

### Domácí úkol – Zenonův jev pro Ramseyův přístroj (termín odevzdání: 22.12.2021)

Částice se spinem  $1/2$  a velikostí magnetického momentu  $\mu$  připravená ve stavu  $|\psi_i\rangle = |+\rangle$  (spin ve směru osy  $z$ ) vletá do Ramseyova přístroje sestávajícího se z  $N$  Ramseyových zón. V každé zóně na ni působí magnetické pole složené ze stacionární složky  $\mathbf{B}_0$  směřující podél osy  $z$  a rotující složky  $\mathbf{B}_1(t)$  v rovině  $(x, y)$

$$\mathbf{B}_0 = (0, 0, B_0)$$

$$\mathbf{B}_1(t) = (B_1 \cos \omega t, -B_1 \sin \omega t, 0)$$

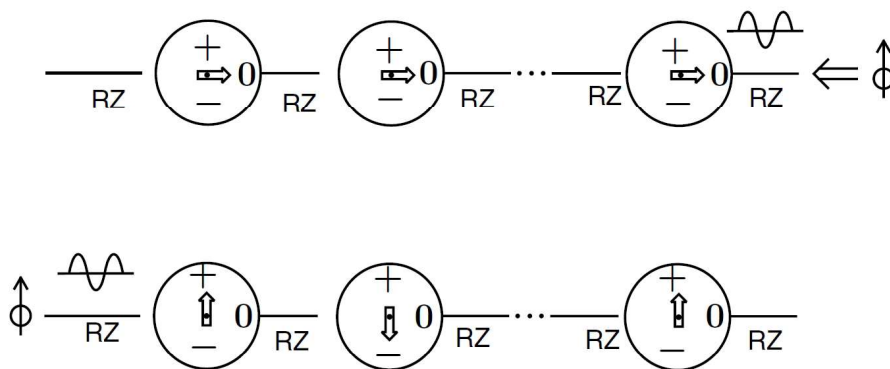
a částice v ní stráví dobu  $\tau$ . Mezi zónami je tzv. *monitorovací oblast*, ve které je magnetické pole  $\mathbf{B}_1$  vypnuté a místo toho je zapnuto monitorování pomocí dalšího spinu o velikosti  $1/2$ . Tento spin se z neutrální polohy

$$|\phi_i\rangle = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 - i \\ 1 + i \end{pmatrix}$$

po interakci s procházejícím spinem za působení Hamiltoniánu

$$H'_0 = \begin{cases} -\mu B_0 \sigma_3 \otimes \left[ 1 + \frac{\lambda}{2} (1 - \sigma_1) \right], & \tau \leq t < \tau + T_0, \\ -\mu B_0 \sigma_3 \otimes \mathbf{1}, & \tau + T_0 \leq t < \tau + T, \end{cases}$$

$[\sigma_1$  je první Pauliho matice,  $\lambda = \pi \hbar / (2\mu B_0 T_0)$ ] přepne do polohy  $|+\rangle$  nebo  $|-\rangle$  podle orientace prolétávajícího spinu, viz obrázek. V monitorovací oblasti stráví částice dobu  $T$ . Změřením orientace monitorovacích spinů můžeme určit, v které z Ramseyových zón se orientace prolétávajícího spinu překlopila.



Obrázek 20: Ramseyův přístroj složený z  $N$  Ramseyových zón (RZ) se zapnutým oscilujícím polem, mezi kterými se nacházejí monitorovací oblasti znázorněné kružnicemi. Spin prochází přístrojem *zprava doleva*. Nahoře je zakreslena situace v čase  $t = 0$ , dole v čase  $t = N\tau + (N - 1)T$ .

- Pro Ramseyův přístroj  $N = 2$  (tj. ten, který se počítal na cvičení) s vypnutým monitorováním  $\lambda = 0$  nalezněte pravděpodobnost  $p_{(++)}^{(2)}$ , že spin vylétne ve stejném stavu, v jakém do přístroje vletal (nepřeklopí se při průchodu přístrojem).
- Nalezněte pravděpodobnost  $p_{(++)}^{(2)'}$ , že se spin nepřeklopí při zapnutém monitorování. Ukažte, že v rezonančním případě  $\omega = \omega_0$ , kde  $\omega_0 = 2\mu B_0 / \hbar$ , je tato pravděpodobnost je vyšší než  $p_{(++)}^{(2)}$ .
- Nalezněte pravděpodobnost  $p_{(++)}^{(N)'}$ , že se spin nepřeklopí při zapnutém monitorování po průchodu  $N$  Ramseyovými zónami.
- Nalezněte pravděpodobnost  $p_{(++)}^{(N)}$ , že se spin nepřeklopí při vypnutém monitorování. Uvažujte zde pouze rezonanční případ  $\omega = \omega_0$ .
- Pro  $N = 3$  a rezonanční případ nalezněte podmínku, za které
  - $p_{(++)}^{(N)} > p_{(++)}^{(N)'}$ ,
  - $p_{(++)}^{(N)} < p_{(++)}^{(N)'}$ .

**Poznámka:** Vliv měření na pravděpodobnost přežití stavu se nazývá *kvantový Zenonův jev*. Poprvé ho zmínil již Alan Turing, obecně odvození rozpracovali A. Degasperis, L. Fonda a G.C. Ghirardi (1974) [15].