الباب الثامن عشر

مسـائل وتمارين واسئلة امتحانات

الجزء الأول

فيزياء احصـائيه

١ ــ أوجد عدد جزيئات غاز فى معدل الضغط ودرجة الحراره الموجودة فى حجم مكعب طول ضلعه يساوى طول الموجه المنظوره ٥٠٠٠ انجستروم .

الحـل :

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{3}{2} k T$$

$$\therefore \quad m v^2 = 3 k T$$

من قانون الضـغط :

$$\frac{1}{3} m n v^2 = p$$

$$= 76 \times 13.6 \times 980$$

$$\therefore \quad n = \frac{76 \times 13.6 \times 980 \times 3}{3 k T}$$

وهذا هو عدد الجزيئات فى وحدة الحجوم من الغاز

عدد الجزيئات فى الحجم المطلوب V

$$N = n\ V$$

$$= \frac{76 \times 13.6 \times 980 \times (5 \times 10^{-5})}{1.38 \times 10^{-16} \times 273}$$

$$= 4 \times 10^{9} \quad \text{mol.}$$

٢ — احسب عدد الجزئيات فى وحدة الحجوم من غاز عند درجة ٠٥٣٠ كلفن اذا كان ضغط الغاز ٢١٠ مم زئبق ثم أوجد عدد الجزيئات فى مكعب طول ضلعه ١ مم تحت نفس الظروف السابقة .

(الجواب ١ر٣ × ١٩١٠ / م٢ ، ١ر٣ × ١٠١٠ جزىء)

٣ — أوجد عدد مرات تصادم جزيئات الاكسجين على المتر المربع من الجدران فى الثانية اذا كـانت كثافته ٣ × ١٠ ٢٥ جزى لكل متر مكعب والسرعة المتوسطة للجزىء عند درجة ٠٢٧٣ كلفن هى ٤٥٠ متر / ثانية .

(الجواب : ٣ر٣ × ٢٧١٠ تصادم على المتر المربع فى الثانيه)

٤ — عرف ثابت بولتزمان من الناحية الفيزيائيه .

٥ — اثبت ان :

(أ) طاقه حركه الجزئيات للغازات المختلفة عند نفس درجة الحراره لا تتوقف على كتلها .

(ب) جذر متوسط مربع السرعات للغاز يساوى $\sqrt{\frac{3kT}{m}}$

حيث T درجة الحراره المطلقة m كتلة الجزىء .

٦ ــ احسب طاقة حركه وجذر متوسط مربع سرعه جزئيات الاكسجين عند درجه ٢٧°م علما بأن الوزن الجزيئى له ٣٢ .

(الجواب : ٤٨٢ م/ث)

٧ ــ أوجد متوسط مربع سرعة جزيئات غاز بدلالة ضغطه وكثافته .

٨ ــ أوجد درجة حرارة غاز تكون متوسط طاقة الحركه الانتقاليه لجزىء فيه مساويه لطاقة أيون مفرد الشحنه له نفس كتلة الجزىء وتسارع من حالة السكون خلال فرق جهد قدره ١ فولط ، ١٠٠٠ فولط . اهمل تأثير النسبيه .

الحـل :

طاقة الايون $= eV$

$$1.6 \times 10^{-19} \times 1 =$$

$$eV = \tfrac{1}{2} m v^2 = 3/2\ kT$$

$$\therefore\ 1.6 \times 10^{-19} = 3/2 \times 1.38 \times 10^{-23}\ T$$

$$\therefore\ T = 7700^{\circ}\ K$$

ولجهد ١٠٠٠ فولط تكون الدرجة ٧٫٧ مليون درجه .

٩ ــ اثبت ان متوسط مربع السرعات لاتساوى مربع متوسط السرعات للجزئيات الاتيه :

العدد	٢	٤	٣
السرعه بالمتر/ثانيه	١	٢	٣

الحــل :

$$Ni \quad 2 \quad 4 \quad 3$$

$$Vi \quad 1 \quad 2 \quad 3$$

$$\overline{v^2} = \frac{\Sigma\, Ni\ vi^2}{\Sigma\, Ni}$$

$$= \frac{2 \times 1^2 + 4 \times 2^2 + 3 \times 3^2}{2 + 4 + 3}$$

$$= 5 \ (m/s)^2$$

$$\overline{v} = \frac{\Sigma\, Ni\ vi}{\Sigma\, Ni} = \frac{19}{9} = 2.11$$

$$\overline{(v)^2} = 4.45 \quad (m/s)^2$$

١٠ ــ اوجد متوسط طول المسار الحر للايدروجين فى المعدلين علما بأن معامل اللزوجه بوحدات سم . جم . ث ٠٠٠٠٨ر٠ وكثافة الايدروجين فى المعدلين ٠٠٠٠٩ر٠ جم/سم٣ . ثم اوجد تردد التصادم .

الحـــل :

$$N = \tfrac{1}{3}\, m\, n\, \sqrt{\overline{v^2}} \qquad \ldots (1)$$

$$= \tfrac{1}{3}\, d\, \lambda\, \sqrt{\overline{v^2}} \qquad \ldots (2)$$

$$P = \tfrac{1}{3}\, d\, v^2$$

بحذف v^2 من المعادلتين

$$\therefore \lambda = N \sqrt{\frac{3}{pd}}$$

وبالنسبة للايدروجين نجد ان $\lambda - 1445 \times 19^{-6}$ cm

تردد التصادم هو متوسط عدد التصادمات للجزىء الواحـــد فى الثانية الواحده وهذا يساوى متوسط السرعه مقسوما على متوسط طول المسار الحر ، اى ان

$$\therefore \frac{v}{\lambda} = \frac{P}{\eta}$$

$$= \frac{76 \times 13.6 \times 980}{.00008}$$

∴ تردد التصادم $= 1.251 \times 10^{10}$ تصادما فى الثانية

١١ ــ اجد نصف قطر جزىء الايدروجين من بيانات المساله السابقه

الحـل :

$$\lambda \quad \frac{1}{\sqrt{2}\ n \cdot 4\pi\ r^2}$$

حيث e نصف الجزىء

$$\therefore \quad r^2 = \frac{1}{4\sqrt{2}\ \pi\ n\ \lambda}$$

ومن ذلك نحصل على

$$r = 1.19 \times 10^{-8} \text{ cm}$$

١٢ ــ اوجد الفرق بين متوسط طول المسار الحر لجزئيات الهليليوم تحت ضغط جوى عند درجتى الحرارة صفر ، ٥١٠٠ م .

لزوجة الهيليوم عند الصفر = ٠ر٠٠٠١٩ وعند ٥١٠٠ م = ٠ر٠٠٠٢٣
بوحدات سم جم ث وكثافة الهليوم = ١٧٨٥ ٠٠٠ر٠ جم /سم٣

(الجواب 1.29×10^{-5} cm)

١٣ ــ اثبت ان النسبه بين السرعه المتوسطه الى السرعه الاكثر احتمالا الى جذر متوسط مربع السرعه لجزيئات غاز هى على الترتيب ٥٩ر١ : ٤١ر١ : ٧٣ر١ .

١٤ ــ يتمدد غاز تمددا اديباتيا داخل اسطوانه يتحرك مكسبها ببطء وبسرعة u اقل نسبيا من السرعة المتوسطه لجزئيات الغاز اثبت ان طاقة الحركه المفقوده من الجزىء ذى السرعة v هى $2\ m\ v\ u\ \cos\ \Theta$ حيث Θ هى زاوية سقوط الجزىء . ثم اثبت ان الطاقه الكليه المفقوده من جزئيات الغاز تساوى الشغل الذى يبذله الغاز عند التمدد .

١٥ ــ اثبت ما يأتى : ــ

(ا) احتمال التصادم بين جزيئات غاز يساوى مقلوب متوسط طول المســـار الحر .

(ب) يتناسب احتمال التصادم طرديا مع مساحة مقطع التصـــادم ومع عدد الجزيئات فى وحدة الحجوم .

١٦ ــ اثبت ان عدد الجزيئات فى غاز والتى لها مسارات حرة اطول من $T\ cm$ تعطى بالمعادلة

$$N = N_0 \exp - L/\lambda$$

حيث λ هو متوسط طول المسار الحر للجزىء ،

N_0 العدد الكلى للجزئيات .

١٧ ــ اثبت ان متوسط البعد الذى تأتى منه الجزيئات فى غاز لتعبر اى سطح داخله تساوى $\frac{2}{3}$ متوسط طول المسار الحر للجزيئات ثم اوجد لزوجة الغـــاز .

١٨ ــ اثبت أن لزوجة اى غـــاز لا تتوقف على ضـــغطه او كثافته

١٩ ــ اثبت ان لزوجة الغاز تتناسب طرديا مع الجذر التربيعى لدرجة

حرارته المطلقه ثم أوجد قطر الجزىء بدلالة لزوجة الغاز ودرجة حرارته المطلقـــه .

٢٠ ــ متوسط طول المسار الحر لجزيئات غاز عند درجة ٢٥° م هو ٢٫٦٣ × ١٠$^{-٥}$ مترا . أوجد ضغط الغاز علما بأن نصف قطر الجزىء ٢٫٥٦ × ١٠$^{-١٠}$ مترا ثم أوجد عدد التصادمات فى المتر من المسار لأحد الجزيئات (الجواب ١٫٩٣ × ١٠^{٥} نيوتن/متر ٢ ، ٣٫٨ × ١٠^{٤} تصادمها/متر)

٢١ ــ متوسط طول المسار الحر لجزيئات غاز ١٠ سم اذا اعتبرنا ١٠^{٤} مسارات حره . أوجد عدد الجزيئات التى لها مسارات أكبر من ١٠ سم . وكذلك اكبر من ٥٠ سم .

(الجواب ٣٦٧٩ ، ٦٨)

٢٢ ــ فى المسألة السابقة كم عدد الجزئيات التى يكون لها طول مسارات محصور بين ٩٫٥ ، ١٠٫٥ سم ؟ وكم عددها بين ٩٫٩ ، ١٠٫١ سم

(الجواب ٣٦٨ ، ٧٤)

٢٣ ــ يبين الجدول التالى تغير لزوجة غاز ثانى اكسيد الكربون مع درجة الحـــرارة .

$t°c$	−21	0	100	182	302
$\eta \times 10^{5}$	12.9	14	18.6	22.2	26.8

احسب متوسط النسبه $\eta/\sqrt{T}$ ثم أوجد قطر الجزىء علما بأن الوزن الجزيئى لثانى اكسيد الكربون ٤٤ كيلو جرام للمول .

(الجواب ٩٫٩٩٥)

٢٤ ــ أوجد معامل لزوجة الهواء علما بان كثافته ١٫٢٩٣ كجم / م٣ والسرعة المتوسطة $\bar{v}$ لجزيئاته ٤٫٦ × ٢١٠ م/ث ومتوسط طول المسار الحر ٤٫٦ × ١٠ $^{-٨}$ متر فى المعدلين .

٢٥ ــ مدفع الكترونى يخرج الكترونات الى حيز به غاز ضغطه ١٠٠ نيوتن /م٢ وتجمع الالكترونات المتبقيه بعد التصادم مع جزيئات الغاز بواسطة لوح معدنى على بعد ١٠ سم من المدفع حيث يقاس التيار .

فاذا كان التيار الالكترونى المنبعث من المدفع ١٠٠ ميكرو أمبير وتيار لوح التجميع ٣٧ ميكرو أمبير

(أ) أوجد متوسط طول المسار الحر للالكترونات

(ب) ماذا يصبح تيار اللوح المعدنى اذا انقصنا ضغط الغاز الى ٥٠ نيوتن/م٢ ؟

الحـــل :

ــ أ ــ

$$N = No\ e^{-x/\lambda}$$

$$\therefore\ 37 = 100\ e^{-x/\lambda}$$

$$0.37 = e^{-x/\lambda} = e^{-1}$$

$$x = \lambda = 10\ cm$$

— ب — بما أن درجة الحرارة لا تتغير

اذن لاتتغير طاقة الحركه $1/2\ mv^2$

عنـــد ضـغط ١٠٠

$$p_1 = 1/3\ m\ n_1 v^2$$

عنـــد ضغط ٥٠

$$p_2 = 1/3\ m\ n_2 v^2$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{2}{1}$$

لكن

$$\lambda = \frac{0.707}{\sigma n}$$

∴ عند الضـغط المنخفض

$$\lambda_2 = 2\ \lambda_1 = 20\ cm$$

$$N/N_0 = e^{-x/\lambda}$$

ومنها

$$I/I_0 = e^{-x/\lambda}$$

$$= e^{-10/20}$$

$$I = 100\ e^{-0.5}$$

$$= 60 \text{ mico ampere}$$

٢٦ — يبدأ ايون اكسجين مفرد حركة حره فى اتجاه عمودى على مجال كهربائى شدته ١٠^{٤} فولط/متر فى غاز ضغطه جوى ودرجة حرارته المطلقه ٣٠٠ كلفن .

(أ) أوجد المسافة المقطوعه فى اتجاه المجال فى زمن متوسط مسار حر

(ب) ما نسبة متوسط المسار الحر الى هذه المسافة

(ج) ما السرعه المتوسطه فى اتجاه المجال

(د) ما هى نسبة السرعه الحراريه Thermal velocity الى هذه السرعة ؟

(هـ) ما نسبة طاقة التهييج الحرارى الى الطاقة المكتسبه من المجال اثناء متوسط مسار حر .

(الجواب أ : ٣٤ × ١٠$^{-٦}$ متر

ب : ٢٠٠

ج : ٢ر٢ م/ث

د : ٢٠٠

هـ : ٢ر٢ × ١٠^{٤})

٢٧ ــ فى التجربة الخاصة بتحقيق قانون ماكسويل لتوزيع السرعات كان قطر الاسطوانه ٢٧ر٠ مترا وعدد دوراتها فى الدقيقة ١٢٠٠٠ وكان المصدر عباره عن فرن يحتوى مادة الزنك فى درجة ٣٠٠° م .

اوجد بعد النقطه التى تسقط عليها جزيئات الزنك عندما تكون الاسطوانه ساكنه عن النقطة التى تسقط عندها الجزيئات ذات الطاقه

$$\tfrac{1}{2}\, m \quad v_x^2 = 2kT$$

الوزن الذرى للزنك = ٦٥ر٣٧

الجزء الثاني

الفيزياء الذريه

٢٨ ــ اوجد طول موجة نيوترون طاقته ١٠ مليون الكترون فولط
كتلة النيوترون ١٫٦٧ × ١٠$^{-٢٧}$ كجم .

الحـل :

$$\tfrac{1}{2} m v^2 = 10 \times 10^5 \times 1.6 \times 10^{-12}$$

$$m v = h/\lambda \qquad \text{ergs}$$

$$\tfrac{1}{2} m v^2 = \tfrac{1}{2} \times \frac{h^2}{m\lambda^2}$$

$$\lambda^2 = 8.2 \times 10^{-25}$$

$$\lambda = 0.91 \times 10^{-12} \qquad \text{cm}$$

٢٩ ــ اوجد طول الموجه المصاحبه لالكترون اكتسب طاقته خلال سقوطه فى فرق جهد قدره ٢٠ فولط .

٣٠ ــ اثبت أن

$$\cos 2\pi \left(\frac{px}{h}\right)$$

هو حل لمعادلة شرودنجر فى بعد واحد .

الحـل :

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2}(E - V)\ \psi = 0$$

بالتعويض بالداله الموجيه

$$\psi = \cos 2\pi \left(\frac{px}{h}\right)$$

$$\frac{d\psi}{dx} = -\frac{2\pi p}{h} \sin \frac{2\pi px}{h}$$

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} = -\frac{4\pi^2 p^2}{h^2} \cos \frac{2\pi}{h} px$$

وبالتعويض فى معادلة شرودنجر نجد أن الداله الموجيه تحقق المعادلة .

٣١ ــ أذكر مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج

اثبت أن الكترون الذره يوجد خارج النواة وليس داخلها .

نصف قطر الذره $١٠^{-٨}$ سم

نصف قطر النواه ، $١٠^{-١٢}$ سم

الطاقه القصوى للالكترون ٢ مليون الكترون فولط

كتلة الالكترون ٩×١٠^{-٢٨} جم

(٣٢) ما هى طاقة حركة الكترون فى ادنى مستوى للطاقة فى بئر جهد اتساعه ٥×١٠^{-٩} سم.

الحل :

$$E_n = \frac{n^2 h^2}{8 m L^2}$$

$$n = 1$$

$$E_1 = \frac{(6.625 \times 10^{-27})^2}{8 \times 9.1 \times 10^{-28} \times (5 \times 10^{-9})^2}$$

$$= 0.213 \times 10^{-11} \quad \text{ergs}$$

$$= 13.6 \quad \text{eV}$$

(٣٣) أوجد طاقة نيوترون محصور فى مسافه ٢×١٠^{-١٥} متر

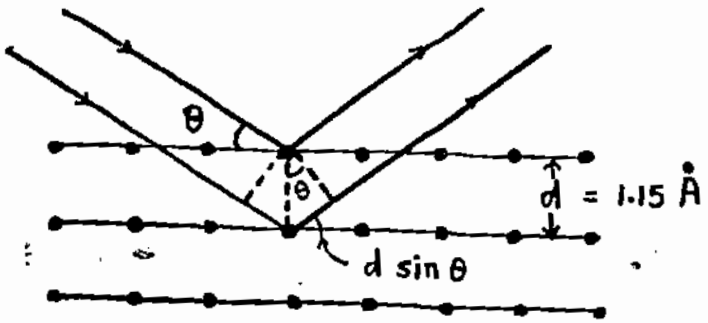
(٣٤) احسب مستويات الطاقه لجسيم كتلته ٠,٠٠١ كجم موجود فى بئر جهد مربع اتساعه $١٠^{-٢}$ متر .

ماذا يجب أن تكون قيمة n لكى تكون طاقة الحركه ١ جول ؟ وما المسافة التى تفصل مستويى الطاقة

$$? E_{n-1} \quad E_n$$

(٣٥) ماهى زاوية السقوط التى تسبب انعكاسا لنيوترونات طاقتها ٠٫٠٢٥ الكترون فولط عند سقوطها على سطح بلوره تبعد مستوياتها الذريه عن بعضها بمسافة ١٫١٥ انجستروم ٠

كتلة النيرترون = ١٫٦٧ × ١٠^-٢٤ جم ٠



مثال (١-١٨)

الحل

$$K.E. = \tfrac{1}{2} m v^2 = 0.025 \times 1.6 \quad 10^{-12}$$

$$= \frac{.025 \times 1.6 \times 10^{-12} \times 2}{1.67 \times 10^{-24}}$$

$$m\,v = p = \frac{h}{\lambda}$$

ومنها

$$\lambda = \frac{h}{m\,v}$$

وباستخدام قانون براج

$$2\,d \sin\Theta = n\,\lambda$$

$$n = 1$$

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

$$\Theta = \sin^{-1}\left(\frac{\lambda}{2d}\right)$$

(٣٦) ما هى درجة الدقه التى يمكن بها تحديد سرعة سيارة كتلتها ٥ر١ × ١٠ ٢ كجم موضع مركز كتلتها محددا الى ١ انجستروم ٠

الحل :

$$\Delta p \Delta x = \frac{h}{4\pi}$$

$$m \Delta v = \Delta p$$

$$\Delta V = \frac{h}{4 \pi m \Delta x} = 0.35 \times 10^{-25} \text{ cm/sec}$$

(٣٧) عمر الاثاره لنواة ذرة هو ٥ × ١٠⁻١٤ ثانية ما هو اقل خطا فى قياس طاقتها ؟

الحـــل :

$$\Delta E \cdot \Delta t = \frac{h}{4 \pi}$$

$$\Delta E = \frac{6.625 \times 10^{-27}}{4 \times 3.14 \times 5 \times 10^{-14}}$$

$$= 0.106 \times 10^{-13} \quad \text{ergs.}$$

$$= 6.6 \times 10^{-3} \quad \text{eV}$$

(٣٨) احسب احتمال الانفاق tunneling probalility لالكترون فى بئر جهد حيث $(V_0 - E) = 1$ eV واتساع حاجز الجهد ١ انجستروم . وقارن بين هذه القيمه والقيمه المناظرة لالكترون ساقط فى بئر عمقه ١٠ الكترون فولط واتساع حاجز جهده ١٠ انجستروم .

الحـــل :

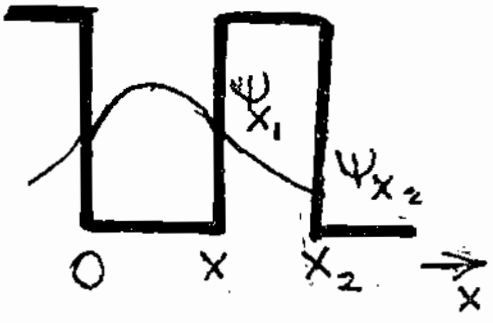
داخل حاجز الجهد تكون الداله الموجيه اسيه

$$\Psi = C \quad \exp - \omega^1 \quad X$$

حيث

$$\omega^1 = \frac{2\pi}{h} \sqrt{m\ (V_0 - E)}$$

أوجد الدالة الموجية عند x_1



شـــكل (١٨ ــ ٢)

عند x_2 يكون احتمال الانفاق هو

$$\frac{1\ \Psi_2\ 1^2}{1\ \Psi_1\ 1^2}$$

(٣٩) اذا كان ثابت القوه فى حركه توافقيه بسيطه هو ار٠ جول / م ٢ أوجد ترددها علما بأن الكتله المتذبذبه ١ كيلو جرام ٠ ماذا يكون العدد الكمى فى هذه الحاله اذا كانت الطاقه الكليه هى ار٠ جول ؟ ومـــاذا يكون الفرق بين مستويى الطاقه ؟

هل تعتقد أن انحلال مستويات الطاقه يكون ملموسا فى نوعية التجارب المعملية المعتاده ؟ .

الحـــل :

تردد الحركة التوافقيه البســـيطه

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\beta/m}$$

$\beta = 0.1$;

$m = 1$

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{0.1}{1}}$$

$= 0.05$ c/s

الطاقه الكليه

$$E = (n + \tfrac{1}{2})\, hf$$

$= 0.1 \times 10^{7}$

$n = 3 \times 10^{33}$

الفرق بين مستويات الطاقه

$$E_{n+1} - E_n = hf$$

$$= 0.2 \times 10^{-15} \quad eV$$

وواضح أن انحلال مستويات الطاقه لايكون ظاهرا فى التجارب العمليه المعتاد لقرب هذه المستويات من بعضها

(٤٠) احسب التردد الكلاسيكى لالكترون يدور فى مسار دائرى حول بروتون بدلالة نصف قطر المسار .

الحـل :

$$\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

$$v^2 = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 rm}$$

ومنها نوجد سرعة الالكترون فى مسار v يكون التردد f هو

$$f = \frac{v}{2\pi r}$$

$$= \frac{e}{4\sqrt{\pi \varepsilon_0 r^3 m}}$$

(٤١) أوجد النسبه بين عدد ذرات الايدروجين فى الحالة المستقرة ground state وعدد الذرات المثاره للغاز عندما تكون درجة حرارته ٣٠٠٠ كلفن .

الحـــل :

اوجد طاقة الحاله المستقره لذرة الايدروجين ثم اوجد طـــاقة الذره المثاره بحساب طاقة التهيج الحرارى kT عند درجة ٣٠٠٠ .

واستخدام دالة التوزيع لماكسويل وبولتزمان لايجاد المطلوب .

(٤٢) عندما يرى خط الصوديوم (طول موجته ٥٨٩٠ انجستروم) فى اتجاه خطوط مجال مغناطيسى شدته ١٠٫٠٠٠ اورستد يظهر هناك خطان يفصلهما مسافة $d\lambda$

اوجد هذه المسافه .

الحـــل :

باستخدام ظاهرة زيمان .

$$d\lambda = (\lambda^2 / 2\pi c) \cdot \frac{He}{2mc}$$

$$= \frac{H e \lambda^2}{2\pi m c^2}$$

وبالتعويض

$$d\lambda = 0.157 \quad A^\circ$$

(٤٣) اشرح نظرية الانفاق وبين كيف تستخدم لتفسير ظاهرة الانبعاث

الالكترونى من الاقطاب البارده كما فى ميكروسكوب المجال الايونى .
Field — ion micros cope.

(٤٤) اذا كان العمر الزمنى لذرة مثاره هو ١٠ $^{-٨}$ ثانيه . اوجد اقل تردد للفوتون المنبعث منها باستخدام مبدأ عدم التحديد (اعتبر هذا الزمن هو زمن انبعاث الفوتون ثم اوجد طاقته ومن ثم تردده) .

(٤٥) عندما يتحد الكترون وجسيم الفا وكلاهما فى حالة سكون لتكوين ايون هليوم ينبعث فوتون . اوجد الطاقه التى يحملها هذا الفوتون .

(٤٦) اذا علم أن ميزون باى له نفس شحنه الالكترون ولكن كتله ٢٧٥ ضعفا . واذا فرض أن هذا الميزون يكون مع بروتون ذرة تشبه ذرة الايدروجين اوجد طاقة المسار ونصف قطره ($n = 1$)

(٤٧) اذا علم ان طول موجة الخط الأول لطيف ذرة الايدروجين فى سلسلة بالمر هو ٦٥٦٣ انجستروم واذا وجد أن الاختلاف فى هذا الطول عندما يكون الطيف للايدروجين الثقيل (ديوتيريوم) هو ١٫٨ انجستروم ، اوجد النسبه بين كتلة ذرتى الديوتيريوم والايدروجين .

(٤٨) اثبت أن طول موجة دى برولى لالكترون سقط فى فرق جهد V فولط هو

$$\lambda = \frac{12.24}{\sqrt{V}} \quad \text{Angstrom}$$

(٤٩) جسيم الفا طاقته ٧٫٧ مليون الكترون فولط يتجه نحو نواة ذرة رصاص (الوزن الذرى ٨٢) . اوجد المسافة التى يصل اليها الجسيم من النواة قبل ارتداده باعتبار النواه ثابته .