Modul Biophysik – SS 2020
Teilklausur „Biophysikalische Grundlagen der Zellphysiologie“

am 20.07.2020

Name:..... Matrikel-Nr.: ..... Semester: .....

Raumnummer:.....Platznummer:.....

Außer einem Taschenrechner und einem DIN A4 Blatt mit Formeln sind keine sonstigen Hilfsmittel erlaubt!

1. SIR Modell

Mit dem SIR-Modell kann die Ausbreitung von ansteckenden Krankheiten mit Immunitätsbildung beschrieben werden. Die Zunahme der infizierten Personen I mit der Zeit t wird dabei durch die folgende Differenzialgleichung beschrieben:

$$\frac{dI}{dt} = (rS - a) \cdot I$$

I bezeichnet die Anzahl der *infizierten* Personen, S die Anzahl der *infizierbaren* - also noch nicht infizierten - Personen, r die Infektionsrate und a die Genesungsrate.

a) Welche Einheit hat die Konstante $(rS - a)$ der Differentialgleichung? (1 Punkt)

$(rS - a)$ muss die Einheit 1 / Tage haben! Keine Einheiten im Exponenten!

b) Zeigen Sie durch Lösen der Differentialgleichung, dass die Anzahl I der infizierten Personen zu Beginn einer Pandemie exponentiell mit der Zeit t zunimmt. (3 Punkte)

Hinweis: Die Parameter r, S und a können zu Beginn einer Pandemie als konstant angenommen werden.

$$\int_{I_0}^{I} \frac{dI}{I} = (rS - a) \int_{0}^{t} dt$$

$$\ln \frac{I}{I_0} = (rS - a)t$$

$$I = I_0 e^{(rS-a)t}$$

Scanned with CamScanner

c) Nach welcher Zeit t hat sich die Anzahl der infizierten Personen I verdoppelt? (1 Punkt)

$$\ln\frac{2I_0}{I_0} = (rS-a)t_d$$

$$t_d = \frac{\ln 2}{(rS-a)}$$

2. Köhlern

Was versteht man in der Lichtmikroskopie unter dem Begriff „Köhlern"? Begründen Sie Ihre Antwort auf Grundlage geometrischer Optik. (2 Punkte)

3. Konzentrationsbestimmung

Sie wollen die Proteinkonzentration einer Proteinpräparation photometrisch bestimmen.

d) Skizzieren Sie den experimentellen Aufbau und beschreiben Sie die Formel, mit der die Bestimmung der Konzentration der Proteine möglich ist. (2 Punkte)

Lambert Beer'sches Gesetz: $A = OD = -\log(I/I_0) = \varepsilon \cdot c \cdot d$
Skizze Küvette I / I_0

e) Welcher Extinktions- bzw. Absorptionswert wird gemessen, wenn in einer Küvette 70 % der eingestrahlten Lichtintensität absorbiert wird? (2 Punkte)

$A = OD = -\log(I/I_0) = -\log((30)/100) = +0{,}5228$

f) Bei welcher Wellenlänge haben isolierte Proteine ein charakteristisches Absorptionsmaximum? (1 Punkt)

Protein 280 nm

Scanned with CamScanner

4. Fluoreszenz

a) Auf welchem physikalischen Prinzip beruht Fluoreszenz? Erklären Sie das Phänomen mit Hilfe eines Jablonski-Diagramms. (3 Punkte)

b) Das grüne Fluoreszenzprotein GFP wird mit Licht einer Wellenlänge von 488 nm angeregt. 5% der Anregungsenergie werden in Wärme umgewandelt. Berechnen Sie die Wellenlänge und Farbe des Fluoreszenzlichts. (3 Punkte)

Hinweis:

$h = 6{,}626 \times 10^{-34}$ J s $= 4{,}136 \times 10^{-15}$ eVs
$c = 2{,}998 \times 10^{8}$ m s^{-1}

$$E_{ex} = \frac{hc}{\lambda_{ex}}$$

$$E_{em} = \frac{hc}{\lambda_{em}}$$

$$E_{em} = 0.95 \times E_{ex} \rightarrow \frac{hc}{\lambda_{em}} = 0.95 \times \frac{hc}{\lambda_{ex}} \rightarrow \lambda_{em} = \frac{\lambda_{ex}}{0.95} = \frac{488nm}{0.95} = 513.7nm$$

c) Wie groß ist gemäß Teilaufgabe b) die Stokes-Verschiebung? (1 Punkt)

Scanned with CamScanner

$$\Delta\lambda = 25.7nm$$

5. Chromatische Aberration

Was versteht man in der Lichtmikroskopie unter dem Begriff der chromatischen Aberration? Erklären Sie den Begriff sowie dessen physikalische Ursache. (2 Punkte)

6. Zentrifugation

Sie zentrifugieren isolierte Ribosomen in einer Ultrazentrifuge mit 60000 Upm (Umdrehungen pro Minute) in einer wässrigen Pufferlösung mit einer Dichte von $1 g/cm^3$.

Berechnen Sie die *Zentrifugalbeschleunigung*, die auf die Ribosomen in einem Abstand von 5 cm von der Rotorachse wirkt. Geben Sie das Ergebnis in Vielfachen der Erdbeschleunigung $g = 9.81\ ms^{-2}$ an. (3 Punkte)

$$\frac{a}{g} = \frac{\omega^2 r}{g} = \frac{1}{g}\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r = \frac{1s^2}{9{,}81m}\left(\frac{2\pi}{60s/60000}\right)^2 \cdot 5\cdot 10^{-2} m = \frac{4\pi^2\, s^2\, 60\cdot 60\cdot 10^6 \cdot 5\cdot 10^{-3} m}{9{,}81\, m\cdot 60\cdot 60\ s^2} = 20{,}1\cdot 10^4$$

7. Sedimentation

Warum sedimentieren Proteine nicht in einer Zelle, isolierte Erythrozyten in wässriger Lösung jedoch schon? Begründen Sie Ihre Antwort qualitativ auf Grundlage physikalischer Gesetze! (3 Punkte)

$$\frac{p_h}{p_0} = e^{-m' gh/k_B T}$$

Nach Boltzmann kommt es auf das Verhältnis der potentiellen Energie eines Partikels (Proteine oder Erythrocyt) zur thermischen Energie $k_B T = 4 \times 10^{-21} J$ an. Ist dieses sehr groß, dann ist die Wahrscheinlichkeit p_h, dass sich das Partikel aufgrund thermischer Bewegung in der Höhe h befindet nahezu 0. Ist dieses klein und in der Größenordnung der thermischen Energie, dann ist die Wahrscheinlichkeit p_h, dass sich das Partikel aufgrund thermischer Bewegung in der Höhe h befindet nahezu 1/e also ca. 1/2.7 oder ca. 37%.

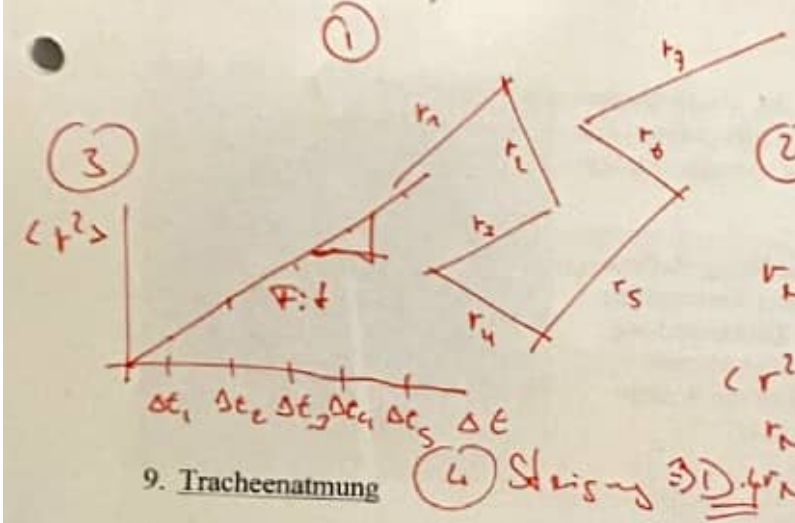
Scanned with CamScanner

8. Brown'sche Molekularbewegung

Die Einstein-Smoluchowski-Gleichung zur Beschreibung Brownscher Molekularbewegung besagt, dass der „mittlere quadratische Abstand" $\langle r^2 \rangle$ eines Partikels vom Ursprungsort linear mit der Zeit Δt zunimmt. Für Bewegung in zwei Raumrichtungen gilt:

$$\langle r^2 \rangle = 4 D \Delta t$$

Beschreiben Sie – auch mit Skizze - wie dieser Zusammenhang experimentell bestätigt werden kann. (4 Punkte)



9. Tracheenatmung

Bei Insekten diffundiert Sauerstoff durch kleine Kanäle (Tracheen) der Länge $l = 2mm$ und der Querschnittsfläche $A = 2 \cdot 10^{-9} m^2$ in das Innere. Die Diffusionskonstante für Sauerstoff beträgt $D = 10^{-5} \frac{m^2}{s}$.

Die Sauerstoffkonzentration in Luft beträgt $c_{Luft} = 10mM = 10 \frac{Mol}{m^3}$

Hinweis: $N_A = 6 \cdot 10^{23}$

a) Berechnen Sie die Diffusionsstromdichte unter der Annahme, die *Sauerstoffkonzentration sei im Inneren des Insekts halb so groß wie in Luft.* (3 Punkte)

$$j = D \frac{\Delta c}{l} = 10^{-5} \frac{m^2}{s} \cdot 5 \frac{Mol}{m^3} \cdot \frac{1}{2 \cdot 10^{-3} m} = 2.5 \cdot 10^{-2} \frac{Mol}{s \, m^2}$$

$$= \frac{1}{40} \frac{Mol}{s \cdot m^2}$$

Scanned with CamScanner

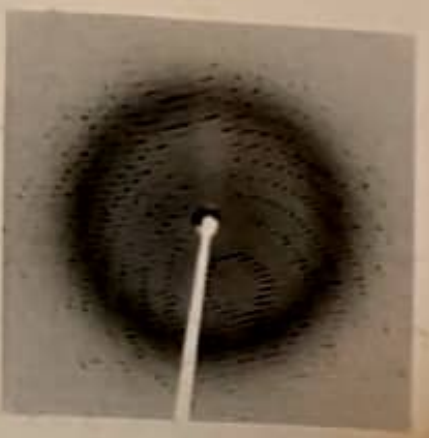
b) Wie viele Moleküle Sauerstoff diffundieren pro Sekunde durch eine Trachee? (2 Punkte)

$j = 2.5 \cdot 10^{-2} \frac{mol}{s \cdot m^2} \rightarrow \frac{dN}{dt} = j \cdot A = 2.5 \cdot 10^{-2} \frac{mol}{s m^2} \cdot 2 \cdot 10^{-9} m^2 \cdot 6 \cdot 10^{23}$

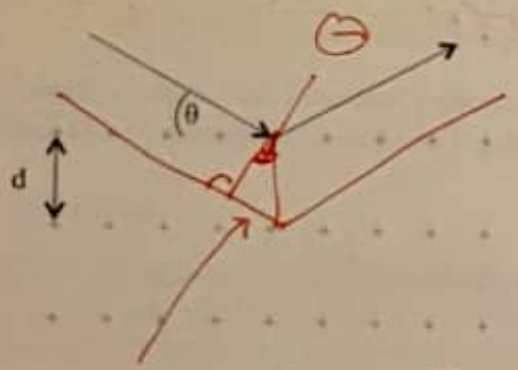
$= 30 \cdot 10^{12} \frac{Moleküle}{s}$

10. Röntgenbeugung

In der nebenstehenden Abbildung ist ein typisches Röntgenbeugungsbild eines Proteinkristalls gezeigt. Die im Beugungsbild gefundenen Reflexe werden „Bragg-Reflexe" bezeichnet.



a) Unter welchen Streuwinkeln θ sind Bragg-Reflexe zu beobachten? Entwickeln Sie unter Verwendung der unten stehenden Skizze einen Zusammenhang zwischen θ, d und λ. d bezeichnet den Abstand zweier Gitterebenen im Kristall; λ ist die Wellenlänge der Röntgenstrahlung. (4 Punkte)



$\Delta x = d \cdot \sin\Theta$

$2\Delta x = n \cdot \lambda$

$2 d \sin\Theta = n\lambda$, wobei $n = 1, 2, 3, \ldots$

$\sin\Theta = \frac{n\lambda}{2d}$

Scanned with CamScanner

Warum sieht man so viele konstruktive Beugungsreflexe im Beugungsbild eines Proteinkristalls? (1 Punkt)

Beugung an mehreren h,k,l-Gitterebenen möglich

Woran kann man erkennen, dass es sich bei dem oben dargestellten Röntgenkristallbild um das eines Proteinkristalls und nicht um das eines Salzkristalls handelt? (1 Punkt)

Salzkristall: d sehr klein (einige Å) ⇒ Θ groß
Proteinkristall: d groß (nm) ⇒ Θ klein ⇒ mehr Reflexe als im Salzkristall in gg. Raumwinkel.

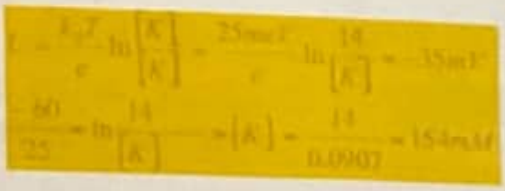
11. Membranpotential

Das Ruhemembranpotential einer tierischen Zelle ist in erster Näherung durch das Gleichgewichtspotential von K^+-Ionen bestimmt. In physiologischem Puffer mit 14 mM KCl wird ein Membranpotential von -60 mV gemessen.

a) Berechnen Sie die K^+-Ionenkonzentration im Cytoplasma der Zelle.
Hinweis: $k_B T = 25$ meV (2 Punkte)

$$L = \frac{k_B T}{e} \ln\frac{[K]}{[K]} = \frac{25\,meV}{e} \ln\frac{14}{[K]} = -35\,mV$$

$$\frac{-60}{25} = \ln\frac{14}{[K]} \Rightarrow [K] = \frac{14}{0.0907} = 154\,mM$$



b) In welche Richtung fließen die K^+-Ionen beim Gleichgewichtspotential von -60 mV? (1 Punkt)

Keine Richtung!
Gleichgewichtspotential!
siehe Herleitung von U! oder Goldm

Scanned with CamScanner

12. Ionenselektivität

Erklären Sie genau, warum typische Kaliumkanäle, wie z.B. KcsA, nur K^+-Ionen, nicht jedoch Na^+-Ionen passieren lassen.

Begründen Sie Ihre Antwort *unter Zuhilfenahme der unten stehenden Abbildungen* sowie unter Berücksichtigung der Tatsache, dass der *Atomradius* von Na^+-Ionen *kleiner* ist als der von K^+-Ionen. Gehen Sie bei Ihrer Begründung auch auf die Proteinstruktur der Filterregion der Kaliumkanäle ein! (5 Punkte)



Schematische Darstellung eines KcsA Kanals (links) sowie dessen *Filterregion* (rec
Gelb: C-Atome, Rot: O-Atome, Blau: N-Atome, 1, 2, 3, 4: Positionen der K^+-Ionen in

Scanned with CamScanner