

Alkalmazott fizikai módszerek laboratórium

II.: Optikai pumpálás - Ellenőrző kérdések

Pál Balázs*

*Eötvös Loránd Tudományegyetem

2019. szeptember 26.

1. KÉRDÉSEK KIDOLGOZÁSA

1. Q: Mi az a Boltzmann-eloszlás? Adja meg képlettel is!

A: A Boltzmann-eloszlás egy rendszer energiájának valószínűségeloszlása, mely megadja, hogy a rendszer mekkora valószínűséggel tartózkodik egy tetszőleges állapotban adott hőmérséklet és E energia mellett. Az eloszlás képlete a következő:

$$P_i = \frac{N_i}{N} = \frac{g_i e^{-E_i/(k_B T)}}{Z(T)} = \frac{g_i e^{-E_i \beta}}{Z(T)} \quad (1)$$

Ahol $Z(T)$ a partíciófüggvény, avagy az állapotösszeg:

$$Z_i = \sum_i g_i e^{-E_i/(k_B T)} = \sum_i g_i e^{-E_i \beta} \quad (2)$$

Ez kizárólag olyan, termikus egyensúlyban levő rendszer esetében igaz, melynek hőmérséklete kellően magas ahhoz, hogy még ne jelenjen meg a kvantumstatisztikák hatása.

2. Q: Szobahőmérsékleten, 1 T-nál sokkal kisebb mágneses mező esetén milyen a Zeeman nívók betöltése?

A: Szobahőmérsékleten, gyenge tér mellett a két nívó energiakülönbsége apró, míg a $k_B T$ energia jelentősen nagyobb, melyben a nívók közti különbség zajszerűen elveszik. A nívók betöltöttsége ilyenkor azonos.

3. Q: Mi az az indukált emisszió? Milyen összefüggés van a fotonok közt?

A: Ha a rendszert egy olyan EM térrel sugározzuk meg, melyre teljesül az alábbi rezonancia-feltétel:

$$h\nu = \Delta E = \mu_B g_F B \quad (3)$$

akkor vagy az abszorpció jelensége jön létre, mely a pumpálás irányába történő populáció-átrendeződést eredményez, vagy indukált emisszió, mely az ellentétes irányba taszít vissza részecskéket.

4. Q: Miért kell minimum 3 nívó az optikai pumpáláshoz?

A: Minimum 3 nívó szükséges ahhoz, hogy populációinverziót tudjunk létrehozni ami az erősítés feltétele is egyben.

5. Q: A pumpáló fény polarizációja hogyan függ ez össze az elektronok impulzusmomentumának megváltozásával?

A: A mérés során is használt, cirkulárisan polarizált fény képes az elektronok számára valamennyi többlet-impulzusmomentumot átadni, míg a lineárisan polarizált fény erre nem alkalmas. Az impulzusmomentum változás egyben a mágneses momentum megváltozásával és polarizációjával is együtt jár, melynek hatására makroszkopikus mágneses tér jön létre a vizsgált mintában. (Ld. további részletekért pl. az Einstein–de Haas-kísérletet.)

6. Q: Lehet-e árnyékolni statikus mágneses teret néhány mm-es fémlemezekkel ill. Faradaykalitkával? Miért?

A: Nem, a statikus mágneses tér ezeken szinte csillapítás nélkül áthatol. Ezen vezetőből készült burkok működési elve, hogy elektromos tér hatására a benne levő töltések átrendeződnek, melyek megakadályozzák, hogy a vezető által határolt térfogatban elektromos térerősség jöjjön létre. A mágneses tér egészen máshogy működik, mely ellen így ez a koncepció nem képes védekezni.

7. Q: Mi az a kettőstörés?

A: Kettőstörésnek hívjuk azt a jelenséget, mikor bizonyos kristályok a rajtuk áthaladó fény-sugarat két darab, egymással merőlegesen polarizált fénysugárra bontják.

8. Q: Hogyan lehet lineárisan polarizált fényből cirkulárist előállítani?

A: Kettőstörő kristállyal, amely az egyik komponensben egy $\lambda/4$ nagyságú fázistolást ad.

9. Q: Mi az a $\lambda/4$ -es lemez? Milyen anyagból készül?

A: Kettőstörő kristályból készült lemez, mely feladata, hogy lineárisan polarizált fényből cirkulárist állítson elő.

10. Q: Mire szolgál a mintában lévő puffergáz?

A: A pumpálás hatásossága (az átmenetek teljes száma) függ a rendszer relaxációjának sebességét leíró T_1 időállandótól (ld. 12. kérdés). Ezen időállandó növelésének egyik lehetséges módja egy, a műszert kitöltő, diamágnese puffergáz alkalmazása. Ez nagyban csökkenti az edény falával történő, depolarizációt okozó atomi ütközéseket, míg magával a puffergázzal történő ütközések során a megfelelő polarizációt megmarad.

11. Q: Mekkora a Zeeman-felhasadás energiája?

A: Ha a külső mágneses tér nagyon erős, akkor a Zeeman-kölcsönhatás jóval erősebbé válik a spin-pálya kölcsönhatásnál. Ekkor az energia:

$$E(B) = E_0 + \mu_B B(m_L + 2m_S). \quad (4)$$

12. Q: Mi az a T_1 relaxáció?

A: A pumpálás során atomi-, vagy magpolarizáció lép fel, mely a Zeeman-nívók egyensúlytól eltérő betöltöttsége miatt jön létre. Ha a pumpálás abbamarad, akkor termikus relaxáció útján a rendszer az egyensúly felé kezd el közeledni, majd valamilyen karakterisztikus T_1 időállandó által meghatározott idő után újra beáll az egyensúly.