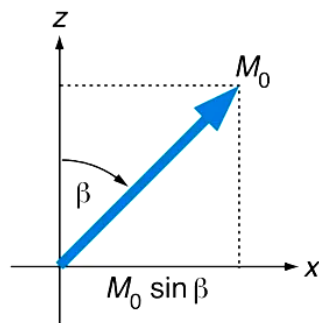
Precesja Larmora

$$\omega_0 = -\gamma B_0 = 2\pi\nu \text{ w rad s}^{-1} \quad \text{lub} \quad \nu_0 = -\gamma B_0 / 2\pi \text{ w Hz}$$



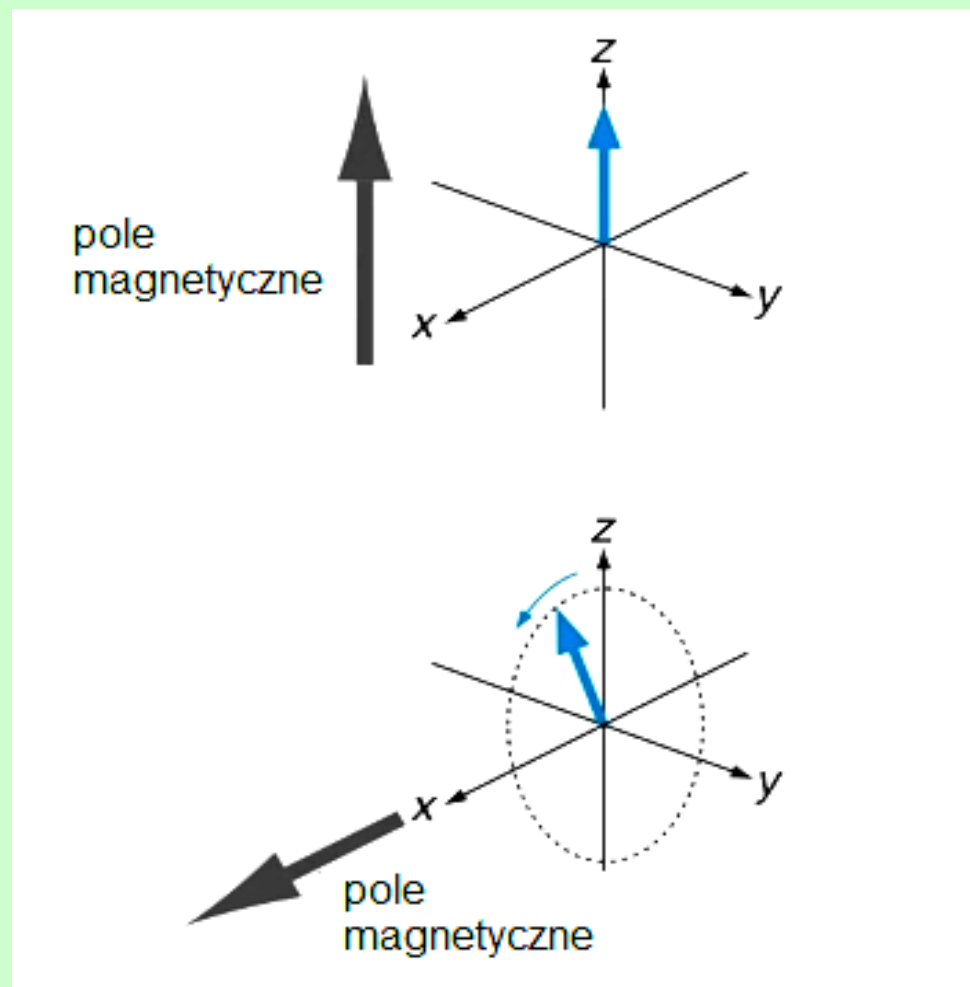
Detekcija



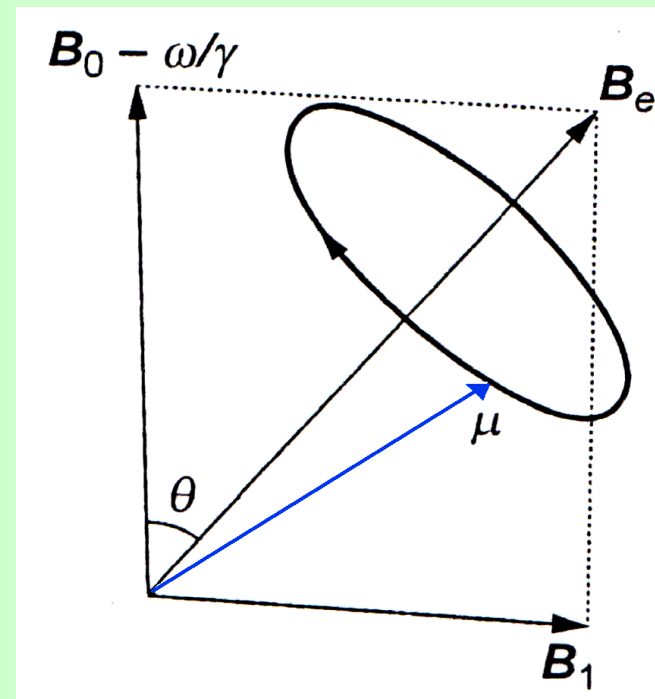
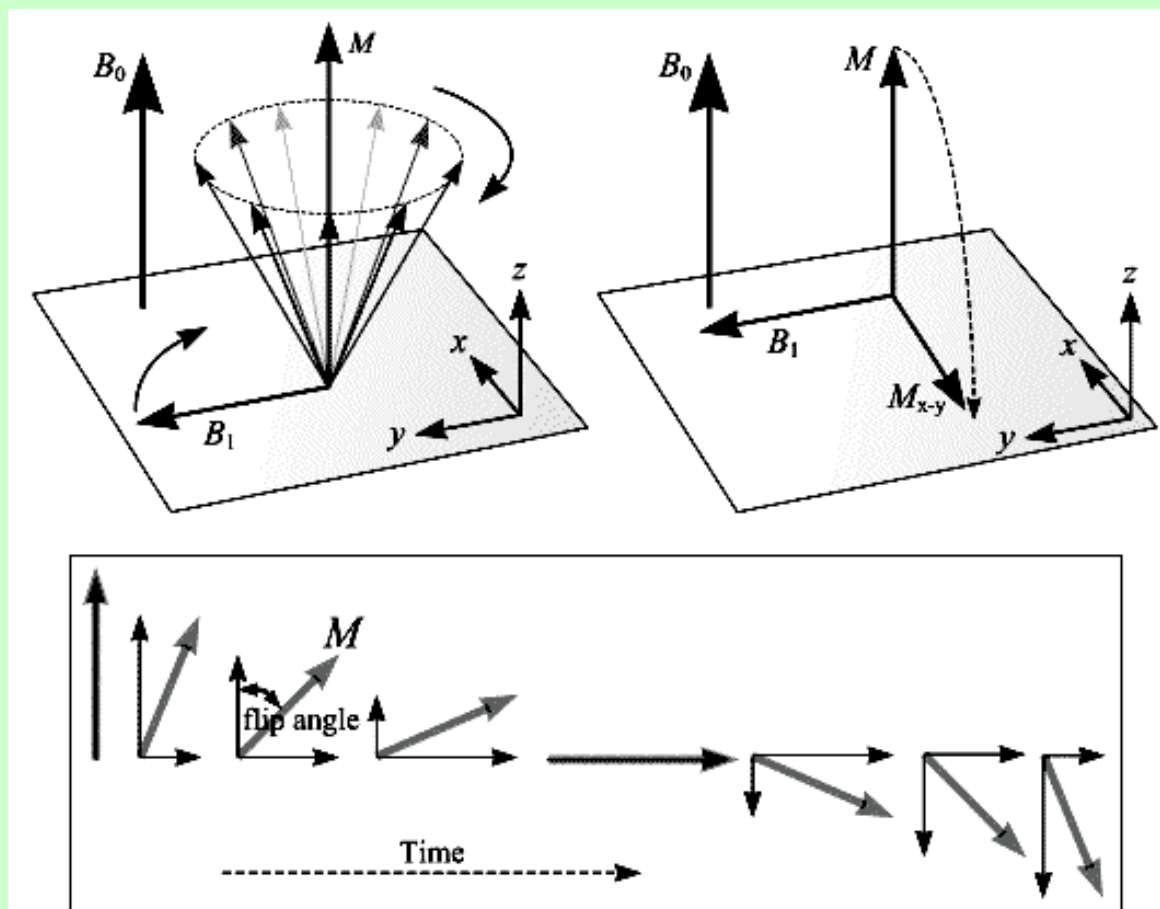


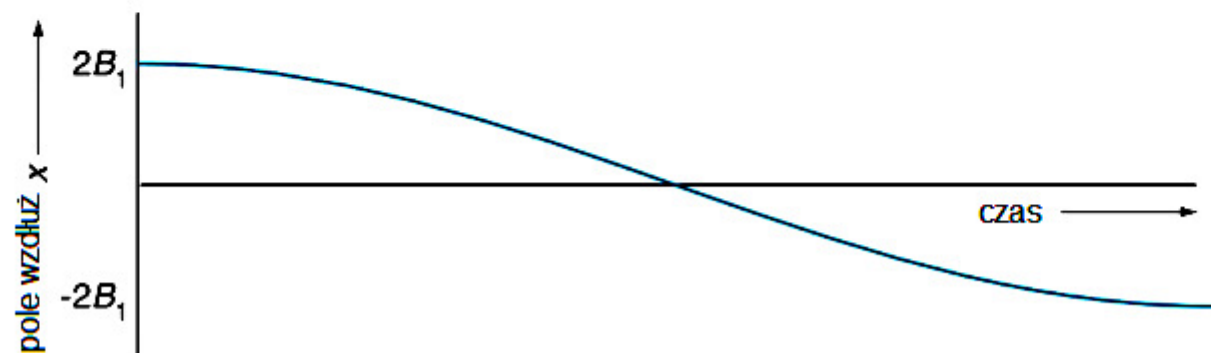
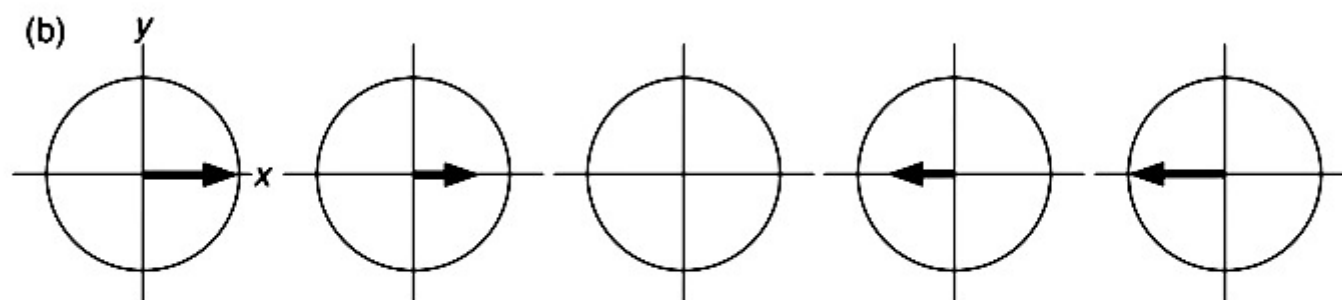
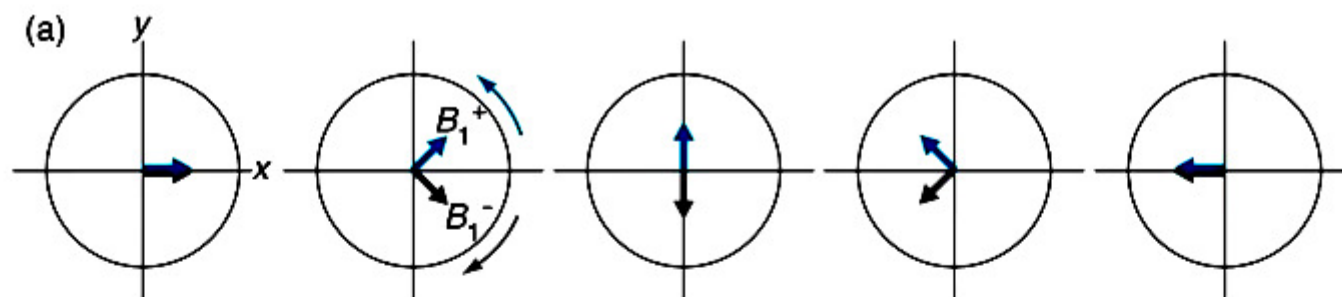
$$M_x = M_0 \sin \beta \cos \omega_0 t \quad M_y = -M_0 \sin \beta \sin \omega_0 t$$

Impulsy



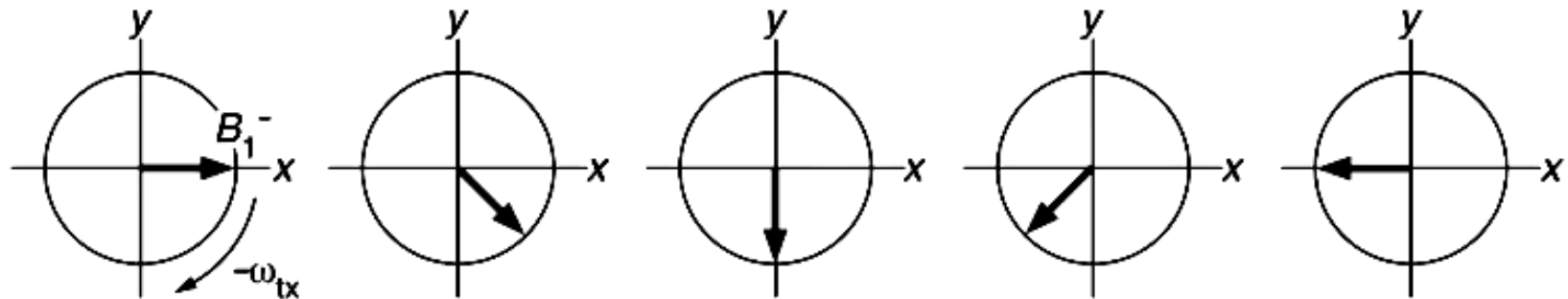
Rezonans



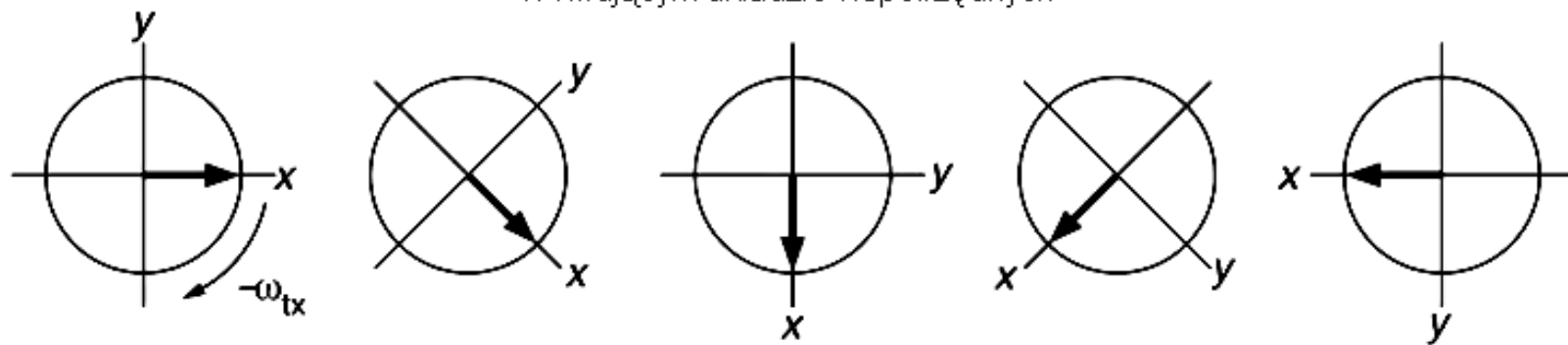


Układ wirujący

w układzie laboratoryjnym



w wirującym układzie współrzędnych



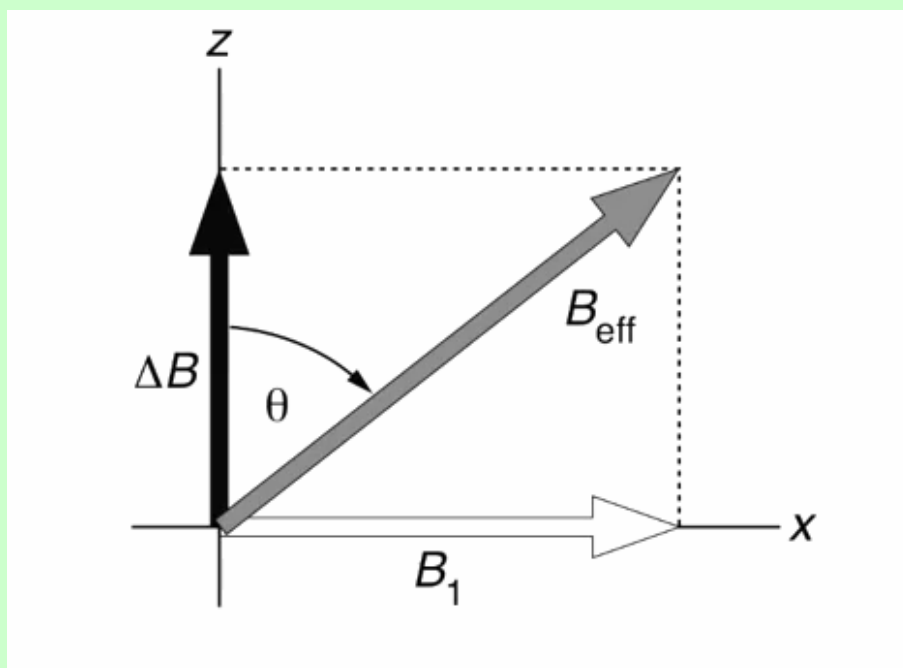
Precesja Larmora w układzie wirującym

- w laboratoryjnym układzie współrzędnych wektor magnetyzacji precesuje z prędkością kątową ω_0
- w wirującym układzie współrzędnych wektor magnetyzacji precesuje przy $\omega_0 - \omega_{\text{układu wirującego}}$
- definiuje się to jako offset $\Omega = \omega_0 - \omega_{\text{układu wirującego}}$
- wiedząc, że $\omega = -\gamma B$

$$\Delta B = -\Omega / \gamma$$

- gdzie ΔB jest zredukowanym polem w układzie wirującym

Efektywne pole



Obliczając $\Omega = (\omega_0 - \omega_{\text{układu wirującego}})$

$$= \omega_0 - (-\omega_{\text{tx}})$$

$$= \omega_0 + \omega_{\text{tx}}$$

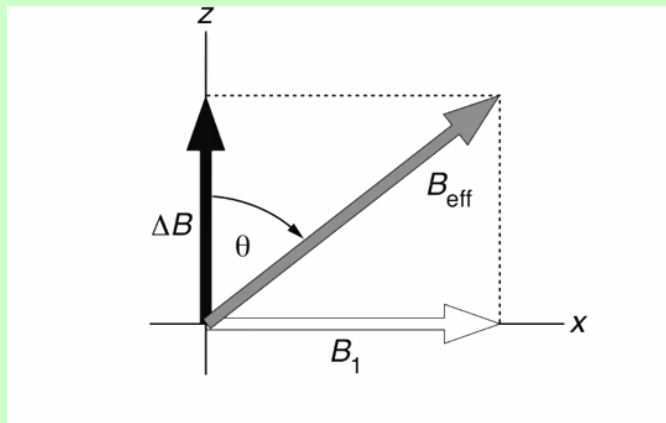
$$B_{\text{eff}} = \sqrt{B_1^2 + (\Delta B)^2} \quad \omega_{\text{eff}} = |\gamma| B_{\text{eff}}$$

Efektywne pole w jednostkach częstotliwości

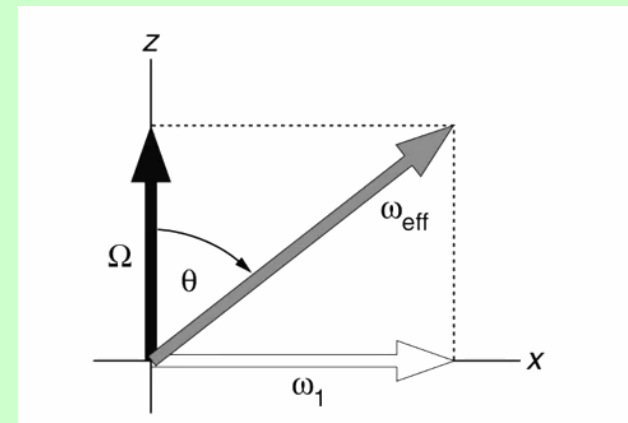
• Stosując $\omega = -\gamma B$ możemy zapisać każde pole w domenie częstotliwości :

$$\blacktriangleright \Omega = -\gamma \Delta B \quad \omega_1 = |\gamma| B_1 \quad \omega_{\text{eff}} = |\gamma| B_{\text{eff}}$$

$$\blacktriangleright \omega_{\text{eff}} = \sqrt{\omega_1^2 + \Omega^2}$$



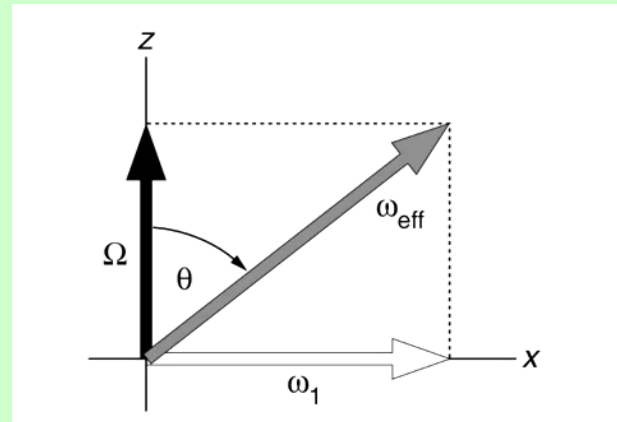
$$\sin \theta = \frac{B_1}{B_{\text{eff}}} \quad \cos \theta = \frac{\Delta B}{B_{\text{eff}}} \quad \tan \theta = \frac{B_1}{\Delta B}$$



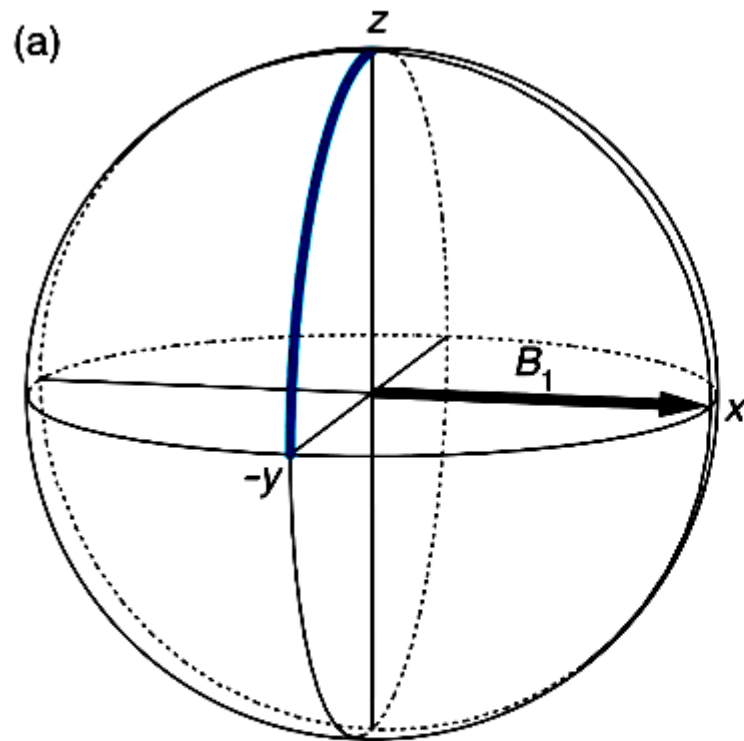
$$\sin \theta = \frac{\omega_1}{\omega_{\text{eff}}} \quad \cos \theta = \frac{\Omega}{\omega_{\text{eff}}} \quad \tan \theta = \frac{\omega_1}{\Omega}$$

w jednostkach częstotliwości

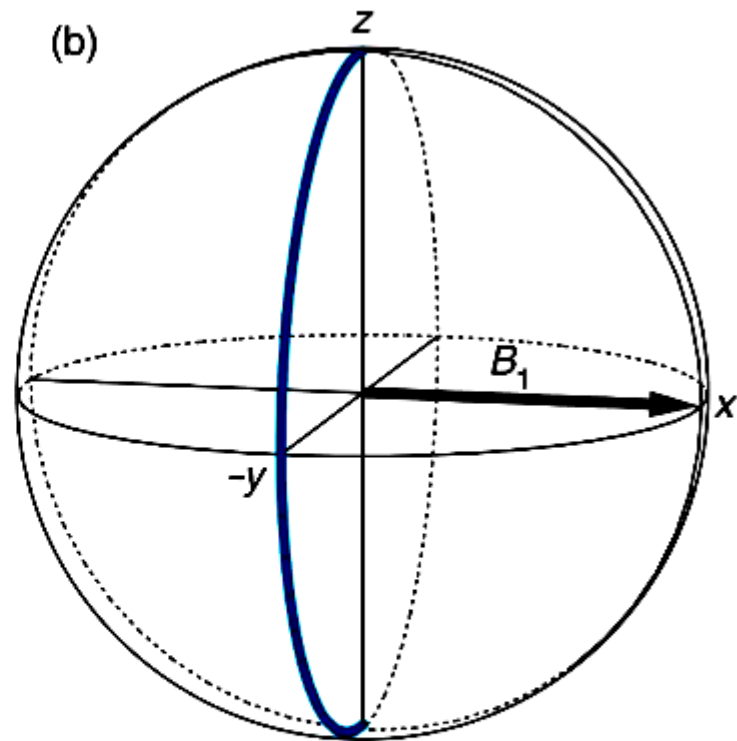
Impuls rezonansowy



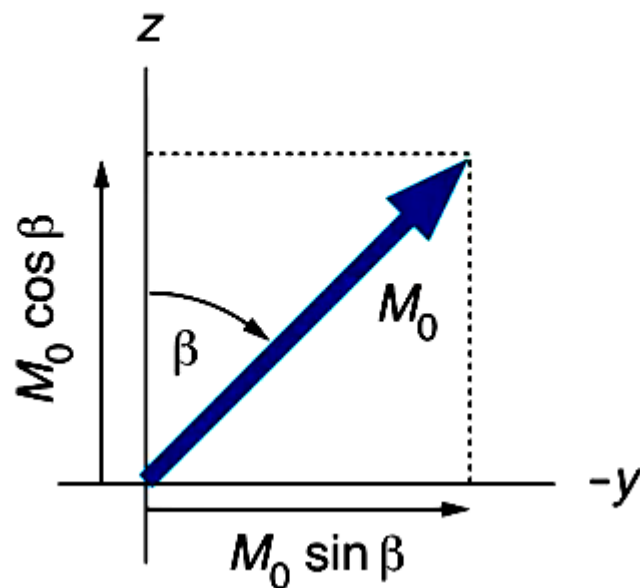
- częstotliwość transmitera = częstotliwości Larmora, a $\Omega = 0$,
- efektywne pole leży wzdłuż pola RF , ω_1 ; $\omega_{\text{eff}} = \omega_1$
- kąt nachylenia, θ , jest $\pi/2$ (90°) lub π (180°)
- wektor magnetyzacji wiruje w płaszczyźnie yz , pod kątem β (*kąt odchylenia impulsu*),
gdzie $\beta = \omega_1 t_p$, a t_p jest **czasem trwania impulsu**



90° impuls



180° impuls



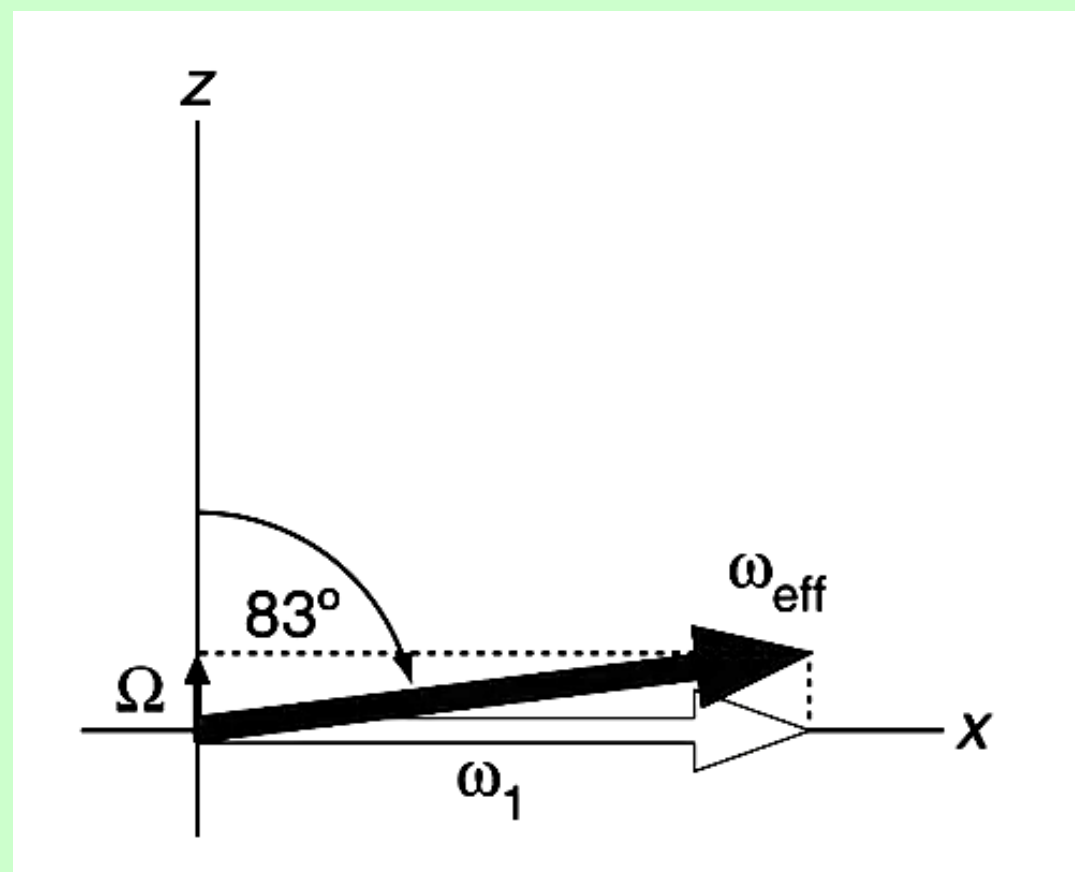
Działanie impulsu wychylającego o kąt β na wektor magnetyzacji

$$M_x = M_0 \sin \beta \cos \Omega t \quad M_y = M_0 \sin \beta \sin \Omega t$$

Twarde impulsy

$$\Omega = 1.57 \times 10^4 \text{ rad s}^{-1}$$

- ▶ $\omega_1 = \frac{\pi/2}{12 \times 10^{-6}} = 1.31 \times 10^5 \text{ rad s}^{-1}$
- ▶ $\tan \theta = \frac{\omega_1}{\Omega} = \frac{1.31 \times 10^5}{1.57 \times 10^4} = 8.34; \theta = 83^\circ$

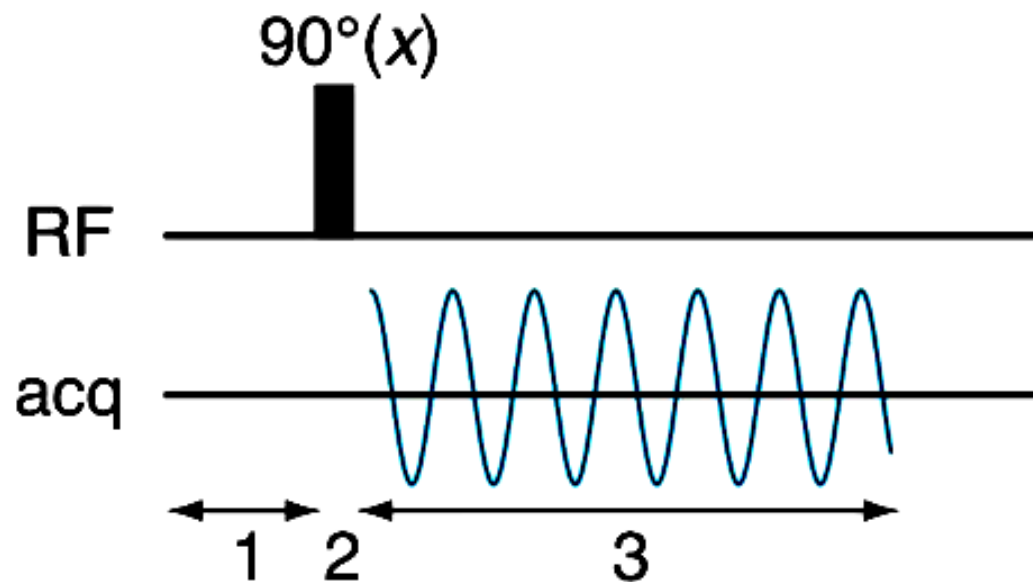


Detekcja w układzie wirującym

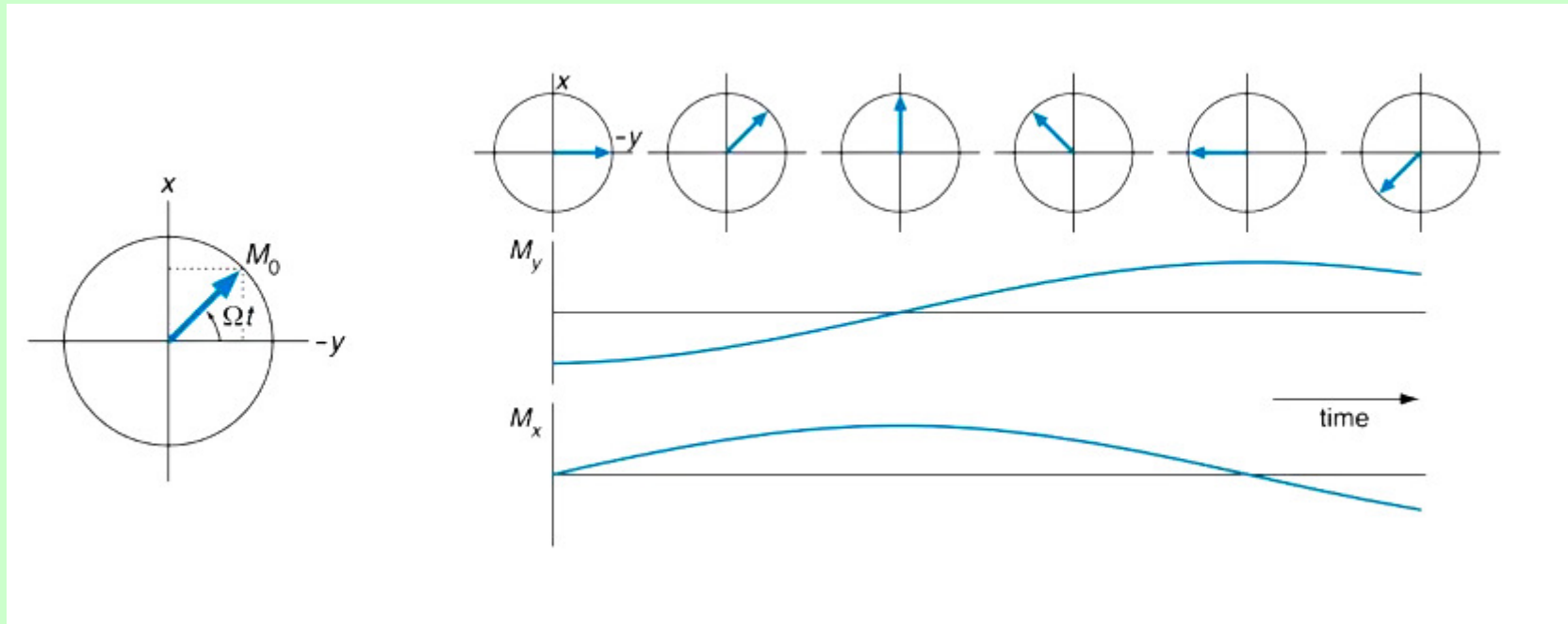
- ze względu na sposób pracy spektrometru, precesja magnetyzacji jest mierzona w układzie wirującym,
- mierzona magnetyzacja oscyluje jako częstotliwość offsetu Ω ,
- po impulsie β :

$$M_x = M_0 \sin \beta \cos \Omega t \quad M_y = M_0 \sin \beta \sin \Omega t$$

Podstawowy eksperyment

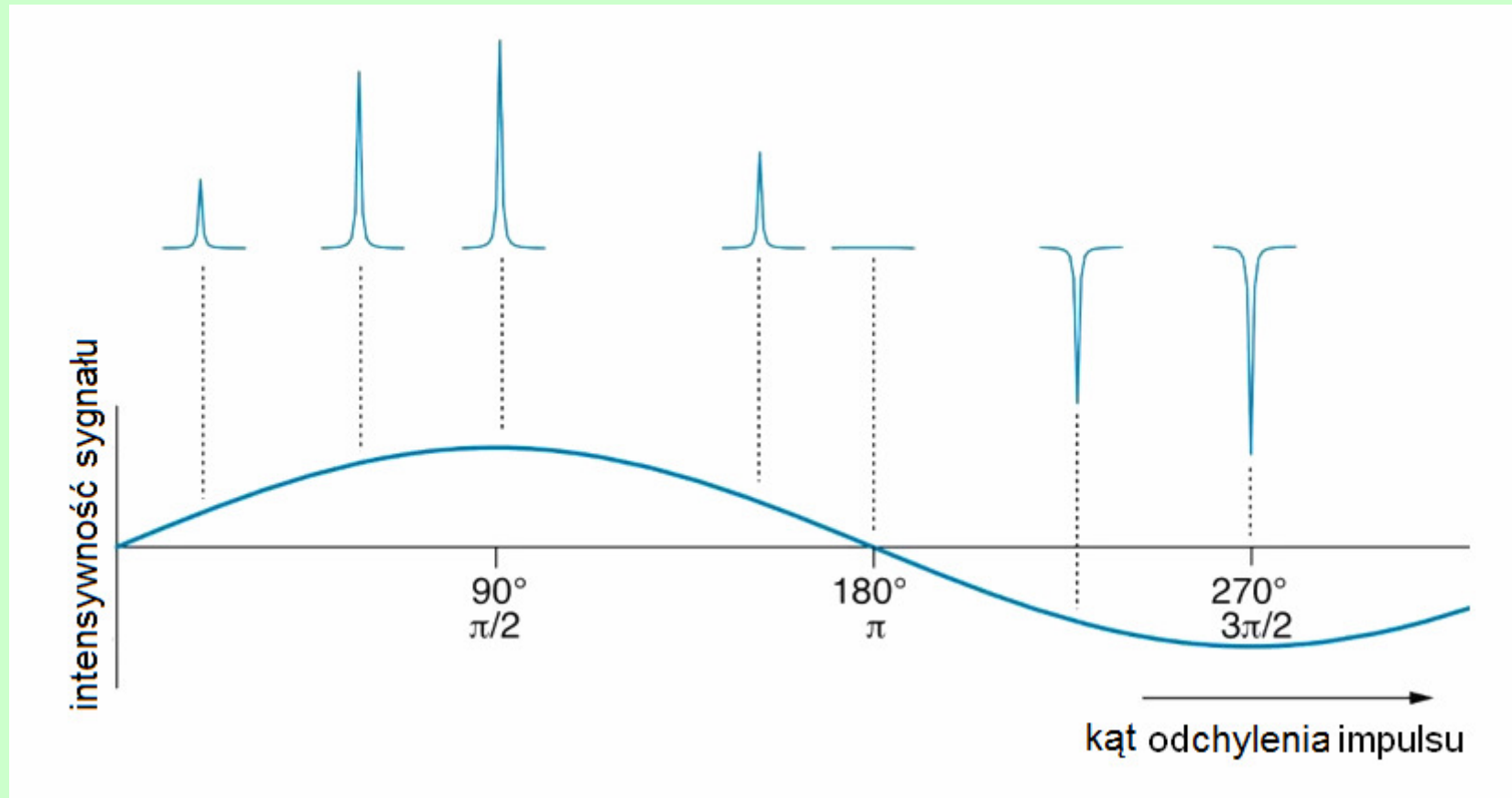


Impuls 90° ustawia magnetyzację w osi -y



Obserwowane sygnały: $M_y = -M_0 \cos \Omega t$ $M_x = M_0 \sin \Omega t$

Kalibracja impulsu



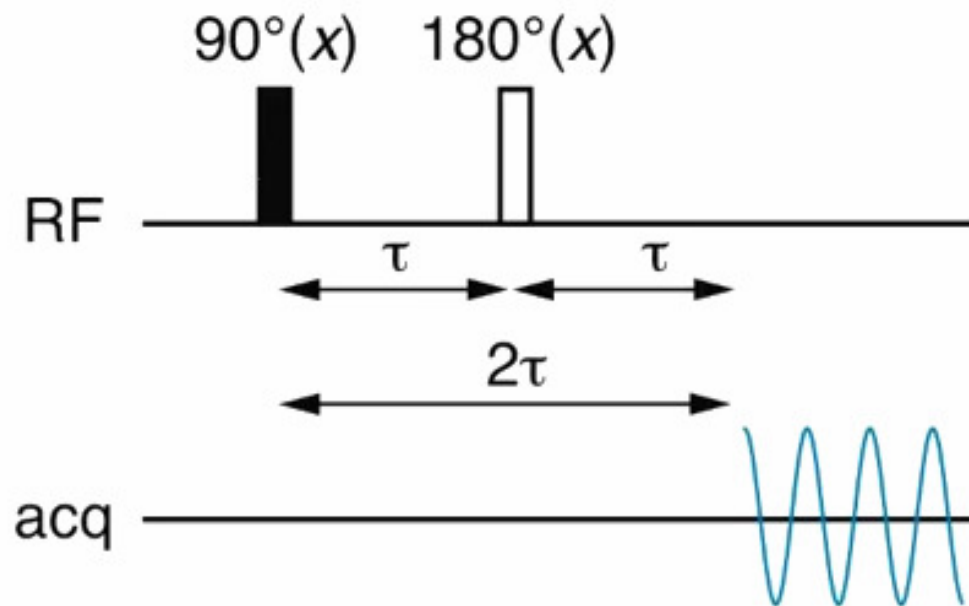
Określanie wartości ω_1

- Kąt wychylenia $\beta = \omega_1 t_p$, a t_p ; stąd $\omega_1 = \beta / t_p$
- założmy, że czas dla impulsu π trwa t_{180} ; $\omega_1 = \pi / t_{180}$
- pole wyrażone w Hz :

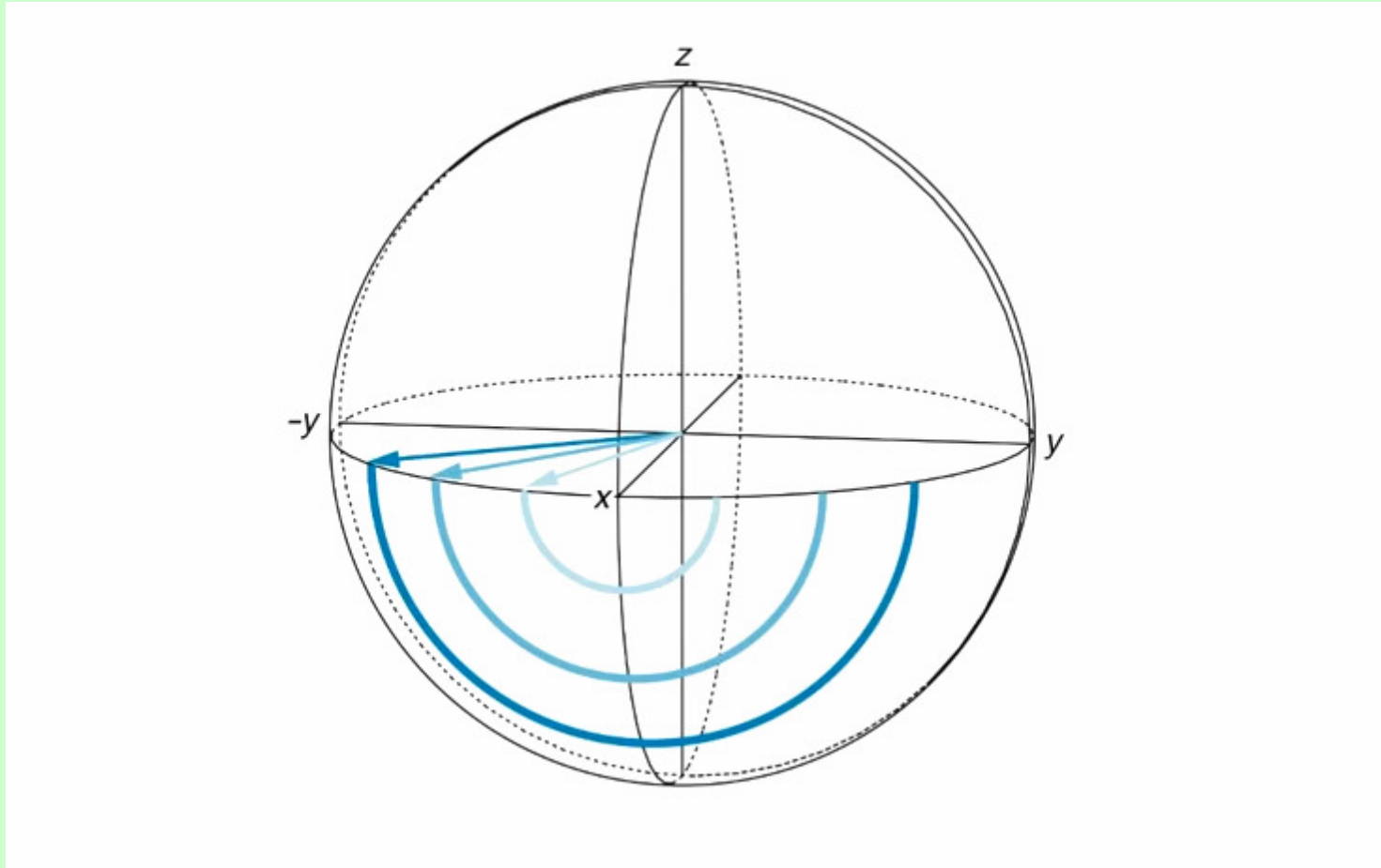
$$(\omega_1 / 2\pi) = 1 / 2 t_{180} \quad \text{Hz}$$

- na przykład, $t_{180} = 15.5 \mu\text{s}$, co daje $\omega_1 = 2.03 \times 10^5 \text{ rad s}^{-1}$
lub $\omega_1 / 2\pi = 32,3 \text{ kHz}$
- „pole B_1 jest 32.3 kHz”

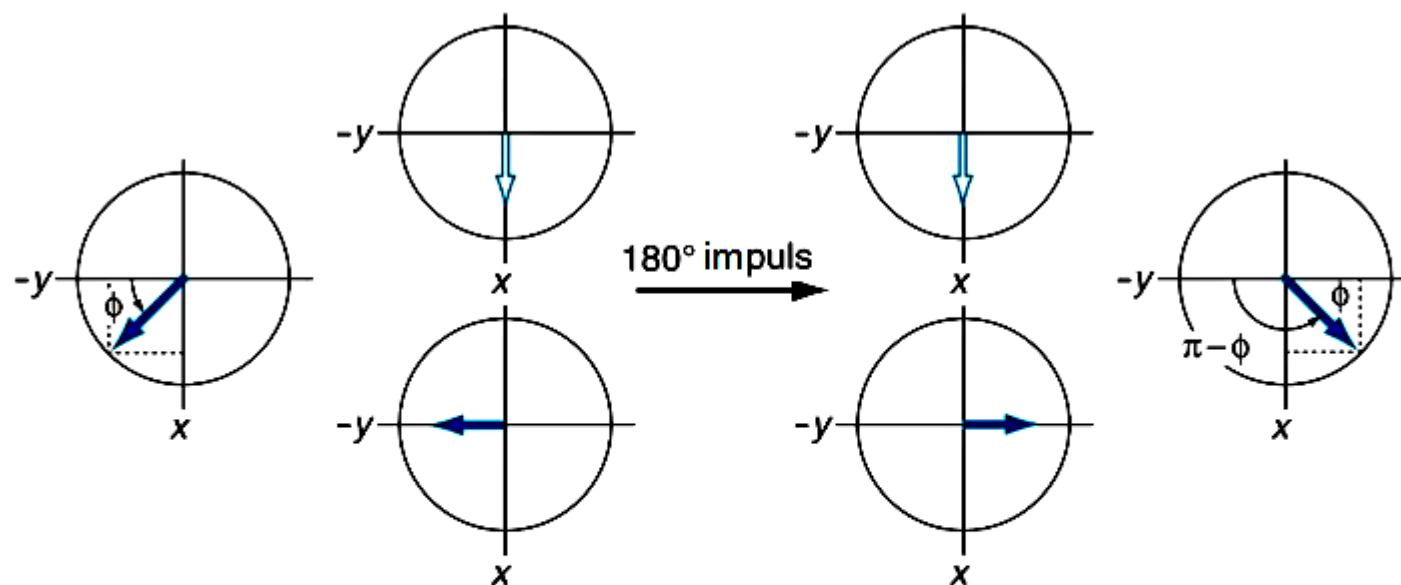
Spin Echo



Impulsy 180° jako impulsy zorientowane ?



**Przeniesienie wektora magnetyzacji w pozycję odbicia lustrzanego w
odpowiedniej płaszczyźnie xz**

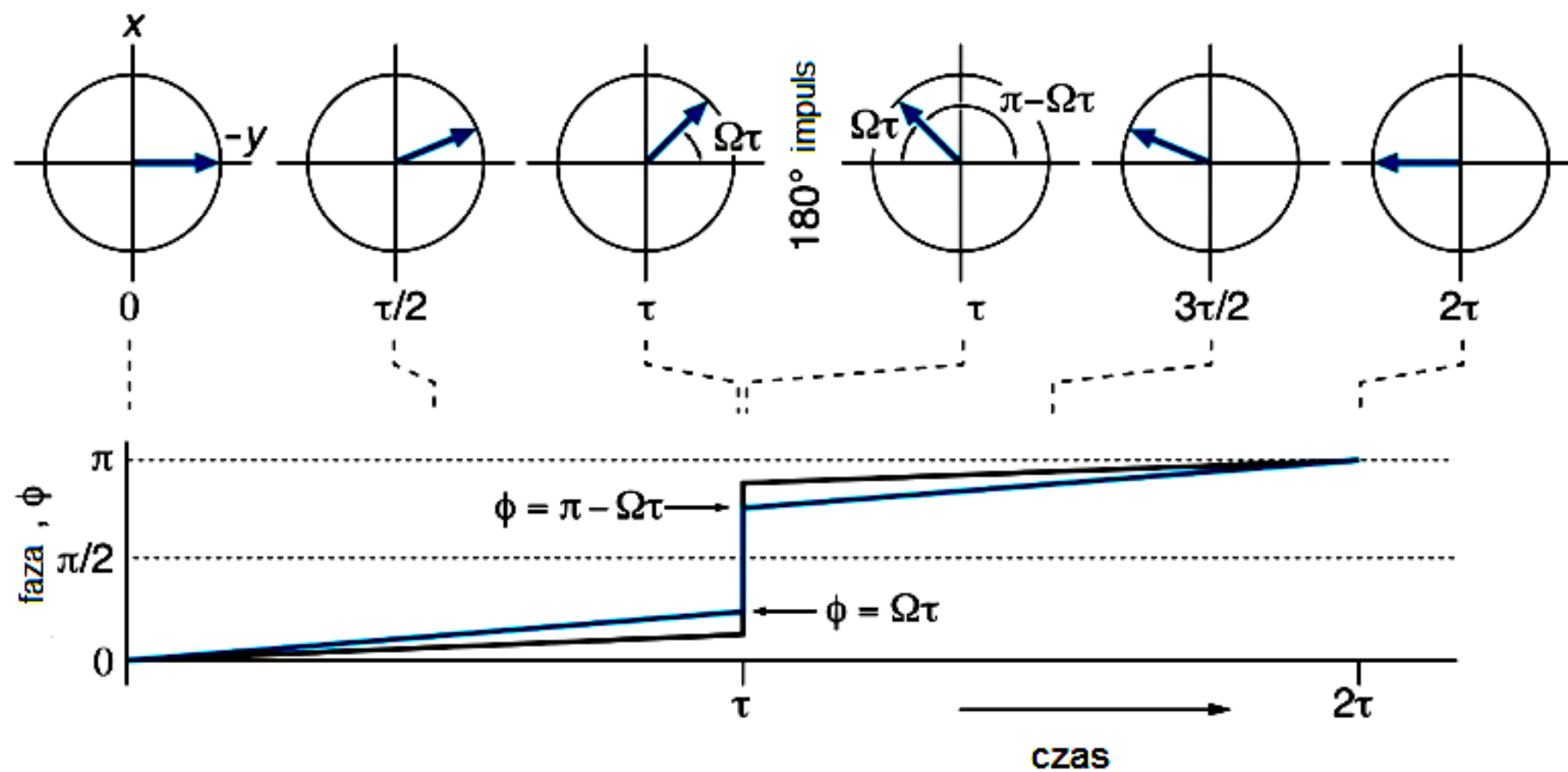


pozycja startowa

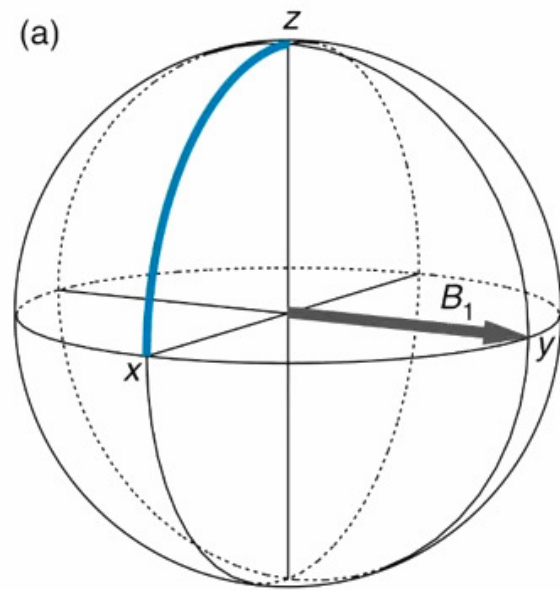
rozłożony na
składową x i y

składowe po
impulsie 180°

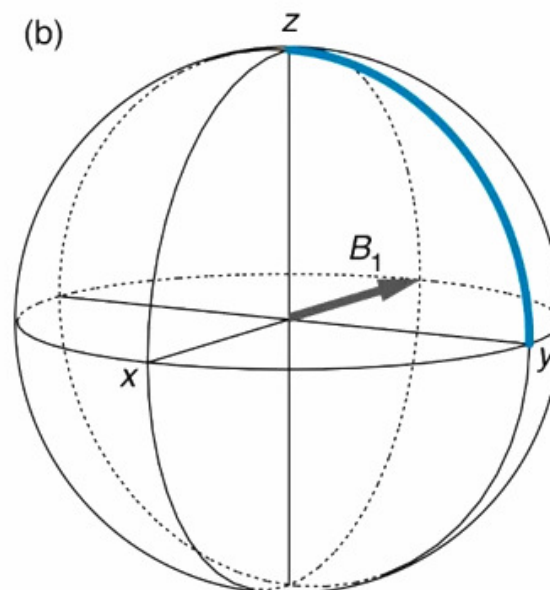
pozycja końcowa



Impulsy o różnych fazach

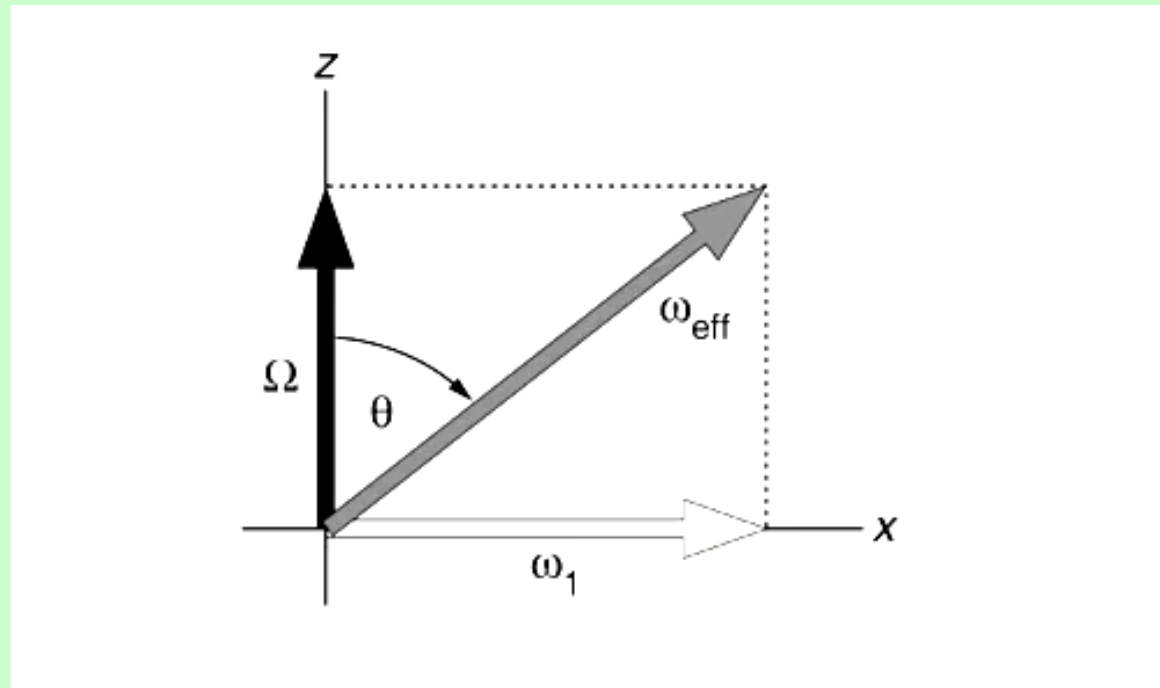


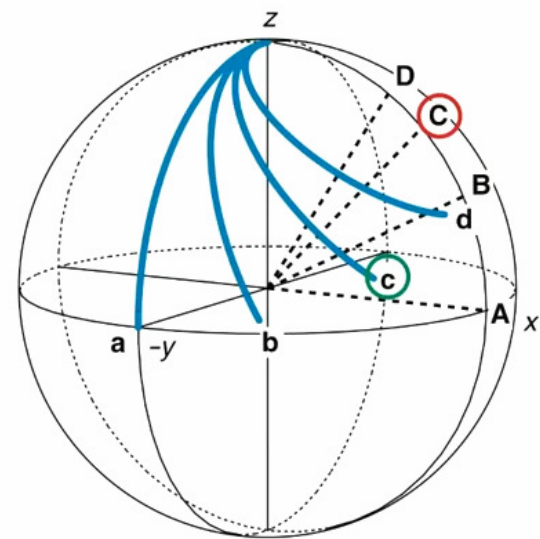
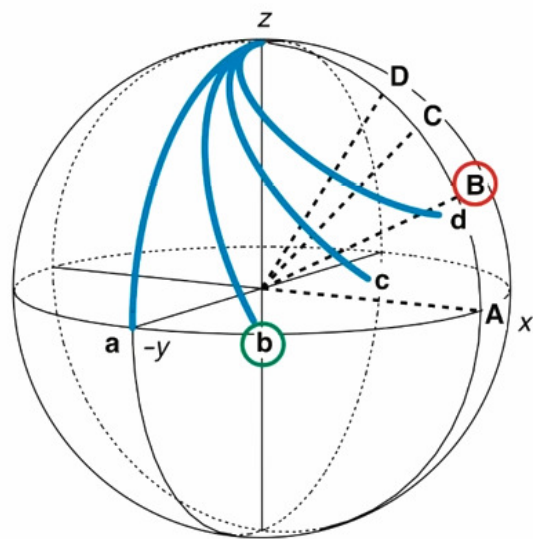
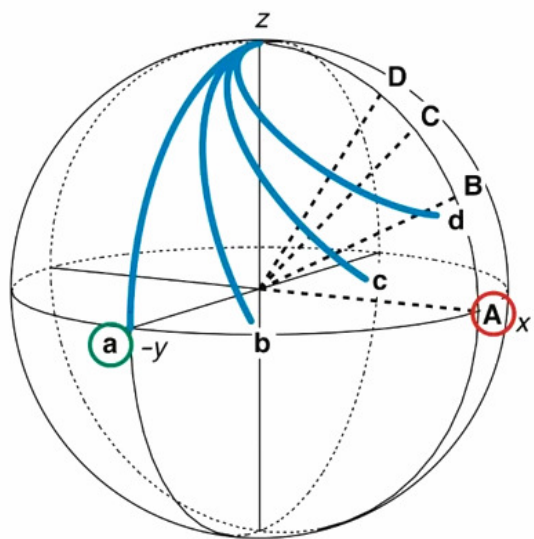
90° wzdłuż osi y

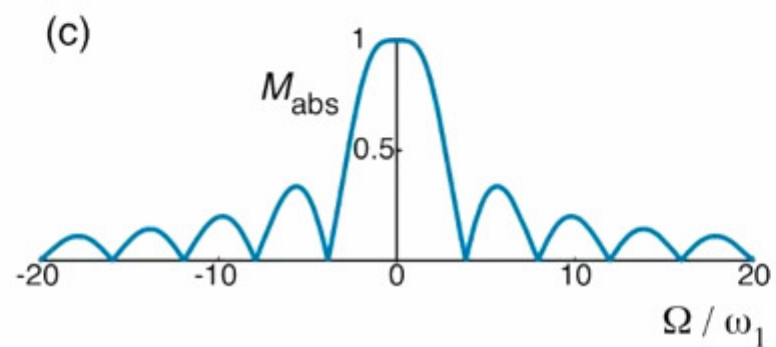
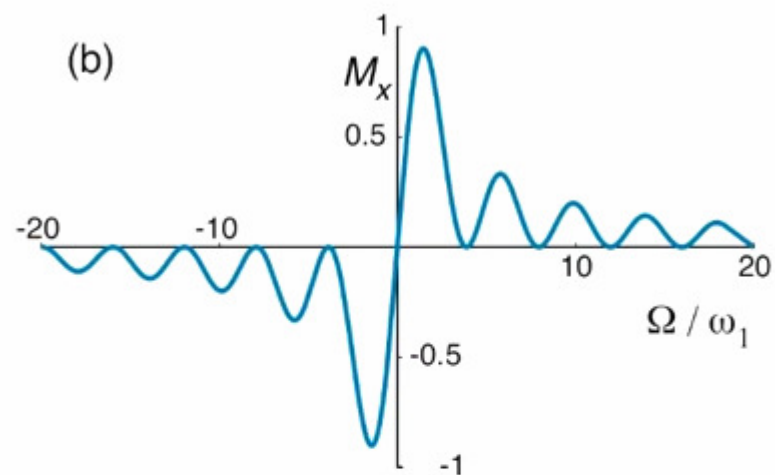
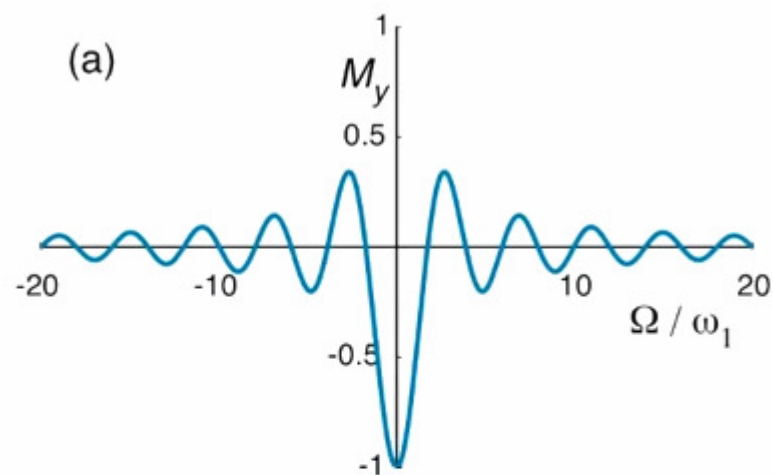


90° wzdłuż osi $-x$

Efekt odsprężania całkowitego i miękki impuls







Wielkość magnetyzacji:

$$M_{\text{abs}} = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$$

Wzbudzenie w zakresie przesunięć

