

i Informasjon Eksamen TFY4310 Molekylær biofysikk 24 mai 2025

Institutt for Fysikk

Eksamensoppgave i TFY4310 Molekylær biofysikk

Dato: 24 mai 2025

Tid: 09:00 - 13:00

Faglig kontakt: Bjørn Torger Stokke; **Tlf.:** 924 920 27

Møter i eksamenslokalet: Ja, Planlegges fra ca kl. 11:00 (møter kun 1 gang)

Hjelpemiddelkode/Tillatte hjelpemidler:

Hjelpemiddelkode:C:

Bestemt, enkel kalkulator tillatt.

Følgende trykte hjelpemidler er tillatt:

Angell & Lian: "Fysiske størrelser og enheter" or "tabeller og formler i fysikk, Fysikk 1 og Fysikk 2 (Gyldendal)

Karl Rottmann: Matematisk formelsamling / Mathematische Formelsammlung

Formler og data spesifikt for TFY4310 Molekylær Biofysikk eksamen mai 2025

ANNEN INFORMASJON:

Formler og data spesifikt for TFY4310 Molekylær Biofysikk er tilgjengelig også under «ressurser» i Inspira oppgaven

Les oppgavene nøye og gjør dine egne antagelser. Presiser i besvarelsen hvilke forutsetninger du har lagt til grunn i tolkning/avgrensing av oppgaven.

Dersom det er direkte feil eller mangler i oppgavesettet og du ikke kan gjøre dine egne antagelser, vises det til informasjon om klage på formelle feil på NTNU sin nettside om «Begrunnelse og klage»

FAGSPESIFIKK INFORMASJON

Papirhåndtegninger:

I oppgave **[11-15]** er det lagt opp til å besvare på ark eller i Inspira. Andre oppgaver skal besvares direkte i Inspira. Nederst i oppgaven finner du en sjusifret kode. Fyll inn denne koden øverst til venstre på arkene du ønsker å levere.

Det anbefales å gjøre dette underveis i eksamen. Dersom du behøver tilgang til kodene etter at eksamenstiden har utløpt, må du klikke «Vis besvarelse».

Du er selv ansvarlig for å fylle inn riktige koder på eventuelle håndtegningsark. Les derfor informasjonen på omslagsarket nøye. Eksamenskontoret kan ikke garantere at feilaktig utfylte ark blir lagt til besvarelsen din.

Vekting av oppgavene: Ved vurdering vektes oppgavene som angitt

Trekk fra/avbrutt eksamen:

Dersom du ønsker å levere blankt/avbryte eksamen, gå til "hamburgermenyen" i øvre høyre hjørne og velg «Lever blankt». Dette kan ikke angres selv om prøven fremdeles er åpen.

Tilgang til besvarelse:

Etter eksamen finner du besvarelsen din under tidligere prøver i Inspira. Merk at det kan ta én virkedag før eventuelle håndtegninger vil være tilgjengelige under «tidligere prøver».

1 1 TFY4310 2025 05

Hvilken av utsagnene under er ikke riktig mht hybridisering av atomære orbital?

Velg ett alternativ:

- ☐ reduserer elektrostatisk frastøtning mellom elektroner
- ☐ gir alltid tre orbitaler i et plan
- ☐ kan ses på som lineærkombinasjoner av de orbitalene som inngår i hybridiseringen
- ☐ Resulterer i molekyler med lavere (mer negativt) potensiell energi

Maks poeng: 2.5

2 2 TFY4310 2025 05

Økning av salt konsentrasjonen i en vandig løsning fører til

Velg ett alternativ:

- ☐ minking av Bjerrumslengden
- ☐ svekkelse av elektrostatiske vekselvirkninger
- ☐ styrking av elektrostatisk frastøtning
- ☐ Debye-skjermingslengden blir større

Maks poeng: 2.5

3 3 TFY4310 2025 05

Hvilket av følgende utsagn er ikke korrekt når det gjelder Poisson-Boltzmann (PB) likningen?

Velg ett alternativ:

- ☐ Konsentrasjonsprofilen til ioner i løsning i kontakt med en overflate med høy ladningstetthet beskrives av den lineariserte PB likningen
- ☐ Løsninger med ioner behandles som et kontinuum i PB likningen
- ☐ Det inngår flere type ioner i PB likningen
- ☐ Temperatur er en parameter som inngår i PB likningen

Maks poeng: 2.5

4 4 TFY4310 2025 05

Hvilket utsagn er korrekt mht vann/vannmolekyler?

Velg ett alternativ:

- ☐ Alle hydrogenbindinger mellom vannmolekyler i fast fase (is) brytes ved overgang til væske
- ☐ Det dannes færre hydrogenbindinger og det er flere nærmeste nabomolekyl i væsketilstand i forhold til i is.
- ☐ Som de fleste andre stoffer er tettheten til vann i fast fase større enn for væsketilstanden
- ☐ Det er flere hydrogenbindinger pr vannmolekyl i væsketilstand enn i is

Maks poeng: 2.5

5 5 TFY4310 2025 05

Hvilket av følgende utsagn er korrekt når det gjelder surfaktanter (amfifile) molekyler?

Velg ett alternativ:

- ☐ Amfifile molekyler danner aggregater i vandig løsning fordi det reduserer blandeentropien til de amfifile molekylene
- ☐ Amfifile molekyler danner aggregater i vandig løsning fordi det reduserer kontakt mellom hydrokarbonkjeder og vann
- ☐ Amfifile molekyler danner aggregater i vandig løsning på grunn av den høye permittiviteten til vann i forhold til vakuum
- ☐ Amfifile molekyler danner aggregater i vandig løsning på grunn av van-der Waals tiltrekning mellom hydrokarbonkjeder

Maks poeng: 2.5

6 6 TFY4310 2025 05

Hvilket utsagn under er ikke korrekt når det gjelder kritisk pakkeparameter?

Velg ett alternativ:

- ☐ Kritisk pakkeparameter er større for amfifilt molekyll med to ikke-polare hydrokarbon haler i forhold til ett med en hale
- ☐ Kritisk pakkeparameter er knyttet til geometri til amfifile molekyler når det inngår i en struktur
- ☐ Kritisk pakkeparameter beskriver overgangen fra fortynnet til "semi-fortynnet" polymerløsning
- ☐ Kritisk pakkeparameter brukes ikke for å beskrive fluid karakter av molekulære aggregater

Maks poeng: 2.5

7 7 TFY4310 2025 05

Hvilken av følgende setninger er ikke riktig?

Velg ett alternativ:

- ☐ For best å beskrive det elastiske bidraget til den frie energien til polymergel-svelling må et ledd som beskriver volumvariasjon inkluderes i SMT for gummielastisitet.
- ☐ Blandingsbidraget til den frie energien til polymergel-svelling er kun gyldig for ideelle kjeder
- ☐ Den statistiske mekaniske teorien (SMT) for gummielastisitet antar at gelnettverket ikke har noen defekter.
- ☐ Når et gummibånd, strukket ved påvirkning av en vekt, varmes opp, reduseres forlengelsen av båndet

Maks poeng: 2.5

8 8 TFY4310 2025 05

En hydrogel hvor polymernettverk består av uladete polymerer sveller mindre i en i vandig løsning enn hydrogel med nettverk av ladede polymerer fordi:

Velg ett alternativ:

- ☐ polyelektrolytter er mer fleksible enn nøytrale polymerer
- ☐ Osmotisk trykk på grunn av forskjeller i ionekonsentrasjon innenfor og utenfor gelen er ikke tilstede i uladet gel
- ☐ vann er et dårligere løsningsmiddel for uladet polymerer
- ☐ uladet polymergel har høyere kryssbindingstetthet

Maks poeng: 2.5

9 9 TFY4310 2025 05

Hvilket av følgende utsagn er riktig når molekylær modellering gjennomføres med periodiske grensebetingelser?

Velg ett alternativ:

- ☐ Steglengden til mulig ny tilstand er begrenset til lengden på den periodiske boksen
- ☐ Vekselvirkning for en gitt partikkel til en annen er begrenset til de som befinner seg innenfor halvparten av lengden til den periodiske boksen
- ☐ Hver partikkel vekselvirker bare med partikler innenfor samme boks
- ☐ Antall molekyler som befinner seg på grenseflaten mellom boksene er invers proporsjonal med kvadratroten av bokslengden

Maks poeng: 2.5

10 10 TFY4310 2025 05

Hvilken av påstandene under mht Metropolis sampling som benyttes i molekylær modellering er korrekt?

Velg ett alternativ:

- ☐ Inkluderer ikke bruk av tilfeldig tall
- ☐ En overgang til en tilstand med høyere potensiell energi er ikke alltid forbudt.
- ☐ Metoden brukes for aksellerert molekylær dynamikk
- ☐ Kan ikke realiseres med periodiske grensebetingelser

Maks poeng: 2.5

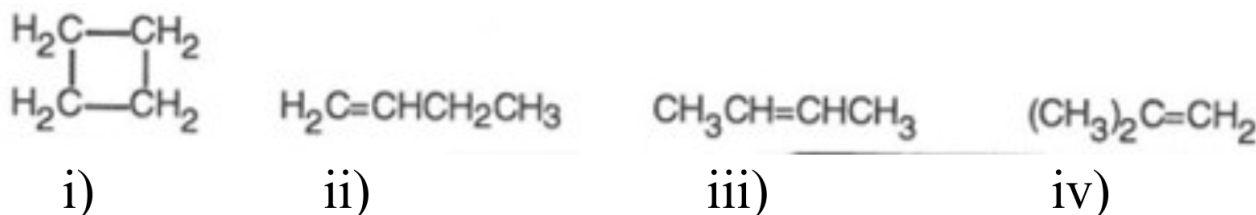
11 TFY4310 2025 05

a) Jablonski diagrammet er en grafisk fremstilling som brukes til å illustrere eksitasjon- og de-eksitasjons (relaksasjons) prosesser når en gjør rede for fluorescence.

Lag en skisse av et Jablonski diagram som inkluderer relevante energinivåer, illustrerer eksitasjon og de-eksitasjonsprosesser knyttet til fluorescens og beskriv dem. Beskriv antakelsen som ligger til grunn når absorpsjon vises som en vertikal linje i et diagram som også tar hensyn til avstand mellom kjernene. Hvorfor er fluorescence emisjon nesten uavhengig av eksitasjon?

b) Infra-rød spektroskopi og Raman spredning beskrives som karakteriseringsteknikker som gir komplementær informasjon om prøven som karakteriseres. Hva er grunnlaget for utsagnet at disse to teknikkene gir komplementær informasjon?

c) For prøver med kjemisk sammensetning C_4H_8 finnes det ulike strukturer (i, ii, iii og iv) som vist i figur 1.



Figur 1. Ulike strukturer av C_4H_8

Analyser disse strukturene med hensyn til antall absorpsjonstopper du forventer å kunne observere ved de rene formene av disse 4 strukturene ved 1H NMR og ^{13}C NMR.

Skriv ditt svar her eller på eget ark som leveres

Maks poeng: 18

Format

B *I* U x₂ x² I_x [Icon] [Icon] ↶ ↷ ↺ | ¶ ⋮ ≡ ≡ |

≡ ≡ ≡ ≡ | Ω [Table Icon] [Pencil Icon] Σ | ✖

Words: 0

Maks poeng: 11

$$\langle r^2 \rangle = 4 D_T t$$

Makromolekyl	D _T
RNAse	11.2 x 10 ⁻⁷ cm ² /s
Fibrinogen	1.98 x 10 ⁻⁷ cm ² /s
DNA	0.4 x 10 ⁻⁷ cm ² /s

$$\langle r^2 \rangle = \frac{d^2}{3} \left(1 - \exp \left(-\frac{12D_{\text{T}} t}{d^2} \right) \right)$$

τ (μ s)	5	10	40	100	200
$g^{(2)}$	1.947	1.896	1.646	1.335	1.111

Format

B*I* x₂x²I_x↶↷🔄

Words: 0

Maks poeng: 18

14 14 TFY4310 2025 05

Et antistoff med en molekylvekt på 150 kg/mol endrer sin geometri når liganden (antigen, molekylvekt 250 g/mol) binder seg til dette. Denne endringen i geometri kan karakteriseres ved analytisk ultrasentrifugering (AUC). Antistoff uten bundet ligand er karakterisert i vann ved 20 grader Celcius med AUC, og det er funnet en sedimentasjonskoeffisient på 6.4 S ($1\text{S} = 10^{-13}\text{ s}$). Det partielle spesifikke volumet til antistoffet er $0.689\text{ cm}^3/\text{g}$.

- a) Beregn den hydrodynamiske radius til antistoffet. Anta at det er kuleformet ved denne beregningen.
- b) Når liganden binder seg til antistoffet er det observert en økning av sedimentasjonskoeffisienten med 5%. Beregn den hydrodynamiske radius til antistoff med bundet ligand. Anta at det partielle spesifikke volumet er uendret ved binding av antigenet til antistoffet.

Skriv svaret her eller på eget ark som leveres

Format

B *I* U $\times_2$ $\times^2$ $\frac{\square}{\square}$ $\sqrt{\square}$

Words: 0

Maks poeng: 10

15 15 TFY4310 2025 05

a) Tegn en skjematisk skisse og gjør kort rede for oppbygging til et instrument for karakterisering av biologiske makromolekyler i løsning ved statistisk lysspredning. Som en del av dette, definer spredningsvektor.

b) Zimm plot er en grafisk fremstilling av data oppnådd ved statistisk lysspredning for karakterisering av biologiske makromolekyler i løsning. Lag en skisse av lysspredningsdata presentert som et Zimm plot og beskriv hvordan data slik det er presentert der brukes for å bestemme parameterverdier til det karakteriserte makromolekylet. Inkluder likningene som ligger til grunn for analysen.

c) Presenter karakterisering av et biologisk molekyl ved hjelp av lav-vinkel spredning, og sammenlikn denne metoden med lysspredning analysert ved hjelp av et Zimm plot.

Skriv ditt svar her, eller på eget ark som leveres

Format

B *I* U x_2 x^2 I_x

Words: 0

Maks poeng: 18

List of constants and formulas**Exam TFY4310 Molecular Biophysics 24 May 2025**

Define symbols you are using. Be aware of units.

Elementary charge: $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$

Avogadro constant: $N_{\text{Av}} = 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Boltzmann constant: $k_{\text{B}} = 1.381 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$

Permittivity in vacuum: $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ C V}^{-1} \text{ m}^{-1}$

Dielectric constants: $\epsilon(\text{air}) = 1.0$; $\epsilon(\text{ethanol}) = 25.3$

Properties of water at 20 °C: $\epsilon = 78.4$; $\eta = 1.0 \times 10^{-3} \text{ kg m}^{-1}\text{s}^{-1}$; $n = 1.333$;
 $\rho = 1.0 \text{ g/cm}^3$; $\bar{V}_{\text{w}}^{(S)} = 1.0 \text{ cm}^3/\text{g}$; $M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ g mol}^{-1}$

Temperature: $[\text{K}] = [^\circ\text{C}] + 273.15$

Atomic orbitals: H: $1s^1$; C: $1s^2 2s^2 2p_x^1 2p_y^1$; N: $1s^2 2s^2 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$; O: $1s^2 2s^2 2p_x^2 2p_y^1 2p_z^1$

Atomic weights: $A_r(\text{H}) = 1.0$; $A_r(\text{C}) = 12.0$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad S = k_{\text{B}} \ln W$$

$$\mu_1 - \mu_1^0 = N_{\text{Av}} \left(\frac{\partial \Delta G}{\partial n_1} \right)_{T,P} \quad \Pi = \frac{\mu_1 - \mu_1^0}{V_1^{(M)}}$$

$$V(r) = \frac{z_1 z_2 e^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon r} \quad V(r) = \frac{z_1 z_2 e^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon r} \exp(-\kappa r) \quad V(r, \theta) = -\frac{(ze)u \cos \theta}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}$$

$$V(r, \theta_1, \theta_2, \phi) = -\frac{u_1 u_2}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^3} [2 \cos \theta_1 \cos \theta_2 - \sin \theta_1 \sin \theta_2 \cos \phi]$$

$$V(r) = -\frac{(ze)^2 u^2}{6(4\pi\epsilon_0\epsilon)^2 k_{\text{B}} T r^4} \quad \text{for} \quad k_{\text{B}} T > \frac{Qu}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}$$

$$V(r) = -\frac{u_1^2 u_2^2}{3(4\pi\epsilon_0\epsilon)^2 k_{\text{B}} T r^6} \quad \text{for} \quad k_{\text{B}} T > \frac{u_1 u_2}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^3}$$

$$\lambda_D = \frac{1}{\kappa} = \left(\frac{\epsilon_0 \epsilon k_{\text{B}} T}{2e^2 I N_{\text{Av}} \cdot 1000} \right)^{1/2} ; \quad I = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N z_i^2 c_{\infty i}$$

$$u = ql = zel$$

$$\text{CPP} = v/a_0 l_c$$

$$l_c \leq l_{\text{max}} \approx (0.154 + 0.1265n) \quad [\text{nm}]$$

$$v \approx (27.4 + 26.9n) \times 10^{-3} \quad [\mathrm{nm}^3]$$

$$\left\langle R_{\mathrm{ee}}^2\right\rangle = C Q^2 n$$

$$C=1\;;\;C=\frac{1-\cos\theta}{1+\cos\theta}\;;\;C=\frac{1-\cos\theta}{1+\cos\theta}\cdot\frac{1+\langle\cos\phi\rangle}{1-\langle\cos\phi\rangle}$$

$$\left\langle R_{\mathrm{ee}}^2\right\rangle_0=C_\infty Q^2 n$$

$$\left\langle R_{\mathrm{ee}}^2\right\rangle^{1/2}\sim Qn^\alpha\;;\;\alpha=1/2\;;\;\alpha=3/5$$

$$\left\langle R_{\mathrm{ee}}^2\right\rangle =6\left\langle R_G^2\right\rangle$$

$$C^\star=\frac{3N_p}{4\pi N_{\mathrm{Av}}}\frac{1}{R_G^3}$$

$$\langle M \rangle_n = \frac{\sum_i N_i M_i}{\sum_i N_i}$$

$$\langle M \rangle_w = \frac{\sum_i N_i M_i^2}{\sum_i N_i M_i}$$

$$S=C-k_B\frac{3R_{\mathrm{ee}}^2}{2\left\langle R_{\mathrm{ee}}^2\right\rangle_0}$$

$$\frac{\Delta G_{\mathrm{mix}}}{N}=B\,x_1\,x_2\,+\,R\,T\,\left(x_1\,\ln\,x_1\,+\,x_2\,\ln\,x_2\right)$$

$$\frac{\Delta G_{\mathrm{mix}}}{N}\,=\,R\,T\,\Big(v_1\,\ln\,v_1\,+\,\frac{v_2}{x}\,\ln\,v_2\,+\,\chi\,v_1\,v_2\Big)$$

$$W_2=\left(\frac{Z-1}{n}\right)^{n_2(x-1)}\frac{n!}{(n-n_2\,x)!\,n_2!}$$

$$v_{1,c}=\frac{\sqrt{x}}{1+\sqrt{x}}\qquad\Rightarrow\qquad v_{2,c}=\frac{1}{1+\sqrt{x}}$$

$$T_c\sim \frac{1}{R\chi_c}$$

$$\chi_c=\chi_s(v_1=v_{1,c})=\frac{1}{2}+\frac{1}{2x}+\frac{1}{\sqrt{x}}$$

$$\Delta G = k_{\mathrm{B}}T\left[(n_1\ln v_1 + \chi n_1v_2) + \tfrac{3}{2}n(v_2^{-2/3} - 1 + \tfrac{1}{3}\ln v_2)\right]$$

$$q_m \cong \left[\frac{V_0}{n} \frac{1/2-\chi}{V_1^{(\mathrm{M})}} \right]^{3/5}$$

$$\Pi_{\mathrm{tot}}=-RT\left[\frac{1}{V_1^{(\mathrm{M})}}(\ln(1-v_2)+v_2+\chi v_2^2)+(n/V_0)(v_2^{1/3}-v_2/2)-\Delta C\right]$$

$$\Delta C = \sum_i (c_{i,\mathrm{n}} - c_{i,\mathrm{l}})$$

$$E=h\nu=\frac{hc}{\lambda}=hc\tilde{\nu}$$

$$\frac{n_{\rm A}}{n_{\rm B}}=\exp\left[-\frac{\Delta E_{\rm AB}}{k_{\rm B}T}\right]$$

$$A(\lambda)=\varepsilon(\lambda)cl$$

$$\boldsymbol{\mu}_{\mathbf{10}} = \sum_i \left(\frac{\partial \hat{\boldsymbol{\mu}}}{\partial q_i} \right)_{q_i=0} \int N_1^{\star} q_i N_0 \, \mathrm{d} \tau_{\mathbf{n}}$$

$$P=\alpha_0E_0\cos2\pi\nu_0t+\frac{1}{2}\left(\frac{\partial\alpha}{\partial q_i}\right)_0q_{i0}\left[\cos(2\pi(\nu_0+\nu_m)t)+\cos(2\pi(\nu_0-\nu_m)t)\right]$$

$$\boldsymbol{m}=\gamma\boldsymbol{L},\qquad (\boldsymbol{m})^2=\gamma^2\hbar^2\ell(\ell+1),\qquad m_z=m_\ell\,\gamma\,\hbar$$

¹ H		² H	¹³ C	¹⁴ N	¹⁹ F	³¹ P	
$\gamma\left(10^7\frac{\text{rad/s}}{\text{T}}\right)$		26.753	4.107	6.728	1.934	25.179	10.840

$$\omega=\frac{\gamma}{2\pi}B_0$$

$$\beta=\omega_1\,\tau_{\rm rf}$$

$$B_{\rm local}=B_0(1-\sigma)$$

$$\boldsymbol{F}=-f\boldsymbol{v},\qquad \boldsymbol{M}=-\xi\boldsymbol{\omega}$$

$$f=6\pi\eta R_h,\qquad \xi=8\pi\eta R_h^3$$

$$v_{\rm h,1}=\left(\overline{V}_1^{(S)}+\delta\overline{V}_0^{(S)}\right)\frac{M_1}{N_{\rm Av}}$$

$$V_{h,1}^{(S)}=\overline{V}_1^{(S)}+\delta\overline{V}_0^{(S)}$$

$$V_1^{(S)}=v_1\left(\frac{N_{\rm Av}}{M_1}\right)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t}=-\boldsymbol{\nabla}\cdot\boldsymbol{J},\qquad \boldsymbol{J}\;=-D_{\rm T}\boldsymbol{\nabla}c,\qquad \frac{\partial c}{\partial t}=D_{\rm T}\frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

$$fD_{\rm T}=k_{\rm B}T,\qquad \xi D_{\rm R}=k_{\rm B}T$$

$$\langle x^2 \rangle^{1/2} = \sqrt{2D_{\rm T}t} \quad \langle r^2 \rangle^{1/2} = \sqrt{6D_{\rm T}t}$$

$$s=\frac{u}{\omega^2r}\,;\quad s=\frac{\ln\left(c_0/c_{\rm p}(t)\right)}{2\omega^2t}\,;\quad s=\frac{\ln\left(r_2/r_1\right)}{\omega^2(t_2-t_1)}$$

$$\frac{\partial c(r,t)}{\partial t} = D_{\text{T}} \left(\frac{\partial^2 c(r,t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial c(r,t)}{\partial r} \right) - s\omega^2 \left(r \frac{\partial c(r,t)}{\partial r} + 2c(r,t) \right)$$

$$s = \left(1 - \overline{V}_1^{(S)} \rho \right) \frac{M_1}{N_{\text{Av}} f}$$

$$m_1(r) = m_1(r_{\text{m}}) \exp \left\{ \frac{M_1(1 - \overline{V}_1^{(S)} \rho) \omega^2 (r^2 - r_{\text{m}}^2)}{2RT} \right\}$$

$$\langle I_{\text{S}}(q) \rangle = \frac{E_0^2}{R^2} \left\langle \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N b_j(\boldsymbol{q}) b_k^*(\boldsymbol{q}) \exp[-i\boldsymbol{q} \cdot (\boldsymbol{R}_j - \boldsymbol{R}_k)] \right\rangle$$

$$b_j(\boldsymbol{q}) = \int_{V_j} \Delta \rho(\boldsymbol{r}) \exp(-i\boldsymbol{q} \cdot \boldsymbol{r}_j) d\boldsymbol{r}_j^3$$

$$q = \frac{4\pi}{\lambda} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right), \quad \lambda = \frac{\lambda_0}{n_0}, \quad d = \frac{2\pi}{q}$$

$$\langle I_s(q) \rangle = N b^2(0) P(q) S(q)$$

$$I_s(q) = I_0 \exp\left(-\frac{1}{3} q^2 R_G^2\right)$$

$$\frac{\langle I_{\text{S}}(q) \rangle}{I_0} R^2 = c M \kappa,$$

$$\frac{\kappa c}{R_\theta} = \frac{1}{M} \left[1 + \frac{16\pi^2}{3\lambda^2} R_{\text{G}}^2 \sin^2 \frac{\theta}{2} \right] \cdot [1 + 2B_2 c],$$

For a detector placed in the xy -plane:

Polarization of the incoming light	Rayleigh ratio	Optical constant
x -direction	$R_\theta = \frac{\langle I_{\text{S}}(q) \rangle}{I_0 \cos^2 \theta} R^2$	$\kappa = \frac{1}{N_{\text{Av}}} \frac{4\pi^2 n_0^2}{\lambda_0^4} \left(\frac{dn_0}{dc} \right)^2$
z -direction	$R_\theta = \frac{\langle I_{\text{S}}(q) \rangle}{I_0} R^2$	$\kappa = \frac{1}{N_{\text{Av}}} \frac{4\pi^2 n_0^2}{\lambda_0^4} \left(\frac{dn_0}{dc} \right)^2$
unpolarized	$R_\theta = \frac{\langle I_{\text{S}}(q) \rangle}{I_0 (1 + \cos^2 \theta)} R^2$	$\kappa = \frac{1}{N_{\text{Av}}} \frac{2\pi^2 n_0^2}{\lambda_0^4} \left(\frac{dn_0}{dc} \right)^2$

$$g^{(2)}(q,\tau) = 1 + [g^{(1)}(q,\tau)]^2$$

$$g^{(1)}(q,\tau) = \exp(-q^2 D_T \tau)$$