محاسبه متوسط ممان مغناطیسی هسته در یک میدان H و دمای T

Application of canonical distribution in (Nuclear Magnetism)

ماده را در نظر می گیریم که دارای N_0 هسته در واحد حجم باشد. و در یک میدان مغناطیسی H قرار گرفته باشد.

هر هسته دارای اسپین $\frac{1}{2}$ و ممان مغناطیسی μ است.

ممان متوسط مغناطیسی ماده $\bar{\mu}_H$ (در جهت H) در درجه حرارت T چقدر است؟

فرض می کنیم که هر هسته دارای برهم کنش ضعیف با سایر هسته ها و سایر درجات آزادی است. همچنین یک هسته را بعنوان سیستم کوچک در نظر می گیریم و بقیه هسته ها و سایر درجات آزادی را بعنوان منبع حرارتی می گیریم.

هرهسته می‌تواند دارای دوحالت باشد+یا هم‌جهت بامیدان واقع در تراز انرژی پائین یا در خلاف جهت میدان واقع در تراز انرژی بالا

$$P_+ = Ce^{-\beta\epsilon_+} = Ce^{\beta\mu H} \qquad \text{(C ثابت تناسب است)}$$

چون این حالت دارای انرژی متر است پس احتمال یافتن هسته در آن بیشتر است.

از طرفی احتمال یافتن هسته در حالت تراز بالای انرژی برابر است با

$$P_- = Ce^{-\beta\epsilon_-} = Ce^{-\beta\mu H}$$

و چون این حالت دارای انرژی بیشتری است پس احتمال یافتن هسته در آن کمتر است. (چون تعداد حالات بیشتر است با افزایش E، Ω افزایش می یابد و ذره شکل پیدا می شد در حالت بخصوص)

و چون احتمال یافتن هسته در حالت + بیشتر است پس ممان مغناطیسی هسته نیز باید در این جهت باشد.

با توجه به دو رابطه های مقابل مهمترین متغیر در این دو رابطه که نسبت انرژی مغناطیسی به انرژی حرارتی را نشان می دهد پارامتر زیر می باشد.

$$P_+ = Ce^{-\beta\epsilon_+} = Ce^{\beta\mu H}$$

$$P_- = Ce^{-\beta\epsilon_-} = Ce^{-\beta\mu H}$$

که نسبت انرژی مغناطیسی به انرژی حرارتی را نشان می دهد پارامتر زیر می باشد:

$$y = \beta\mu H = \frac{\mu H}{RT}$$

واضح است که

اگر $T \rightarrow \text{Nerylary} \Rightarrow y << 1 \Rightarrow \mu H << RT$

$$0 \Rightarrow P_+ = P_-$$

نمای هر دو e یعنی احتمال اینکه μ هم جهت با H باشد برابر با احتمال اینکه در خلاف جهت H باشد.

در اینصورت μ تقریباً کاملاً بطور نامنظم جهت گیری می کند بطوریکه:

$$\overline{\mu}_H \approx 0$$

از طرف دیگر اگر

اگر $T \rightarrow \text{Nerylary} \Rightarrow y >> 1 \Rightarrow \mu H >> RT$ احتمال هم جهت بودن μ؛ H بیشتر از خلاف جهت است $\Rightarrow$

$$\Rightarrow \bar{\mu}_H \approx \mu$$

تمام این نتایج کیفی را به نتایج کمی تبدیل می کنیم.

بوسیله محاسبه واقعی متوسط μ_H

$$\bar{\mu}_H = \frac{P_+\mu + P_-(-\mu)}{P_+ + P_-} = \mu \frac{e^{\beta\mu H} - e^{-\beta\mu H}}{e^{\beta\mu H} + e^{-\beta\mu H}}$$

$$\bar{\mu}_H = \mu \tanh \frac{\mu H}{RT} \qquad \tanh y = \frac{e^y - e^{-y}}{e^y + e^{-y}}$$

Magnetization $\bar{M}_0 \equiv$ mean magnetization per unit nolume in the direction

of H

$$\bar{M}_0 = N_0 \bar{\mu}_H$$

حالا چک کنیم که آیا $\bar{\mu}_H$ استدلالهای کیفی قبلی را نمایان می کند؟

اگر $T \Rightarrow \begin{cases} \frac{\mu H}{kT} << 1 \mu H << kT \Rightarrow \bar{\mu}_H = \frac{\mu^2 H}{kT} \\ y << 1 \Rightarrow e^y = 1 + y + \ldots \& e^{-y} = 1 - y + \ldots \end{cases}$

$$\rightarrow \tanh y = \frac{(1+y+\ldots)-(1-y+\ldots)}{(1+y+\ldots)+(1-y+\ldots)} = \frac{2y}{2} = y = \beta\mu H$$

$$\Rightarrow \bar{\mu}_H = \mu \tanh \frac{\mu H}{kT} = \mu(\frac{\mu H}{kT}) = \frac{\mu^2 H}{kT} \Rightarrow T \Rightarrow \bar{\mu}_H = 0$$

اگر $T \Rightarrow \begin{cases} \frac{\mu H}{RT} >> 1 \mu H >> kT \Rightarrow \mu_H = \mu \\ y >> 1 \Rightarrow e^y >> e^{-y} \Rightarrow \tanh y = \frac{e^y - e^{-y}}{e^y + e^{-y}} = 1 \end{cases}$

$$\Rightarrow \bar{\mu}_H \approx \mu$$

$$\Rightarrow T \Rightarrow \mu H << kT \Rightarrow \bar{\mu}_H = \frac{\mu^2 H}{kT} = \bar{M}_0 = N_0 \bar{\mu}_H = N_0 \frac{\mu^2 H}{kT} = \frac{N_0 \mu^2}{kT} H = XH$$

مستقل از H است که ثابت تناسب است X(chay)ij که به آن پذیرایی ماده مغناطیسی گفته می شود. Magnetic Susceptibility of Substance

X برحسب کمیات میکروسکوپیک و اینکه باد، رابطه عکس دارد به قانون کوری معروف است Curie's Law

از طرف دیگر

مستقل از H است $\Rightarrow N_0\mu \rightarrow \overline{M}_0 \Rightarrow \mu H >> kT$ یا T اگر و مساوی با M_{max} مغناطیسی شدن max of magnetization که ماده می تواند نمایش بدهد.

بستگی کامل متوسط مغناطیسی شدن $\overline{M}_0$ به دمای T و میدان مغناطیسی H در شکل زیر نشان داده شده است.

$$\overline{M}_0 = N_0\overline{\mu}_H = N_0\mu \tanh\frac{\mu H}{kT}$$

$$[\text{if} \quad T \Rightarrow y << 1 \Rightarrow \tanh y = y \Rightarrow \overline{M}_0 = N_0\frac{\mu^2 H}{kT} \Rightarrow \overline{M}_0 = X_0 H = \frac{N_0\mu^2}{kT}H]$$

$$[\text{اگر} \quad T \Rightarrow y >> 1 \Rightarrow \tanh y = 1 \Rightarrow \overline{M}_0 = N_0\mu]$$

منحنی زیر منحنی tanhy است که اگر y با نسبت $\frac{\mu H}{kT}$ کمتر از یک باشد آنگاه $\frac{\overline{M}_0}{N_0\mu}$ بستگی به مقدار H افزایش می یابد و اگر $\frac{\mu h}{kT} = 1$ باشد این نسبت 0.63 است و اگر بیشتر از یک باشد آنگاه مغناطیس شدن به حالت اشباع و ماکزیمم خود می‌رسد.

$$\frac{\mu H}{kT} = \frac{\overline{M}_0}{N_0\mu}$$ متوسط مغناطیس شدن

$$M_0 = \frac{N_0\mu^2}{kT}H, M_0 \alpha H$$

$$\frac{P_+}{P_-}=\frac{N_+}{N_-}=\frac{Ce^{-\beta\epsilon}}{Ce^{-\beta\epsilon_-}}=e^{-\beta(\epsilon_+-\epsilon_-)}=e^{-\beta(-\mu H_0-\mu H_0)}=e^{-\beta(-2\mu H_0)}=e^{\beta(2\mu H_0)}$$

$$\mu=\mu_Z=\gamma L_Z=\partial m_s h=\pm\frac{1}{2}\gamma h$$

$$=e^{\beta(2\mu H_0)}=e^{\beta(2\times\frac{1}{2}\gamma h)H_0}=e^{\beta\gamma h H_0}=e^{\frac{\gamma h H_0}{kT}}$$

$$\frac{P_+}{P_-}=\frac{W\downarrow}{W\uparrow}=e^{\frac{\gamma h H_0}{kT}}$$

برای مشاهده رزونانس در یک ماکروسکپی سیستمی را در نظر می گیریم که هسته‌های آن دارای

چون تعداد زیادی هسته در نمونه ماکروسکپی وجود دارند، تعداد هسته های در حالتهای m_s برابر $+\frac{1}{2}(\uparrow),-\frac{1}{2}(\downarrow)$ را با $\begin{matrix}N_\uparrow \\ N_+\end{matrix}$ $\begin{matrix}N_\downarrow \\ N_-\end{matrix}$ مشخص می کنیم.

تعداد کل اسپینها یعنی N ثابت است ولی بکار بردن یک میدان متناوب تحریک باعث تغییر در N_+ یا N_- بخاطر انتقالهایی که صورت می گیرد می شود.

اگر احتمال انتقال در واحد زمان از حالت $\frac{1}{2}+^{\uparrow}$ به $\frac{1}{2}-^{\uparrow}$ را با $W\uparrow_+^-=W_{+\to-}$

اگر احتمال انتقال در واحد زمان از حالت $\frac{1}{2}-$ به $\frac{1}{2}+$ را با $W\uparrow_+^-=W_{-\to+}$

سپس می توانیم معادله دیفرانسیل تغییر در جهت $\begin{matrix}N_\uparrow \\ N_+\end{matrix}$ را به شکل زیر نمایش دهیم.

$$\frac{dN_+}{dt}=N_-W\downarrow_+^- - N_+W\uparrow_+^-$$

از آنجا که $W\uparrow_+^-$ در همان میزانی است که $W\downarrow_+^-$ سپس مطابق با تئوری

$$W_{+\to-}=W_{-\to+}=W$$

$$W\uparrow_{+}^{-} = W\downarrow_{+}^{-} = W$$

بعد از بحث موقعیتهای بسیار که منجر به شرط $W_{+\to-} = W_{-\to+} \equiv W$ جهت تدریس

$$\Rightarrow \frac{dN_+}{dt} = W(N_- - N_+)$$

اگر تفاوت تعداد در دو سطح را با n نمایش دهیم

$$n = N_+ - N_-$$

و مجموع تعداد در دو سطح را با N نمایش دهیم

$$N = N_+ + N_-$$

$$\Rightarrow N_+ = \frac{1}{2}(N+n) \quad \& \quad N_- = \frac{1}{2}(N-n)$$

و اگر در معادله $\frac{dN_+}{dt}$ مقادیر فوق را استفاده می کنیم

$$\frac{dN_+}{dt} = \frac{dn}{2dt}$$

$$\frac{dn}{2dt} = W[\frac{1}{2}(N-n) - \frac{1}{2}(n+N)]$$

$$\frac{1}{2}\frac{dn}{dt} = W(-n) \quad \Rightarrow \quad \frac{dn}{dt} = -2Wn$$

حل این معادله

$$\int_{n(0)}^{n(t)} \frac{dn}{n} = \int_0^t Wdt \qquad \ell_n n |_{n(0)}^{n(t)} = -2Wt$$

$$\ell_n n - \ell_n n(0) = -2Wt \qquad \ell n \frac{n(t)}{n(0)} = -2Wt$$

$\Rightarrow n(t) = n(0)e^{-2Wt}$ که در واقع $n(0)$ مقدار n در لحظه t=0 است

$n(0)$ تفاوت تعداد در لحظه $t \neq 0$ و $n(t)$ تفاوت تعداد در زمان t

باید توجه داشت که اگر در ابتدا یک اختلاف تعداد وجود داشته باشد. نهایتاً این امتداد تحت ایجاد انتقال از بین می رود.

میزان جذب انرژی یعنی $\frac{dE}{dt}$ از طریق محاسبه کاهش تعداد اسپینی که در واحد زمان از انرژی پائین به انرژی بالا می روند از تعدادیکه از بالا به پائین می روند بدست می آید.

انرژی انتشاری در این پروسه برابر است با:

$$\frac{dE}{dt} = N_+ W \uparrow_+^- (h\omega) - N_- W \downarrow_+^- h\omega = (N_+ - N_-) W h\omega = nWh\omega$$

$$\frac{dE}{dt} = nWh2\pi\nu = nWh\nu$$

بنابراین برای داشتن یک انرژی جذبی باید n مخالف صفر باشد. یعنی یک اختلاف در تعداد وجود داشته باشد.

مشاهده می کنیم که اگر سطح بالا خیلی Populatool بوده یعنی تعدادش نسبت به سطح پایین بسیار زیاد باشد، آنگاه جذب خالص انرژی net absorption energy است.

یعنی سیستم بیشتر از آنکه انرژی دریافت کند انرژی پس می دهد که نمونه های آن در محدوده امواج رادیویی نیروها

masers (microwave amplification by stimu lated emission of radiation)

or lasers (for light amplification)

هستند.

$$\frac{dN_+}{dt} = W(N_- - N_+)$$

در معادله می بینیم که اگر W=0 یعنی میدان مغناطیسی متناوب را اعمال می‌کنیم که همان عامل انتقال انرژی است را از بین می بریم آنگاه $\frac{dN_+}{dt}=0$ خواهد شد. به این معنی که تعداد تغییری نخواهد کرد.

از طرف دیگر زمانیکه یک میدان ایستا Static fiold را به یک ماده غیر مغناطیس اعمال کنیم آنگاه باید انتظار داشته باشیم که آن ماده مغناطیس شود.

چون ممانهای مغناطیسی هسته بیشتر تمایل دارند که همه با میدان شدند بطوریکه N_+ بزرگتر از N_- است.

$$N_+ > N_- \Rightarrow W\downarrow_-^+ \neq W\uparrow_+^-$$

دائر $N_- = 0 \Rightarrow$ perfect polarization

(حالتی که انتظار نداریم بالاتر از صفر مطلق اتفاق بیفتد)

بنابراین

The process of magnetization of ammagnetized sample pequies ainet number of transitions from apper to the lower energy state.

Absorption of Energy: Spin-Lattice Relaxation & Spin-Spin

$$\frac{dN_+}{dt} = N - W\downarrow - N + W\uparrow$$

$$\left.\begin{array}{l} N = N_+ + N_- \\ -n = N_+ - N_- \end{array}\right\} \Rightarrow \begin{array}{l} N_+ = \frac{1}{2}(N+n) \\ N_- = \frac{1}{2}(N-n) \end{array} \qquad \frac{dN_+}{dt} = \frac{1}{2}\frac{dn}{dt}$$

$$\frac{dN_+}{dt} = \frac{dn}{2dt} = [\frac{1}{2}(N-n)W\downarrow - \frac{1}{2}(N+n)W\uparrow]$$

$$\frac{dn}{dt} = [N(W\downarrow - W\uparrow) - n(W\downarrow + W\uparrow)]$$

$$\frac{dn}{dt} = (W\downarrow + W\uparrow)\left[N\left(\frac{W\downarrow - W\uparrow}{W\downarrow + W\uparrow}\right) - n\right] =$$

$$= (W\downarrow + W\uparrow)(n_0 - n) = \frac{n_0 - n}{T_1}$$

$$(W\downarrow + W\uparrow) = \frac{1}{T_1} \quad \& \quad n_0 = N\left(\frac{W\downarrow - W\uparrow}{W\downarrow + W\uparrow}\right)$$

که در آنها n_0 اختلاف تعداد اسپینها در دو تراز در حالت تعادل حرارتی ($\approx -\frac{dN_+}{dt}$;

Steady State: پایایی) و T_1 زمان رسیدن به تعادل حرارتی است. از طرفی نسبت

$\frac{N}{n_0} = \frac{\text{تعداد کل اسپینها در تراز}}{\text{اختلاف تعداد در حالت تعادل حرارتی}}$ را می توان با نسبت $\frac{W\downarrow + W\uparrow}{W\downarrow - W\uparrow} =$

$\frac{\text{مجموع احتمال انتقالات}}{\text{اختلاف احتمال انتقالات}}$ برابر دانست.

$$\frac{N}{N_0} = \frac{W\downarrow + W\uparrow}{W\downarrow - W\uparrow} \Rightarrow n_0 = N(\frac{W\downarrow - W\uparrow}{W\downarrow + W\uparrow})$$

در حالت تعادل حرارتی داریم

$$\frac{dN_+}{dt} = 0$$

$$\frac{dN_+}{dt} = N - W\downarrow - N + W\uparrow \approx 0 \Rightarrow N - W\downarrow \approx N + W\uparrow$$

$$\Rightarrow \frac{N_+}{N_-} \approx \frac{W\downarrow}{W\uparrow} \ \& \ \frac{N_+}{N_-} = E^{\frac{\Delta E}{RT}} \neq 1 \Rightarrow \frac{W\downarrow}{W\uparrow} \neq 1$$

و این برای زمانی است که اسپینها در رابطه با شبکه اطرافشان مورد بررسی قرار می‌گیرند از اینجا n_0 اختلاف تعداد اسپینها در حالت تعادل حرارتی بین شبکه اسپینی و میدان مغناطیسی خارجی است، بطوریکه در این حالت تفاوت مقادیر انرژی گرمایی ناشی از دمای شبکه اسپینی و انرژی پتانسیل مغناطیسی ناشی از میدان آنچنان کم باشد که تعداد انتقالات از بالابه پایین و از پایین به بالا دارای تفاوت اندکی بوده که در نتیجه آن تعداد اسپینهای تراز پائین نی اندکی (3ppm) از تعداد اسپینهای تراز بالا بیشتر باشند در این صورت گفته می شود که ماکزیمم مغناطیسی شدن حاصل می شود. مشخصه زمانی برای نزدیک شدن به این تعادل احرارتی که متعاقب آن ماکزیمم مغناطیسی شدن بدست می آید زمان T_1 نام دارد. که برابر عکس مجموع احتمال انتقالات در واحد زمان $T_1 = \frac{1}{W\downarrow + W\uparrow}$ است.

بهمین خاطر T_1 را زمان استراحت یا Relaxation Time و بطور دقیقتر زمان استراحت اسپین- شبکه Spin-Lattic Relaxation Time نامیده اند. لازم به ذکر است که در T_1، مقدار e^{-1} یا 0.63 ماکزیمم مغناطیسی شدن

$$\frac{dn}{dt} = \frac{x_0 - x}{T_1} \qquad \frac{dn}{x_0 - x} = \frac{dt}{T_1}$$

$$\int_0^n \frac{dn}{x_0 - x} = \int_0^t \frac{dt}{T_1}$$

$$-\ell n(n_0 - n)\Big|_0^n = \frac{t}{T_1}$$

$$-\ell n(n_0 - n) + \ell n\, n_0 = \frac{t}{T_1}$$

$$\ell n(n_0 - n) - \ell n\, n_0 = \frac{-t}{T_1}$$

$$\ell n \frac{(n_0 - n)}{n_0} = \frac{-t}{T_1} \qquad \frac{n_0 - n}{n_0} = e^{\frac{-t}{T_1}}$$

$$n_0 - n = n_0 e^{\frac{-t}{T_1}} \qquad n = n_0(1 - e^{\frac{-t}{T_1}})$$

$n(t)$ اختلاف تعداد در هر لحظه از زمان t است.

n_0 اختلاف تعداددر حالت تعادل حرارتی (بین شبکه اسپینی و میدان مغناطیسی خارجی است) T_1 مشخصه زمانی نزدیک شدن به حالت تعادل حرارتی است که Spin-Lattice Relaxation نام دارد.

بنابراین پروسه مغناطیسی شدن برای یک نمونه غیر مغناطیس بصورت افزایش نمایی مطابق با معادله بالا صورت میگیرد.

همچنین $n(t)$ بطور نمایی با خصوصیت زمانی T_1 زمان استراحت اسپین شبکه به مقدار در حالت تعادل خود یعنی n_0 نزدیک می شود و مقدار آن در زمان T_1 برابر است با:

$$n\,(T_1) = 0.63 n_0$$

اگر ساختار کلی سیستم را در نظر بگیریم خواهیم داشت

Rf Fiold	Spin System	Lattice

مشاهده شد که پروسه مغناطیسی شدن یک غیر مغناطیس مستلزم این است که تعداد خالصی از اسپینها از سطح بالای انرژی به سطح پائین انرژی منتقل شوند، در این پروسه اسپینها بصورت انتقال حرارت انرژی از دست می دهند و لذا باید سیستم دیگری وجود داشته باشد که انرژی را دریافت کند که این سیستم همان شبکه اطراف اسپینها است. اگر سوال کنیم که بالاخره اختلاف تعداد چقدر خواهد بود، جواب بستگی به توانایی سیستم (شبکه) دریافت کننده انرژی دارد.

از نقطه نظر ترمودینامیکی انتقال حرارت تا زمانی اتفاق می افتد که تعداد نسبی $\frac{N_-}{N_+}$ که مطابق با رابطه نوتزمن یعنی $e^{-\frac{\Delta E}{RT}}$ مشخص کننده انرژی و در نتیجه حرارت سیستم اسپینی است متناظر انرژی و درجه حرارت سیستم و یا منبع دریافت کننده انرژی گردد.

به عبارت دیگر اختلاف تعدد تا حدی خواهد بود که دمای سیستم اسپینی و شبکه اطراف آنرا بهم نزدیک کند تا به حالت تعادل برسند و لذا تعادل نهایی در تعداد با نمادهای N_-^0, N_+^0 و نسبت آنها بصورت زیر خواهد بود:

$$\frac{N_+^0}{N_-^0} = e^{\frac{\Delta E}{RT}} = e^{\frac{\gamma h B_0}{RT}}$$

در این حالت داریم:

$$\frac{dN_+}{dt} \approx 0 \quad \Rightarrow \frac{dN_+}{dt} = N - W\downarrow - N + W\uparrow \approx 0$$

$$\frac{N_+}{N_-} = \frac{W\downarrow}{W\uparrow} = e^{-\frac{\Delta E}{RT}} \neq 1 \quad \Rightarrow \frac{W\downarrow}{W\uparrow} \neq 1$$

از اینجا زمانیکه سیستم اسپینی و شبکه در ارتباط با یکدیگر قرار می گیرند احتمال انتقالات از بالا به پائین و بالعکس نمی توانند مساوی باشند چرا که چنین فرضیه‌ای هیچ ارجعیتی برای انتقال از بالا به پائین برای مغناطیس شدن فراهم نمی آورد در حقیقت در این حالت داریم.

اما در انتقال انرژی بوسیله میدان rf جهت تشدید مغناطیسی اسپینها زمانیکه سیستم اسپینی و میدان rf مد نظر قرار می گیرند در اینصورت انتقال انرژی در اثر تحریک میدان rf یکسان است چرا که بعضی با گرفتن انرژی به سطح بالا رفته و برخی دیگر نیز در اثر تحریک با پس دادن انرژی به سطح پائین می روند و لذا احتمال انتقالات در اثر تحریک rf یکسان است یعنی

$$W\uparrow = W\downarrow = W$$

این یک پدیده آماری است که بستگی به تعداد ذرات در دو سطح انرژی و حالات سیستم دارد مثلاً اگر تعداد ذرات در سطح بالای انرژی زیاد باشد آنگاه سیستم دیگر انرژی نمی پذیرد و انرژی اخذ شده را پس می دهد و یا بیشتر از آنکه انرژی دریافت کند انرژی پس می دهد که نمونه های آن در نیروها

masers (microwave amplification bystimulated emission of radiation) or lasers for light amplification…

لذا در این صورت خواهیم داشت:

$$W\uparrow = W\downarrow = W \qquad \frac{dN_+}{dt} = N - W\downarrow - N + W\uparrow$$

$$\frac{dN_+}{dt} = W(N_- N_+)$$

$$N = N_+ + N_- \qquad N_+ = \frac{1}{2}(N+n) \quad \& \quad \frac{dN_+}{dt} = \frac{dn}{2dt}$$

$$n = N_+ - N_- \qquad N_- = \frac{1}{2}(N-n)$$

$$\frac{dn}{2dt} = W[\frac{1}{2}(N-n) - \frac{1}{2}(N+n)]$$

$$\frac{Dn}{dt} = W(-n) \quad \Rightarrow \frac{dn}{dt} = -2Wn \quad \frac{dn}{n} = -2Wdt$$

t=t

$$\int_{n_0 \atop t=0}^{n(t)} \frac{dn}{n} = \int_0^t -2Wdt \qquad \ell n\, n |_{n_0}^{n(t)} = -2Wt$$

$$\ell n\, n(t) - \ell n\, n_0 = -2Wt \quad \ell n \frac{n(t)}{n_0} = -2Wt$$

$$n(t) = n_0 e^{-2Wt} = n_0 e^{-\frac{t}{T_2}} \qquad W = \frac{1}{T_2}$$

n_0 اختلاف تعداد در زمان t=0

$n(t)$ اختلاف تعداد در زمان t است و رابطه $n(t)$ نشان می دهد که اثر در زمان t یک اختلاف تعداد وجود داشته باشد نهایتاً این اختلاف تعداد در اثر انتقال بین سطوح از بین می رود و سیستم به حالت تعادل می رسد. مشخصه زمانی رسیدن به چنین تعادلی را زمان استراحت T_2 و یا زمان استراحت اسپین– اسپین نامیده اند.

T_2 Relaxution Time Spin-Spin Relaxation Time

Filename: Document1
Directory:
Template: C:\Documents and Settings\hadi tahaghoghi\Application Data\Microsoft\Templates\Normal.dotm
Title: [illegible]
Subject:
Author: azarang
Keywords:
Comments:
Creation Date: 3/28/2012 5:30:00 PM
Change Number: 1
Last Saved On:
Last Saved By: hadi tahaghoghi
Total Editing Time: 0 Minutes
Last Printed On: 3/28/2012 5:30:00 PM
As of Last Complete Printing
Number of Pages: 14
Number of Words: 1,700 (approx.)
Number of Characters: 9,696 (approx.)