অধ্যায়-৮: আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের সূচনা

প্রশ্ন ▶১ বাবু 4×10^{15} Hz কম্পাঙ্কের কোন বিকিরণ কোন ধাতব পাতের উপর আপতিত করেন। তিনি পরীক্ষা করে দেখেন সেক্ষেত্রে সর্বোচ্চ 3.6×10^{-19}J শক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রন নির্গত হয়। লাবলু একই কম্পাঙ্কের বিকিরণ অন্য ধাতব পাতে আপতিত করেন। নতুন ধাতব পাতের সর্বোচ্চ শক্তিসম্পন্ন ইলেক্ট্রনের শক্তি পূর্বের অর্ধেক। *[ঢাকা কলেজ]*

ক. আপেক্ষিক তত্ত্বের বিশেষ স্বীকার্যের দ্বিতীয় স্বীকার্যটি লিখ। ১

খ. "জরুরী প্রয়োজন ছাড়া আমাদের এক্সরে করা উচিৎ নয়"– ব্যাখ্যা কর। ২

গ. বাবু যে ধাতব পাত ব্যবহার করেছিল তার সূচন কম্পাঙ্ক কত? ৩

ঘ. "লাবলু পরীক্ষা শেষে বলেন তার ব্যবহৃত ধাতব পাত থেকে ইলেক্ট্রন নির্গত হয়নি"– তার মতামতের সাথে তোমার মিল বা অমিল বিশেণ্ডষণ কর। ৪

১ নং প্রশ্নের উত্তর

ক আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্বের দ্বিতীয় স্বীকার্যটি হলো, শূন্য স্থানে বা বায়ু মাধ্যমে আলোর বেগ ধ্রুব এবং এ বেগ আলোর উৎস ও পর্যবেক্ষকের আপেক্ষিক গতিবেগের ওপর নির্ভরশীল নয়।

খ এক্সরে এক প্রকার তাড়িত চৌম্বক বিকিরণ। এর কম্পাঙ্ক (υ) উচ্চ। তাই $E = h\upsilon$ সূত্রানুসারে এর শক্তি ও উচ্চমানের। দেহের কোনো অংশে এক্সরে করানো হলে তার যথেষ্ট পার্শ্বপ্রতিক্রিয়া আছে। এটি অনেকটা রেডিওথেরাপির মতো কাজ করে। ফলে বহুসংখ্যক সুস্থকোষ বিনষ্ট করে। পরপর কয়েকবার দেহের একই অঙ্গের এক্সরে করালে ঐ অঙ্গের প্রভূত ক্ষতি হয়, এমনকি তা বিকলাঙ্গ হয়ে যেতে পারে। অল্প কিছুদিনের ব্যবধানে মুখমন্ডলের এক্সরে করানো হলে দাঁত ও চুল পড়ে যেতে পারে। গর্ভাবস্থায় বিশেষ প্রয়োজন ছাড়া এক্সরে করানো উচিত নয়। প্রতিবার এক্সরেতে নবজাতকের দেহের বেশ কিছু ক্ষতিসাধন হয়। সুতরাং, জরুরী প্রয়োজন ছাড়া আমাদের এক্সরে করা উচিত নয়।

গ দেওয়া আছে,

আপতিত বিকিরণের কম্পাঙ্ক, $\upsilon = 4 \times 10^{15}$ Hz

নি:সৃত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি, $K_{max} = 3.6 \times 10^{-19}$J

জানা আছে, পণ্ডাংকের ধ্রুবক, $h = 6.63 \times 10^{-34}$Js

বের করতে হবে, সূচন কম্পাংক, υ_o = ?

আমরা জানি, আইনস্টাইনের সমীকরণ হতে,

$h\upsilon = h\upsilon_o + K_{max}$

বা, $h\upsilon_o = h\upsilon - K_{max}$

$\therefore \quad \upsilon_o = \dfrac{h\upsilon - k_{max}}{h}$

$= \dfrac{6.63 \times 10^{-34}\ J.s \times 4 \times 10^{15}\ Hz - 3.6 \times 10^{-19}J}{6.63 \times 10^{-34}\ Js}$

$= 3.457 \times 10^{15}$Hz **(Ans.)**

ঘ নতুন ধাতবপাতের সর্বোচ্চ শক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রনের শক্তি, $K_{max} = \dfrac{3.6 \times 10^{-19}J}{2} = 1.8 \times 10^{-19}J$

এক্ষেত্রে, আপতিত বিকিরণের কম্পাঙ্ক , $\upsilon = 4 \times 10^{15}$ Hz

এবং লাবলুর ধাতুখন্ডটির ক্ষেত্রে সূচন কম্পাঙ্ক υ_o হলে,

$h\upsilon = h\upsilon_o + K_{max}$

বা, $h\upsilon_o = h\upsilon - K_{max}$

$\therefore \upsilon_o = \dfrac{h\upsilon - K_{max}}{h} = \dfrac{6.63 \times 10^{-34} \times 4 \times 10^{15} - 1.8 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}}$

$= 3.73 \times 10^{15}$ Hz

যা আপতিত বিকিরণের কম্পাঙ্ক (4×10^{15}Hz) অপেক্ষা কম।

সুতরাং, লাবলুর পরীক্ষায় উক্ত ধাতুখন্ড থেকে ইলেকট্রন নির্গত হওয়ার কথা। অতএব, তার মতামতের সাথে আমি একমত নই।

প্রশ্ন ▶২ একটি কাল্পনিক চলমান ট্রেনে একটি বস্তুর ভর 100 kg এবং দৈর্ঘ্য নিশ্চল দৈর্ঘ্যের 50% . *[রাজউক উত্তরা মডেল কলেজ, ঢাকা]*

ক. কার্য অপেক্ষক কী? ১

খ. অনিশ্চিয়তা নীতি হতে দেখাও যে, নিউক্লিয়াসের অভ্যন্ড়রে ইলেকট্রন থাকতে পারে না। ২

গ. কাল্পনিক ট্রেনটির গতিবেগ নির্ণয় কর। ৩

ঘ. ট্রেনটি থেমে গেলে বস্তুটির ভরের কোন পরিবর্তন হবে কী? গাণিতিকভাবে বিশে- ষণ কর। ৪

২ নং প্রশ্নের উত্তর

ক কোনো ধাতুখন্ডের ওপর ন্যূনতম যে শক্তির ফোটন আপতিত হলে এটি হতে ইলেকট্রন নিঃসৃত হবার উপক্রম হয় তাকে ঐ ধাতুখন্ডের কার্যপেক্ষক বলে।

খ পরমাণুর নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ 10^{-14} m প্রায়। সুতরাং ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের অভ্যন্ড়রে আবদ্ধ থাকতে হলে এর অবস্থানের অনিশ্চয়তা অবশ্যই 2×10^{-14} m এর অধিক হবেনা।

এখন Δx এবং Δp যথাক্রমে অবস্থান ও ভরবেগের অনিশ্চয়তা হলে,

$\Delta x\ \Delta p$ এর ন্যূনতম মান $= \dfrac{\nabla}{2} = \dfrac{h}{4\pi}$

এই সমীকরণ অনুযায়ী ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের অভ্যন্ড়রে থাকতে হলে একে 23.9MeV শক্তির অধিকারী হতে হবে। কিন্তু পরীক্ষালব্ধ ফলাফল থেকে দেখাযায় যে, ইলেকট্রনের শক্তি 4 MeV এর অধিক হয় না। সুতরাং নিউক্লিয়াসের অভ্যন্ড়রে ইলেকট্রন থাকতে পারে না।

গ দেওয়া আছে,

নিশ্চল দৈর্ঘ্য L_o হলে গতিশীল দৈর্ঘ্য, $L = L_o \times 50\% = \dfrac{L_o}{2}$

জানাআছে, শূন্যস্থানে আলোর গতিবেগ , $c = 3 \times 10^8\ ms^{-1}$

বের করতে হবে, কাল্পনিক ট্রেনটির গতিবেগ, v = ?

আমরাজানি, $L = L_o\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}$ বা, $1 - \dfrac{v^2}{c^2} = \left(\dfrac{L}{L_o}\right)^2$

বা, $\dfrac{v^2}{c^2} = 1 - \left(\dfrac{L}{L_o}\right)^2$ বা, $v = c\sqrt{1-\left(\dfrac{L}{L_o}\right)^2}$

$\therefore v = 3 \times 10^8\ ms^{-1} \times \sqrt{1-\left(\dfrac{\frac{L_o}{2}}{L_o}\right)^2} = 2.598 \times 10^8\ ms^{-1}$ **(Ans.)**

ঘ উদ্দীপকমতে, বস্তুটির চলমান ভর, m = 100 kg

এবং 'গ' অংশহতে, ট্রেনের তথা ঐ বস্তুর গতিবেগ,

$v = 2.598 \times 10^8\ ms^{-3}$

$\therefore$ বস্তুটির নিশ্চল ভর m_o হলে। $m = \dfrac{m_o}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}}$

$\therefore m_o = m\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}$

$= 100\ kg \times \sqrt{1-\left(\dfrac{2.598 \times 10^8}{3 \times 10^8}\right)^2}$

$= 50$ kg

যেহেতু 50 kg ≠ 100 kg বা, $m_o \neq m$

অর্থাৎ নিশ্চল ভর ≠ চলমান ভর

সুতরাং, ট্রেনটি থেমে গেলে বস্তুটির ভরের পরিবর্তন ঘটবে, হ্রাস পাবে।

প্রশ্ন ▶৩ A এবং B দুইজন যমজ ভাইয়ের বয়স যখন 25 yrs তখন B নভোযানে চড়ে 0.8c বেগে মহাকাশ ভ্রমণে গেল। পৃথিবীতে A অপেক্ষা করে দেখলো B 50 yrs পরে পৃথিবীতে ফিরে আসে। (এখানে, আলোর বেগ $c = 3 \times 10^8\ ms^{-1}$,) *[ভিকার□ননিসা নূন স্কুল এন্ড কলেজ, ঢাকা]*

ক. আইনস্টাইনের বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের দ্বিতীয় স্বীকার্যটি লিখ। ১

খ. ফোটনের কণা তরঙ্গ দ্বৈতরূপ আছে- ব্যাখ্যা কর। ২

গ. উদ্দীপক হতে A এবং B উভয় ভাইয়ের বর্তমান বয়স কত? ৩

ঘ. স্থির পর্যবেক্ষক হলে গতিশীল দন্ডের দৈর্ঘ্য সঙ্কোচন হয়। উক্তিটা আইনস্টাইনের বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের দ্বারা– ব্যাখ্যা কর। ৪

৩ নং প্রশ্নের উত্তর

ক আইনস্টাইনের বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের দ্বিতীয় স্বীকার্যটি হলো- শূন্যস্থানের বা বায়ু মাধ্যমে আলোর বেগ ধ্র□ব এবং এ বেগ আলোর উৎস ও পর্যবেক্ষকের আপেক্ষিক বেগের ওপর নির্ভরশীল নয়।

খ আলোকে ফোটন নামক ক্ষুদ্র অসংখ্য কণার সমষ্টিরূপে বিবেচনা করা হয়। ব্যতিচার, অপবর্তন-সমবর্তন- এ কয়েকটি আলোকীয় ঘটনা তরঙ্গ তত্ত্ব ছাড়া ব্যাখ্যা করা যায় না। আবার ফটোতড়িৎ ক্রিয়া, কম্পটন ক্রিয়া, রমন ক্রিয়া- এগুলো কোয়ান্টাম তত্ত্ব ছাড়া ব্যাখ্যা করা যায় না, যে তত্ত্বে ফোটনকে কণারূপে বিবেচনা করা হয়েছে। এছাড়া ডিব্রগলী তত্ত্ব অনুযায়ী, মহাবিশ্বের সকল বস্তু বা সত্ত্বার দুইটি রূপ রয়েছে কণা ও তরঙ্গ। প্রোটন, ইলেকট্রন, নিউট্রন-এ সকল কণার যেমন তরঙ্গরূপ রয়েছে, ঠিক তেমন ফোটনের ও কণারূপ রয়েছে। একারণে বলা হয়, ফোটনের কণা-তরঙ্গ দ্বৈতরূপ আছে।

গ দেওয়া আছে,

পৃথিবীতে বা স্থির কাঠামোতে অতিবাহিত সময় কাল, $t = 50$ years

শূন্যস্থানে আলোর বেগ, $c = 3 \times 10^8\ ms^{-1}$

নভোযানের বেগ, $v = 0.8c$

বের করতে হবে, A ও B ব্যক্তির বর্তমান বয়স = ?

নভোযানে অতিবাহিত সময়কাল t_o হলে,

আমরা জানি, $t = \dfrac{t_o}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}}$

$\therefore t_o = t\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}} = 50 \text{ years} \times \sqrt{1 - \left(\dfrac{0.8c}{c}\right)^2}$

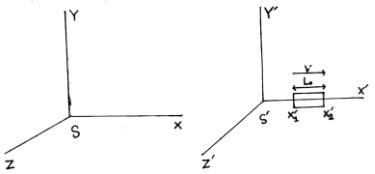
$= 50 \text{ years} \times 0.6$

$= 30 \text{ years}$

$\therefore$ B (মহাশূন্যচারী) এর বর্তমান বয়স $= 25 + 30 = 55$ বছর

এবং A- এর বর্তমান বয়স $= 25 + 50 = 75$ বছর।

ঘ ধরা যাক, একটি দন্ড একটি গতিশীল কাঠামো S′- এর X′- অক্ষ বরাবর স্থির অবস্থায় অবস্থান করছে।



এই কাঠামোতে অবস্থানরত একজন পর্যবেক্ষক দন্ডটির দুপ্রান্ড়ের স্থানাঙ্ক পরিমাপ করে নিলেন x_1' এবং x_2'। অতএব তার সিদ্ধান্ড় হবে যে দন্ডটির দৈর্ঘ্য, $L_o = x_2' - x_1'$।

এস্থলে L_o হলো কোনো প্রসঙ্গ কাঠামোতে স্থির অবস্থায় অবস্থানরত দন্ডটির দৈর্ঘ্য। মনে করি, দন্ডটির দৈর্ঘ্য অপর একটি প্রসঙ্গ কাঠামো S হতে নির্ণয় করা হলো যার সাপেক্ষে S′ কাঠামো X অক্ষ বরাবর v বেগে গতিশীল। ধরা যাক, S কাঠামোতে দৈর্ঘ্য = L;

S কাঠামোতে দন্ডের দু'প্রান্ড়ের স্থানাংক x_1 ও x_2 ।

$\therefore L = x_2 - x_1$

ধরা যাক, x_1 ও x_2 স্থানাঙ্কদ্বয় একই সময়ে (t) পরিমাপ করা হলো।

লরেঞ্জ রূপান্ড়রের প্রথম সমীকরণ $x' = \dfrac{x - vt}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}}$

হতে আমরা পাই,

$x_1' = \dfrac{x_1 - vt}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}}$

এবং $x_2' = \dfrac{x_2 - vt}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}}$

সুতরাং, $L_o = x_2' - x_1'$

$= \dfrac{x_2 - x_1}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}} = \dfrac{L}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}}$

$\therefore L = L_o\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}$

$\because \sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}} < 1$

$\therefore L_o > L$

সুতরাং, একজন পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে গতিশীল একটি বস্তুর দৈর্ঘ্য একই বস্তুর ঐ পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে স্থির অবস্থায় দৈর্ঘ্য অপেক্ষা কম মনে হয়। অর্থাৎ, স্থির পর্যবেক্ষক হলে- গতিশীল দন্ডের দৈর্ঘ্য সংকোচন হয়।

প্রশ্ন ▶৪ নভোচারী আরশাভিন ১৭-১১-১৫ তারিখে রওয়ানা দিয়ে মহাশূন্যে আলোর বেগের প্রায় কাছাকাছি বেগে ভ্রমণ করলো। তার মহাশূন্যযানের দৈর্ঘ্য ছিল 100m ও ভর ছিল 2 ton। কিন্তু আরশাভিন তার ঘড়ি অনুযায়ী ১৮-১১-১৫ তারিখে পৃথিবীতে ফিরে এসে দেখলো পৃথিবীতে ২৫-১১-১৫ তারিখ চলছে। *[রেসিডেনসিয়াল মডেল কলেজ, ঢাকা]*

ক. ভরের আপেক্ষিকতা কী? ১

খ. আইনস্টাইনের স্বীকার্য দুটি বিবৃত কর। ২

গ. আরশাভিনের মহাশূন্যযানের বেগ কত ছিল? ৩

ঘ. আরশাভিনের মহাশূন্যযানের দৈর্ঘ্য ও ভরের কি ধরনের পরিবর্তন হয়েছিল? গাণিতিক বিশেণ্ডষণ কর। ৪

৪ নং প্রশ্নের উত্তর

ক কোনো বস্তুর বেগ বৃদ্ধির সাথে সাথে এর ভর বৃদ্ধি পাওয়ার ঘটনাটিকে ভরের আপেক্ষিকতা বলে।

খ আইনস্টাইনের স্বীকার্য দুটি হলো:

১. পরস্পরের সাপেক্ষে ধ্রুববেগে ধাবমান সকল প্রসঙ্গ কাঠামোতে অর্থাৎ জড় প্রসঙ্গ কাঠামোগুলোতে পদার্থবিজ্ঞানের যে কোনো সূত্র একই রকম সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়।

২. শূন্যস্থানে বা বায়ু মাধ্যমে আলোর বেগ ধ্র□ব এবং এ বেগ আলোর উৎস ও পর্যবেক্ষকের আপেক্ষিক বেগের ওপর নির্ভরশীল হয়।

গ দেওয়া আছে,

গতিশীল কাঠামোতে (মহাকাশযানে) রক্ষিত ঘড়িতে সময় ব্যবধান, t_o = 18/11/15–17/11/15 = 1 day

স্থির কাঠামোতে (পৃথিবী) রক্ষিত ঘড়িতে সময় ব্যবধান,

t = 25/11/15g- 17/11/15 = 8 day

জানাআছে, শূন্যযানে আলোর দ্র□তি, $c = 3 \times 10^8 ms^{-1}$

বের করতে হবে, মহাশূন্যযানের বেগ, v = ?

আমরা জানি, $t = \dfrac{t_o}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}}$ বা, $\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}} = \dfrac{t_o}{t}$

বা, $1 - \dfrac{v^2}{c^2} = \left(\dfrac{t_o}{t}\right)^2$ বা, $\dfrac{v^2}{c^2} = 1 - \left(\dfrac{t_o}{t}\right)^2$

বা, $v^2 = c^2\left\{1-\left(\frac{t_o}{t}\right)^2\right\}$

$\therefore v = c\sqrt{1-\left(\frac{t_o}{t}\right)^2} = 3\times10^8\ ms^{-1}\times\sqrt{1-\left(\frac{1\ day}{8\ day}\right)^2}$

$= 2.9765\times10^8\ ms^{-1}$ **(Ans.)**

ঘ উদ্দীপকমতে,
মহাশূন্যযানটির নিশ্চল দৈর্ঘ্য, $L_o = 100$ m
এবং নিশ্চল ভর, $m_o = 2$ ton $= 2000$ kg
জানা আছে, শূন্যযানে আলোর বেগ, $c = 3\times10^8\ ms^{-1}$
যেহেতু মহাশূন্যযানটির বেগ ছিল, $v = 2.9765\times10^8\ ms^{-1}$

$\therefore$ মহাশূন্যযানটির চলমান দৈর্ঘ্য, $L = L_o\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$

$= 100\ m\sqrt{1-\left(\frac{2.9765\times10^8\ ms^{-1}}{3\times10^8\ ms^{-1}}\right)^2}$

$= 12.5m$

$\therefore$ দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন ঘটেছিল $= L_o - L$

$= 100m - 12.5\ m = 87.5m$ (হ্রাস)

আবার, মহাশূন্যযানটির চলমান ভর, $m = \frac{m_o}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$

$= \frac{2000\ kg}{\sqrt{1-\left(\frac{2.9765\times10^8\ ms^{-1}}{3\times10^8\ ms^{-1}}\right)^2}} = 16010kg = 16.01$ ton

$\therefore$ ভরবৃদ্ধি পেয়েছিল $= m - m_o = 16.01$ ton $- 2$ ton $= 14.01$ ton

প্রশ্ন ▶৫ একটি ধাতব পাতের নিউক্লিয়াস হতে 10^{-9}m দূরত্বে ইলেকট্রন রয়েছে। ঐ ধাতুটির ক্ষেত্রে ফটোতড়িৎ ক্রিয়া পর্যবেক্ষণের জন্য তোমাকে নিবৃত্তি বিভব (Vs) বনাম কম্পাঙ্কের (f) একটি লেখচিত্র সরবরাহ করা হলো এবং লেখের ঢাল $4.12\times\Omega\ 10^{-15}$ volt sec.

[নটর ডেম কলেজ, ঢাকা]

ক. কাল দীর্ঘায়ন কী? ১
খ. একই গতিশক্তিসম্পন্ন প্রোটন ও ইলেকট্রনের মধ্যে ইলেকট্রনের ডি'ব্রগলী তরঙ্গদৈর্ঘ্য বেশি কেন? ২
গ. উদ্দীপকের ইলেকট্রনের বেগের অনিশ্চয়তা নির্ণয় কর। ৩
ঘ. উদ্দীপকে বর্ণিত তথ্য দিয়ে পণ্যাঙ্কের ধ্রুবক 'h' এর মান কিভাবে নির্ণয় করা সম্ভব– গাণিতিকভাবে দেখাও। ৪

৫ নং প্রশ্নের উত্তর

ক কোন পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে গতিশীল অবস্থায় সংঘটিত দুটি ঘটনার মধ্যবর্তী কাল ব্যবধান ঐ পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে নিশ্চল অবস্থায় সংঘটিত ঐ একই ঘটনাদ্বয়ের কাল ব্যবধানের চেয়ে বেশি হয়; এই প্রভাবকে কাল দীর্ঘায়ন বলে।

খ মনেকরি, প্রোটন ও ইলেকট্রনের বেগ যথাক্রমে v_1 ও v_2 এবং এদের ভর যথাক্রমে m_1 ও m_2 ($m_1 >> m_2$)

তাহলে এদের গতিশক্তি যথাক্রমে, $E_{k1} = \frac{1}{2}m_1v_1^2$ এবং

$E_{k2} = \frac{1}{2}m_2v_2^2$.

প্রশ্নমতে, $E_{k_1} = E_{k_2}$ বা, $\frac{1}{2}m_1v_1^2 = \frac{1}{2}m_2v_2^2$.

বা, $\frac{m_1}{m_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2$

বা, $\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{m_1}{m_2}}$

তাহলে এদের ভরবেগের অনুপাত $= \frac{p_1}{p_2} = \frac{m_1v_1}{m_2v_2} = \frac{m_1}{m_2}\sqrt{\frac{m_2}{m_1}} = \sqrt{\frac{m_1}{m_2}} > 1$ ($\because m_2 >> m_1$)

বা, $p_1 > p_2$; অর্থাৎ প্রোটনের ভরবেগ ইলেকট্রনের ভরবেগের তুলনায় বেশি। আবার ডিব্রগলী তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda_d = \frac{h}{p}$; এ সূত্রানুসারে ইলেকট্রনের ভরবেগ কম হওয়ায় এর ড্রিবগলী তরঙ্গ বেশি।

গ প্রশ্নমতে,
ইলেকট্রনের অবস্থানের সর্বাধিক অনিশ্চয়তা, $\Delta x = 10^{-9}$m
এখন ইলেকট্রনের ভরবেগের অনিশ্চয়তা Δp হলে,

$\Delta x\ \Delta p \geq \frac{h}{2\pi}$

বা, $\Delta p \geq \frac{h}{2\pi\ \Delta x} = \frac{6.63\times10^{-34}\ J.S}{2\times3.1416\times10^{-9}m}$

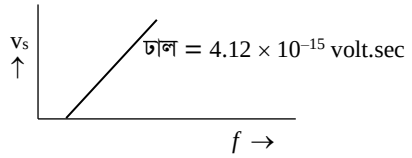
বা, $m\ \Delta v \geq 1.0552\times10^{-25}$ [Δv = বেগের অনিশ্চয়তা]

$\therefore \Delta v \geq \frac{1.0552\times10^{-25}\ kg\ ms^{-1}}{m_e} = \frac{1.0552\times10^{-25}\ kgms^{-1}}{9.1\times10^{-31}\ kg}$

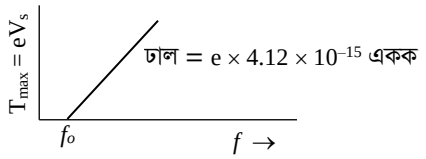
$= 1.16\times10^5 ms^{-1}$

সুতরাং উদ্দীপকের ইলেকট্রনের বেগের অনিশ্চিয়তা ন্যূনতম $1.16\times10^5 ms^{-1}$

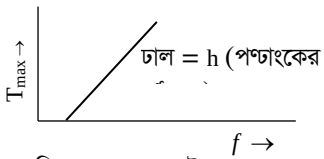
ঘ উদ্দীপকের উপাত্ত অনুসারে নিম্নোক্ত লেখ পাই,



নিবৃত্তি বিভবকে ইলেকট্রনের চার্জ দ্বারা গুণ করলে ফটোতড়িৎ ক্রিয়ায় নি:সৃত ইলেকট্রনের সর্বাধিক গতিশক্তি পাওয়া যায়।
সেক্ষেত্রে ওপরোক্ত লেখচিত্রে উলম্বঅক্ষ এবং ঢাল উভয়কে e (ইলেকট্রনের চার্জ) দ্বারা গুণ করতে হবে। এবং প্রাপ্ত লেখচিত্র নিম্নরূপ:



আইনস্টাইনের ফটো- তড়িৎ ক্রিয়া সম্পর্কিত সমীকরণ হলো ,$hf = hf_o + T_{max}$
বা, $T_{max} = hf - hf_o$
hf_o রাশিটি ধ্রুবমানের হওয়ায় এবং T_{max} ও f যথাক্রমে অধীন চলক ও স্বাধীন চলক হওয়ায় T_{max} বনাম f লেখচিত্র নিম্নরূপ:



ওপরোক্ত লেখচিত্রদ্বয় মূলত একই। তাহলে এদের ঢালও সমান।

$\therefore$ পণ্ঢাংকের ধ্রুবক, $h = e\times4.12\times10^{-15}$ volt. sec. C
$= 1.6\times10^{-19}\times4.12\times10^{-15}\ Jc^{-1}$ sec.C
$= 6.592\times10^{-34}$ Js

এ ভাবেই উদ্দীপকে বর্ণিত তথ্য দিয়ে পণ্ঢাংকের ধ্রুবক 'h' এর মান নির্ণয় করা সম্ভব।

প্রশ্ন ▶৬ একটি ইলেকট্রনের পরমাণু অভ্যন্ড়রে অবস্থানের অনিশ্চয়তা 0.0100 nm. *[হলি ক্রস কলেজ, ঢাকা]*

ক. কম্পটন ক্রিয়া কাকে বলে? ১
খ. হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি বলতে কী বোঝ? ২

গ. অবস্থানের এই অনিশ্চয়তার জন্য ইলেকট্রনের ডি-ব্রগলি তরঙ্গ দৈর্ঘ্য কত হবে? ৩

ঘ. অবস্থানের এই অনিশ্চয়তার জন্য ইলেকট্রনের গতিশক্তি নির্ণয় সম্ভব কি? যথাযথভাবে ব্যাখ্যা কর। ৪

৬ নং প্রশ্নের উত্তর

ক বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য আপতিত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চেয়ে বেশি হওয়াকেই কম্পটন ক্রিয়া বলে।

খ হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি হলো– কোনো কণার অবস্থান ও ভরবেগ নির্ভুলভাবে যুগপৎ পরিমাপ করা যায় না।

নিম্নোক্ত সম্পর্ক দ্বারা সীমাবদ্ধ নির্ভুলতাসহ এ রাশিগুলোর মান নির্ণয় করা যেতে পারে–

$$\Delta x\, \Delta p \geq \frac{1}{p}\,\frac{h}{2\pi}$$

বা, $\Delta x\, \Delta p \geq \frac{\nabla}{2}$ $\left(\because \nabla = \frac{h}{2\pi}\right)$

এখানে Δx এবং Δp যথাক্রমে অবস্থান ও ভরবেগ নির্ণয়ে অনিশ্চয়তার পরিমাণ। সম্পর্কটি থেকে বোঝা যায়। বস্তুর অবস্থান যতো বেশি নির্ভুলভাবে নির্ণয় করা যায় তার ভরবেগ তত কম নির্ভুলভাবে নির্ণয় করা যাবে। আবার, বেশি নির্ভুলভাবে ভরবেগ নির্ণয় করতে হলে কম নির্ভুলভাবে অবস্থান নির্ণয় করতে হবে।

গ দেওয়া আছে,

ইলেকট্রনের অবস্থানের অনিশ্চয়তা, $\Delta x = 0.0100\ \text{nm} = 1 \times 10^{-11}\text{m}$

অনিশ্চয়তার নীতি অনুসারে, $\Delta x\, \Delta p \geq \frac{1}{2} \times \nabla$

বা, $\Delta x\, \Delta p \geq \frac{1}{2} \times \frac{h}{2\pi}$ $\left[\because \nabla = \frac{h}{2\pi}\right]$

বা, $\Delta p \geq \frac{h}{\Delta x\, 4\pi}$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34}\ \text{J–s}}{1 \times 10^{-11}\ \text{m} \times 4 \times 3.1416}$$

$$= 5.28 \times 10^{-24}\ \text{kgms}^{-1}$$

এখানে, $\Delta p = mv = 5.28 \times 10^{-24}\ \text{kgms}^{-1}$

এখানে,

ইলেকট্রনের ডি-ব্রগলি তরঙ্গ দৈর্ঘ্য, $\lambda = \frac{h}{\Delta p}$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34}\ \text{Js}}{5.28 \times 10^{-24}\ \text{kgms}^{-1}}$$

$$= 1.255 \times 10^{-10}\ \text{m}$$

$\therefore$ অবস্থানের এই অনিশ্চয়তার জন্য ইলেকট্রনের ডি- ব্রগলি তরঙ্গ দৈর্ঘ্য $= 1.255 \times 10^{-10}$ m

ঘ দেওয়া আছে,

ইলেকট্রনের অবস্থানের অনিশ্চয়তা, $\Delta x = 0.0100$ nm

$$= 1 \times 10^{-11}\text{m}$$

অনিশ্চয়তার নীতি অনুসারে, $\Delta x\, \Delta p \geq \frac{\nabla}{2}$

বা, $\Delta x\, \Delta p \geq \frac{1}{2} \times \frac{h}{2\pi}$

বা, $\Delta p \geq \frac{h}{4\pi\, \Delta x}$

$$\approx \frac{6.63 \times 10^{-34}\ \text{Js}}{4 \times 3.1416 \times 1 \times 10^{-11}\text{m}} = 5.28 \times 10^{-24}\ \text{kg ms}^{-1}$$

এখানে,

$\Delta p = mv = 5.28 \times 10^{-24}\ \text{kgms}^{-1}$

বা, $v = \frac{5.28 \times 10^{-24}}{9.1 \times 10^{-31}}\ \text{ms}^{-1}$

$$= 5.8 \times 10^{6}\ \text{ms}^{-1}$$

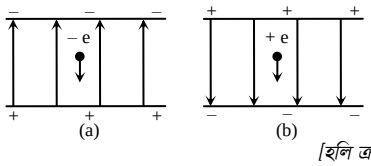
$\therefore$ ইলেকট্রনের গতিশক্তি, $E_k = \frac{1}{2}mv^2$

$$= \frac{1}{2} \times 9.1 \times 10^{-31} \times (5.8 \times 10^{6})^2$$

$$= 1.53 \times 10^{-17}\ \text{J}$$

অর্থাৎ অবস্থানের এই অনিশ্চয়তার জন্য ইলেকট্রনের গতিশক্তি নির্ণয় সম্ভব।

প্রশ্ন ▶ ৭ নিচের চিত্রানুসারে একটি ইলেকট্রন চিত্র (a) প্রোটন চিত্র (b) নিচে পতিত হচ্ছে। এখানে উপরের পেণ্টট থেকে নিচের পেণ্টটের দূরত্ব 1.5 সেমি এবং তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য $2 \times 10^8\ \text{NC}^{-1}$ (এখানে প্রোটনের ভর ইলেকট্রনের ভরের 1830 গুণ)।



[হলি ক্রস কলেজ, ঢাকা]

ক. ফার্মাটের সূত্রটি লেখ। ১

খ. ডায়াচুম্বক পদার্থের চৌম্বক মোমেন্ট থাকে কি? ব্যাখ্যা কর। ২

গ. ইলেকট্রন ও প্রোটনের ত্বরণ নির্ণয় কর। ৩

ঘ. ইলেকট্রন ও প্রোটন কি একই সময়ে যথাক্রমে নেগেটিভ পেণ্টট থেকে পজেটিভ পেণ্টটে এবং পজেটিভ পেণ্টট থেকে নেগেটিভ পেণ্টটে এসে পৌঁছাবে? তোমার উত্তরের যথার্থতা যথাযথভাবে ব্যাখ্যা কর। ৪

৭ নং প্রশ্নের উত্তর

ক কোন আলোকরশ্মি যখন প্রতিফলন বা প্রতিসরণের সূত্র মেনে কোন সমতল পৃষ্ঠে প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হয় তখন তা সর্বদা ক্ষুদ্রতম পথ অনুসরণ করে।

খ ডায়া চৌম্বক পদার্থের অস্থায়ী চৌম্বক মোমেন্ট থাকে। প্রতিটি ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রনের সঙ্গে একটি কক্ষীয় চৌম্বক মোমেন্ট রয়েছে। কিন্তু পরমাণুর কক্ষসমূহের 'দিক ভঙ্গি', ভিন্ন ভিন্ন হওয়ার কারণে পরমাণুটির কক্ষীয় কোনো নীট চৌম্বক প্রভাব নেই। ইলেকট্রন সমূহের চৌম্বক প্রভাব পরস্পরকে একেবারে বিলীন করে দেয়। অর্থাৎ, ডায়াচৌম্বক পদার্থের কোনো স্থায়ী চৌম্বক মোমেন্ট থাকে না।

গ আমরা জানি, $E = \frac{F}{q}$

কিন্তু, $F = ma$

$\therefore E = \frac{ma}{q}$

যেহেতু প্রোটন ও ইলেকট্রনের ভর অনেক কম তাই অভিকর্ষ বলের মান অনেক কম হবে যা বিবেচনায় না আনলেও এক্ষেত্রে চলবে।

এখানে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য, $E = 2 \times 10^8\ \text{NC}^{-1}$

ইলেকট্রনের ভর, $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg.

প্রোটনের ভর, $m_p = 1.67 \times 10^{-27}$ kg.

ইলেকট্রনের আধান, $q_e = -1.6 \times 10^{-19}$ C

প্রোটনের আধান, $q_p = 1.6 \times 10^{-19}$C

$\therefore$ ইলেকট্রনের ত্বরণ, $a_e = \frac{E \times q_e}{m_e}$

$$= \frac{2 \times 10^8\ \text{NC}^{-1} \times 1.6 \times 10^{-19}\text{C}}{9.1 \times 10^{-31}\ \text{kg}}$$

$$= 3.52 \times 10^{19}\ \text{ms}^{-2}$$

$\therefore$ প্রোটনের ত্বরণ, $a_p = \frac{E \times q_p}{m_p}$

$$= \frac{2 \times 10^8\ \text{NC}^{-1} \times 1.6 \times 10^{-19}\text{C}}{1.67 \times 10^{-27}\ \text{kg}}$$

$$= 1.92 \times 10^{16}\ \text{ms}^{-2}$$

ঘ (গ) নং হতে পাই,

ইলেকট্রনের ত্বরণ, $a_e = 3.52 \times 10^{19}\text{ms}^{-2}$

প্রোটনের ত্বরণ, $a_p = 1.92 \times 10^{16}\ \text{ms}^{-2}$

পেণ্টটদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব, $S = 1.5$ cm $= 0.015$m

ইলেকট্রনের আদিবেগ, $u_e = 0\ \text{ms}^{-1}$

প্রোটনের আদিবেগ, $u_p = 0\ ms^{-1}$
ইলেকট্রনের পতনের সময়, $t_e = ?$
প্রোটনের পতনের সময়, $t_p = ?$
আমরা জানি, $S = u_e t_e + \frac{1}{2} a_e t_e^2$

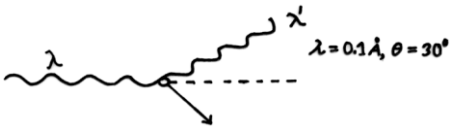
$$\text{বা, } 0.015 = 0 \times t_e + \frac{1}{2} \times 3.52 \times 10^{19} \times t_e^2$$
$$\text{বা, } 2 \times 0.015 = 3.52 \times 10^{19} \times t_e^2$$
$$\text{বা, } t_e^2 = \frac{2 \times 0.015}{3.52 \times 10^{19}}$$
$$\text{বা, } t_e = \sqrt{\frac{2 \times 0.015}{3.52 \times 10^{19}}}$$
$$\therefore t_e = 2.92 \times 10^{-11}\ s.$$

∴ প্রোটনের পতনের সময় t_p হলে,
আমরা জানি,

$$S = u_p t_p + \frac{1}{2} a_p t_p^2$$
$$\text{বা, } 0.015\ m = 0 \times t_p + \frac{1}{2} \times 1.92 \times 10^{16} \times t_p^2$$
$$\text{বা, } t_p^2 = \frac{0.015 \times 2}{1.92 \times 10^{16}}$$
$$\text{বা, } t_p = \sqrt{\frac{0.015 \times 2}{1.92 \times 10^{16}}}$$
$$\therefore t_p = 1.25 \times 10^{-9}\ s.$$

অর্থাৎ, ইলেকট্রনের পতনের জন্য প্রোটন অপেক্ষা কম সময় লাগবে।

প্রশ্ন ▶ ৮



আপতিত ফোটন ও নির্গত ফোটনের মধ্যে তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন দেখা গেল। নিচের প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও: *[উদয়ন উচ্চ মাধ্যমিক বিদ্যালয়, ঢাকা]*

ক. কম্পটন ক্রিয়া কী? ১
খ. কোন ইলেক্ট্রন নিউক্লিয়াসে থাকতে পারে না – হাইসেনবার্গের অনিশ্চয়তার সূত্রের সাহায্যে ব্যাখ্যা কর। ২
গ. আপতিত ও নির্গত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য নির্ণয় কর। ৩
ঘ. উদ্দীপকের ফোটনটি আরো 2° কম কোণে বিক্ষিপ্ত হয় তবে ফোটনটির শক্তির পরিবর্তন বিশেণ্ডষণ কর। ৪

৮ নং প্রশ্নের উত্তর

ক কোনো একটি শক্তিশালী ফোটনের সাথে মুক্ত ইলেকট্রনের সংঘর্ষ ঘটলে ফোটনটি ইলেকট্রনকে কিছু শক্তি প্রদান করে। এতে বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য আপতিত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চেয়ে বেশি হওয়ার ঘটনাকে কম্পটন ক্রিয়া বলে।

খ পরমাণুর নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ 10^{-14} m প্রায়। সুতরাং ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের অভ্যন্ড়রে আবদ্ধ থাকতে হলে এর অবস্থানের অনিশ্চয়তা অবশ্যই 2×10^{-14} m এর অধিক হবেনা।
এখন Δx এবং Δp যথাক্রমে অবস্থান ও ভরবেগের অনিশ্চয়তা হলে,

$$\Delta x\ \Delta p \text{ এর ন্যূনতম মান} = \frac{\nabla}{2} = \frac{h}{4\pi}$$

এই সমীকরণ অনুযায়ী ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের অভ্যন্ড়রে থাকতে হলে একে 23.9MeV শক্তির অধিকারী হতে হবে। কিন্তু পরীক্ষালব্ধ ফলাফল থেকে দেখাযায় যে, ইলেকট্রনের শক্তি 4 MeV এর অধিক হয় না। সুতরাং নিউক্লিয়াসের অভ্যন্ড়রে ইলেকট্রন থাকতে পারে না।

গ দেওয়া আছে,
আপতিত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 0.1Å = 0.1 \times 10^{-10}m = 10^{-11}m$
বিক্ষেপনকোণ, $\phi = 30°$
জানা আছে পণ্ডাংকের ধ্রুবক, $h = 6.63 \times 10^{-34}J.s$
শূন্যস্থানে আলোর বেগ, $c = 3 \times 10^8 ms^{-1}$
ইলেকট্রনের ভর, $m_o = 9.1 \times 10^{-31}\ kg$
নির্গত বা বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ' হলে,
আপতিত ও নির্গত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য $= \lambda - \lambda'$

$$= \frac{h}{m_o c}(1 - \cos\phi)$$
$$= \frac{6.63 \times 10^{-34} J.s}{9.1 \times 10^{-31}\ kg \times 3 \times 10^8\ ms^{-1}}(1 - \cos 30°)$$
$$= 3.25 \times 10^{-13} m \textbf{ (Ans.)}$$

ঘ উদ্দীপকের বর্ণনানুযায়ী নির্গত বা বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য, λ'

$$= \lambda + \frac{h}{m_o c}(1 - \cos\phi)$$
$$= 10^{-11}m + 3.25 \times 10^{-13}m = 1.0325 \times 10^{-11}m$$

ফোটনটির শক্তির পরিবর্তন, $h\nu - h\nu' = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda'} = hc\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'}\right)$

$$= 6.63 \times 10^{-34} J.s \times 3 \times 10^8\ ms^{-1} \times \left(\frac{1}{10^{-11}m} - \frac{1}{1.0325 \times 10^{-11}m}\right)$$
$$= 6.26 \times 10^{-16} J$$

উদ্দীপকের ফোটনটি আগে 2° কম কোণে বিক্ষিপ্ত হলে, বিক্ষেপন কোণের মান হতো, $\phi' = 30° - 2° = 28°$
সেক্ষেত্রে বিক্ষিপ্ত বা নির্গত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য হতো,

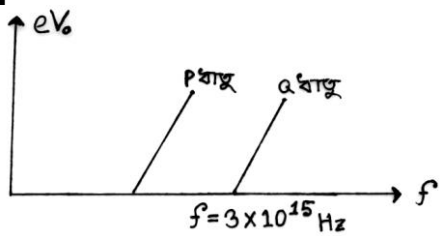
$$\lambda' = \lambda + \frac{h}{m_o c}(1 - \cos\phi')$$
$$= 10^{-11}m + \frac{6.63 \times 10^{-34}}{9.1 \times 10^{-31} \times 3 \times 10^8}(1 - \cos 28°)$$
$$= 10^{-11}\ m + 2.843 \times 10^{-13} m = 1.02843 \times 10^{-11} m$$

∴ $\phi' = 28°$ কোণে বিক্ষেপণের দরুন ফোটনটির শক্তির পরিবর্তন $= h\nu - h\nu' = hc\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'}\right)$

$$= 6.63 \times 10^{-34} J.s \times 3 \times 10^8 ms^{-1} \times \left(\frac{1}{10^{-11}m} - \frac{1}{1.02843 \times 10^{-11}m}\right)$$
$$= 5.5 \times 10^{-16} J$$

গাণিতিক বিশেণ্ডষণে দেখা যাচ্ছে যে, 30° কোণে বিক্ষেপনের দরুন ফোটনটি 6.26×10^{-16}J পরিমাণ শক্তি হারায় এবং এর চেয়ে 2° কম কোণে অর্থাৎ 28° কোণে বিক্ষেপণের দরুন ফোটনটি 5.5×10^{-16}J পরিমাণ শক্তি হারায়। হারানো এই দুই শক্তির পরিমাণের পার্থক্য
$= 6.26 \times 10^{-16}J - 5.5 \times 10^{-16}J = 7.6 \times 10^{-17}J$

প্রশ্ন ▶ ৯



চিত্রে 'P' ও 'Q' ধাতুর ক্ষেত্রে কম্পাঙ্ক বনাম গতিশক্তির লেখচিত্র দেখানো হয়েছে। *[ক্যান্টনমেন্ট পাবলিক স্কুল ও কলেজ, মোমেনশাহী]*

ক. লরেঞ্জ বল কাকে বলে? ১
খ. ফটোতড়িৎ ক্রিয়ায় কোনো ধাতু থেকে ইলেকট্রন নি:সরণ হওয়ার শর্ত ব্যাখ্যা কর। ২
গ. Q ধাতুর সূচন কম্পাংক P ধাতুর উপর আপতিত করলে 7.45 eV গতি শক্তির ইলেকট্রন নির্গত হলে P এর সূচক কম্পাংক কত? ৩
ঘ. যদি 8×10^{15}Hz কম্পাংকের আলো উভয় ধাতুর উপর আপতিত করা হয় তাহলে এদের নিবৃত্তি বিভবের তারতম্য গাণিতিক ভাবে বিশেণ্ডষণ কর। ৪

৯ নং প্রশ্নের উত্তর

ক কোন স্থানে তড়িৎ ক্ষেত্র ও চৌম্বক ক্ষেত্র যুগপৎ বিদ্যমান থাকলে সেখানে একটি গতিশীল চার্জ যে লব্ধি বল অনুভব করে তাকে লরেঞ্জ বল বলে।

$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{V} \times \vec{B}$.

খ প্রতিটি ধাতুর ইলেকট্রন নির্গমনের ক্ষেত্রে আপতিত আলোক রশ্মির একটি নির্দিষ্ট ন্যূনতম কম্পাঙ্ক রয়েছে যার নাম প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক। ফটোতড়িৎ ক্রিয়ায় কোনো ধাতু থেকে ইলেকট্রন নিঃসরণ হতে হলে আপতিত আলোক রশ্মির কম্পাঙ্ক ধাতুর প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক অপেক্ষা বেশি হতে হয়।

গ দেয়া আছে,

Q ধাতুর সূচন কম্পাঙ্ক, $f_o = 3 \times 10^{15}$ Hz

ইলেকট্রনের গতি শক্তি, $E_{kP} = 7.45$eV

$= 7.45 \times 1.6 \times 10^{-19}$J

$= 1.192 \times 10^{-18}$J.

আমরা জানি,

$E_{kP} = hf - hf_o$

$\Rightarrow f_o = (hf - E_{kP})/h = \dfrac{6.6 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{15} - 1.192 \times 10^{-18}}{6.6 \times 10^{-34}}$

$\therefore f_o = 1.19 \times 10^{15}$ Hz **(Ans.)**

ঘ দেয়া আছে,

আপতিত আলোক রশ্মির কম্পাঙ্ক, $f = 8 \times 10^{15}$ Hz

P ধাতুর সূচন কম্পাঙ্ক, $f_{oP} = 1.19 \times 10^{15}$ Hz

Q ধাতুর সূচন কম্পাঙ্ক, $f_{oQ} = 3 \times 10^{15}$Hz

পণ্ঢাঙ্কের ধ্রুবক, $h = 6.6 \times 10^{-34}$ m^{2}kg/s.

আমরা জানি,

P এর ক্ষেত্রে, $E_{kP} = hf - hf_{oP}$

$= h(f - f_{oP})$

$= 6.6 \times 10^{-34}(8 \times 10^{15} - 1.19 \times 10^{15})$

$= 4.49 \times 10^{-18}$J

$\therefore$ P ধাতুর নিবৃত্তি বিভব, $V_p = \dfrac{4.49 \times 10^{-18}}{1.6 \times 10^{-19}}$

$= 28.09$V

আবার, Q ধাতুর ক্ষেত্রে, $E_{kQ} = hf - hf_{oQ}$

$= h(f - f_{oQ})$

$= 6.6 \times 10^{-34}\ (8 \times 10^{15} - 3 \times 10^{15})$

$= 3.3 \times 10^{-19}$J

Q ধাতুর নিবৃত্তি বিভব, $V_Q = \dfrac{3.3 \times 10^{-18}}{1.6 \times 10^{-19}}$

$= 20.625$ V

$\therefore$ P ধাতু ও Q ধাতুর নিবৃত্তি বিভবের পার্থক্য

$= (28.09 - 20.625)$ V $= 7.465$ V

প্রশ্ন ▶ ১০ জনির ভর 55 কেজি এবং বয়স 40 বছর। সে 2.4×10^8ms^{-1} বেগে গতিশীল মহাশূন্যযানে চড়ে ছায়াপথ অনুসন্ধানে গেল। তার যমজ ভাই রনির বয়স যখন 80 বছর হলো তখন সে পৃথিবীতে ফিরে এলো। *[ক্যান্টনমেন্ট পাবলিক স্কুল ও কলেজ, রংপুর]*

ক. ভরের আপেক্ষিকতা কাকে বলে? ১

খ. অবতল লেন্সে গঠিত প্রতিবিম্ব পর্দায় উৎপন্ন হয় কি-না- ব্যাখ্যা কর। ২

গ. মহাশূন্যযানে জনির ভর নির্ণয় কর। ৩

ঘ. উদ্দীপকে দু'ভাইয়ের বর্তমান বয়স সমান থাকবে কি-না- গাণিতিক বিশেণ্ঢষণসহ মতামত দাও। ৪

১০ নং প্রশ্নের উত্তর

ক কোনো বস্তুর গতিবেগ বৃদ্ধির সাথে সাথে এর ভর বৃদ্ধির বিষয়টিকে ভরের আপেক্ষিকতা বলে।

খ অবতল লেন্স অপসারি ক্ষমতাসম্পন্ন। অর্থাৎ বেশিরভাগ ক্ষেত্রে আলোকরশ্মিগুচ্ছ অবতল লেন্সে প্রতিসরণের পর অপসারীগুচ্ছে পরিণত হয়, অর্থাৎ আলোক রশ্মিগুলো একে অপর হতে দূরে সরে যায়, ফলে এরা সামনে গিয়ে মিলিত হয় না, তবে আপাতভাবে রশ্মিগুলো (অবাস্ড়ব) কোনো বিন্দু হতে নি:সৃত হচ্ছে বলে মনে হয়। ঐ বিন্দুতে অবাস্ড়ব বিম্ব গঠিত হয়। আলোক রশ্মিগুচ্ছের প্রকৃত মিলনের ফলে এই বিম্ব গঠিত হয় না, তাই এই বিম্ব পর্দায় ফেলা যায় না। তবে, অত্যধিক অভিসারী রশ্মিগুচ্ছ অবতল লেন্সে প্রতিসরণের পরও অভিসারীই থেকে যেতে পারে (পূর্বের তুলনায় কম অভিসারী)। এই অভিসারীগুচ্ছ কোনো পর্দায় ফোকাসের মাধ্যমে সেখানে বিম্ব গঠন করতে পারে।

গ দেওয়া আছে, জনির নিশ্চল ভর, $m_o = 55$kg

মহাশূন্যযানের বেগ, $v = 2.4 \times 10^8$ms^{-1}

শূন্যস্থানে আলোর বেগ, $c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}

বের করতে হবে, মহাশূন্যযানে জনির ভর, $m = ?$

আমরা জানি,

$$m = \frac{m_o}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{55\text{kg}}{\sqrt{1-\left(\frac{2.4\times10^8\text{ms}^{-1}}{3\times10^8\text{ms}^{-1}}\right)^2}}$$

$= 91.67$ kg **(Ans.)**

ঘ পৃথিবীতে (অর্থাৎ প্রসঙ্গ কাঠামোতে) অতিবাহিত সময়কাল, $t = 80y - 40y = 40$ y

পৃথিবীর সাপেক্ষে মহাশূন্যযানের গতিবেগ, $v = 2.4 \times 10^8$ ms^{-1}

জানাআছে, শূন্যস্থানে আলোর গতিবেগ, $c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}

মহাশূন্যযানে অতিবাহিত সময়কাল t_o হলে,

$$t = \frac{t_o}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\therefore t_o = t\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} = 40y \times \sqrt{1-\left(\frac{2.4\times10^8\text{ms}^{-1}}{3\times10^8\text{ms}^{-1}}\right)^2}$$

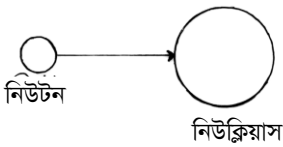
$= 24$ y

$\therefore$ পৃথিবীতে ফিরে আসার মুহূর্তে জনির বয়স $= 40y + 24y = 64$ y

এবং তখন রনির বয়স 80y যেহেতু $64y \neq 80y$

সুতরাং, উদ্দীপকে দু'ভাইয়ের বর্তমান বয়স সমান থাকবে না।

প্রশ্ন ▶ ১১



নিউক্লিয়াসটির বন্ধনশক্তি 650MeV ও নিউট্রনটির স্থির ভর 1.675×10^{-27}kg

[আনন্দ মোহন কলেজ, ময়মনসিংহ]

ক. ফটো তড়িৎ প্রবাহ কী? ১

খ. হাইড্রোজেন পরমাণুর ভূমি অবস্থার শক্তি থেকে ১ম উত্তেজিত অবস্থার শক্তি বেশি ব্যাখ্যা কর। ২

গ. উদ্দীপকের নিউক্লিয়াসটি যদি উক্ত নিউট্রন দ্বারা আঘাতপ্রাপ্ত হয়ে ভেঙ্গে যায় তবে নিউট্রনটির চলমান ভর নির্ণয় কর। ৩

ঘ. নিউট্রনটি 0.82c বেগে গতিপ্রাপ্ত হলে উদ্দীপকে উলেণ্ঢখিত নিউক্লিয়াসটিকে কি ভাঙতে পারবে? গাণিতিকভাবে তোমার উত্তরের স্বপক্ষে যুক্তি দাও। ৪

১১ নং প্রশ্নের উত্তর

ক কোনো ধাতু খন্ডের ওপর উচ্চ কম্পনাঙ্কের তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণ আপতিত হলে এর পৃষ্ঠ হতে ইলেকট্রন নি:সরনের মাধ্যমে তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি হওয়ার ঘটনাকে ফটো তড়িৎ প্রবাহ বলে।

খ আমরা জানি, হাইড্রোজেন পরমাণুর ভূমি অবস্থায় শক্তি, $E_1 = -13.6$ ev

এবং n- তম বোর কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি, $E_n = \dfrac{E_1}{n^2}$

∴ ২য় বোর কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি বা ১ম উত্তেজিত অবস্থায় শক্তি,

$E_2 = \frac{E_1}{2^2} = \frac{-13.6eV}{4} = -3.4eV$

সংখ্যাতত্ত্ব বিবেচনায়, $-3.4eV > -13.6eV$

কারণ $-13.6eV$ এর তুলনায় $-3.4eV$ কম ঋণাত্মক। সুতরাং হাইড্রোজেন পরমাণুর ভূমি অবস্থার শক্তি থেকে ১ম উত্তেজিত অবস্থায় শক্তি বেশি। তদুপরি মনে রাখতে হবে যে, কোনো তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণ বা ফোটন শোষনের মাধ্যমেই একটি ইলেকট্রন ভূমি অবস্থা থেকে ১ম উত্তেজিত (বা ২য় কক্ষপথে) অবস্থায় আসে।

গ প্রশ্নমতে,

নিউট্রনটির গতিশক্তি, E_k = নিউক্লিয়াসটির বন্ধনশক্তি-

$= 650\ MeV = 650 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} J$

দেওয়া আছে, নিউট্রনটির স্থির ভর, $m_o = 1.675 \times 10^{-27} kg$

জানা আছে, শূন্যস্থানে আলোর দ্রুতি, $c = 3 \times 10^8\ ms^{-1}$

বের করতে হবে, নিউট্রনটির চলমান ভর, $m = ?$

আমরাজানি, $E_k = (m - m_o)c^2$

বা, $m - m_o = \frac{E_k}{c^2}$

$\therefore m = m_o + \frac{E_k}{c^2} = 1.675 \times 10^{-27} kg + \frac{650 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} J}{(3 \times 10^8 ms^{-1})^2}$

$= 2.83 \times 10^{-27}$ kg **(Ans.)**

ঘ উদ্দীপকমতে,

নিউট্রনটির স্থির ভর, $m_o = 1.675 \times 10^{-27} kg$

প্রশ্নমতে, নিউট্রনটির গতিবেগ, $v = 0.82c$

যেখানে শূন্যস্থানে আলোর গতিবেগ, $c = 3 \times 10^8\ ms^{-1}$

$v = 0.82c$ গতিবেগে চলন্ড় অবস্থায় নিউট্রনের আপেক্ষিকতাবাদ ভিত্তিক গতিশক্তি,

$E_k = (m - m_o)c^2 = \left(\frac{m_o}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - m_o\right)c^2$

$= m_o c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1\right)$

$= 1.675 \times 10^{-27}\ kg \times (3 \times 10^8 ms^{-1})^2 \left\{\frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{0.82c}{c}\right)^2}} - 1\right\}$

$= 1.675 \times 10^{-27}\ kg \times 9 \times 10^{16}\ m^2 s^{-2} \times 0.74714$

$= 1.1263 \times 10^{-10} J = \frac{1.1263 \times 10^{-10}}{1.6 \times 10^{-19}}\ eV$

$= 704 \times 10^6 eV$

$= 704\ MeV > 650\ MeV$ (নিউক্লিয়াসটির বন্ধনশক্তি)

সুতরাং, নিউট্রনটি 0.82c বেগে গতিপ্রাপ্ত হলে উদ্দীপকে উল্লেখিত নিউক্লিয়াসটিকে ভাঙতে পারবে।

প্রশ্ন ▶ ১২ তুহিন ও রবিন দুই বন্ধু তাদের বয়স যথাক্রমে 30 এবং 37 বছর। তারা 35m দৈর্ঘ্যের একটি মহাকাশযান নিয়ে 0.7c বেগে মহাকাশ ভ্রমণে গেলেন। পৃথিবীর হিসেবে তারা 22 বছর পর ফিরে এলেন। পৃথিবীতে মানুষের সর্বোচ্চ আয়ু 60 বছর *[নটর ডেম কলেজ, ময়মনসিংহ]*

ক. আলোর অপবর্তন কী? ১

খ. গঠনমূলক ব্যতিচার সৃষ্টির শর্ত ব্যাখ্যা কর। ২

গ. পৃথিবীর একজন পর্যবেক্ষকের কাছে উদ্দীপকের মহাকাশযানটির দৈর্ঘ্য কত মনে হবে? ৩

ঘ. উদ্দীপকের তুহিন ও রবিন পৃথিবীতে জীবিত না মৃত অবস্থায় ফিরে আসবে গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা কর। ৪

১২ নং প্রশ্নের উত্তর

ক কোন প্রতিবন্ধকের ধার ঘেঁষে বা সরু চিরের মধ্য দিয়ে যাওয়ার সময় জ্যামিতিক ছায়া অঞ্চলের মধ্যে আলোর বেঁকে যাওয়ার ঘটনাকে আলোর অপবর্তন বলে।

খ দুটি তরঙ্গ যখন একই দশায় মিলিত হয় তখন লব্ধি তরঙ্গের বিস্তার তথা প্রাবল্য সর্বাধিক হয় ফলে উজ্জ্বল ডোরার সৃষ্টি হয় ও গঠনমূলক ব্যতিচার ঘটে।

পর্দার উপর যে সকল বিন্দুতে আপতিত তরঙ্গদ্বয়ের পথ পার্থক্য $\frac{\lambda}{2}$ এর জোড় গুণিতক সে সকল বিন্দুতে গঠনমূলক ব্যতিচার সৃষ্টি হয়।

গ এখানে,

মহাকাশযানে আদি দৈর্ঘ্য, $L_o = 35$ m

মহাকাশযানের বেগ, $v = 0.7c$

পর্যবেক্ষকের কাছে মহাকাশযানের দৈর্ঘ্য, $L = ?$

আমরা জানি,

$L = L_o \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$

বা, $L = 35 \times \sqrt{1-\left(\frac{0.7c}{c}\right)^2}$

∴ $L = 24.995$m **(Ans.)**

ঘ এখানে,

তুহিনের বয়স = 30 বছর

রবিনের বয়স = 37 বছর

পৃথিবীতে মানুষের সর্বোচ্চ আয়ু = 60 বছর

মহাকাশযানের বেগ, $v = 0.7c$

পৃথিবীর হিসেবে ব্যয়িত সময় $t = 22$ বছর।

ধরি, গতিশীল অবস্থায় ব্যয়িত সময়, $= t_o$

আমরা জানি, $t = \frac{t_o}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$

বা, $t_o = t\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$

বা, $t_o = 22\sqrt{1-\frac{(0.7c)^2}{c^2}}$

∴ $t_o = 15.71$ বাছর

∴ ফিরে আসার পর তুহিনের বয়স = (30 + 15.71) বছর = 45.71 বছর < 60 বছর ফিরে আসার পর রবিনের বয়স = (37 + 15.71) বছর = 52.71 বছর <60 বছর

সুতরাং, তুহিন ও রবিন পৃথিবীতে জীবিত অবস্থায় ফিরে আসবে।

প্রশ্ন ▶ ১৩ নাজমুলের ভর 60 kg এবং বয়স 35 বছর। সে $2.4 \times 10^8 ms^{-1}$ বেগে গতিশীল মহাশূন্যযানে চড়ে ছায়াপথ অনুসন্ধানে গেল। তার যমজ ভাই আরিফের বয়স যখন 70 বছর হলো তখন সে পৃথিবীতে ফিরে এলো। *[ইঞ্জিনিয়ারিং ইউনিভারসিটি স্কুল এন্ড কলেজ, ঢাকা]*

ক. হাইজেন-বার্গের অনিশ্চয়তা তত্ত্ব বিবৃত কর। ১

খ. ফটো তড়িৎ ক্রিয়া একটি তাৎক্ষণিক ঘটনা ব্যাখ্যা কর। ২

গ. মহাশূন্যযানে নাজমুলের শক্তি কত? ৩

ঘ. উদ্দীপকে দুই ভাইয়ের বর্তমান বয়স সমান থাকবে কিনা, থাকলে কত পার্থক্য হবে? গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা করে মতামত দাও। ৪

১৩ নং প্রশ্নের উত্তর

ক হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা তত্ত্ব অনুসারে, কোন গতিশীল বস্তুকণার অবস্থান এবং ভরবেগ উভয়ই- যুগপৎভাবে সঠিকভাবে পরিমাপ করা সম্ভব নয়।

খ চিরায়িত পদার্থবিজ্ঞান অনুসারে, ফটোতড়িৎ প্রক্রিয়ার মাধ্যমে ইলেকট্রন মুক্ত হতে কয়েক সপ্তাহ সময় লাগার কথা। কিন্তু বাস্তবে তা ভিন্ন এবং তাৎক্ষণিক। কারণ শক্তির বিকিরণ বা শোষণ ঘটে গুচ্ছ গুচ্ছ বা প্যাকেট আকারে। যাকে ফোটন বলে। ফোটন ইলেকট্রনকে আঘাত করলেই শক্তি শোষিত হয় এবং ইলেকট্রন নি:সৃত হয়। রশ্মির আপতন ও ইলেকট্রন নি:সরণ এই দুইয়ের মধ্যে কোন কাল বিলম্ব নেই, অর্থাৎ, প্রক্রিয়াটি তাৎক্ষণিক।

গ

আমরাজানি,
চলমান ভর m হলে,

$$m = \frac{m_o}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

$$= \frac{60\ kg}{\sqrt{1-\frac{(2.4\times10^8 ms^{-1})^2}{(3\times10^8 ms^{-1})^2}}}$$

$$= 100\ kg$$

এখানে,
নাজমুলের ভর = অর্থাৎ
নিশ্চল ভর, $m_o = 60$ kg
বয়স = 35 বছর
বেগ, $v = 2.4\times10^8 ms^{-1}$
আলোর বেগ, $c = 3\times10^8 ms^{-1}$

∴ মহাশূন্যযানে নাজমুলের গতিশক্তি, $k = (m - m_o)c^2$
$= (100kg - 60kg)\times(3\times10^8 ms^{-1})^2$
$= 3.6\times10^{18}$ J

মোট শক্তি, $E = mc^2$
$= 100kg\times(3\times10^8 ms^{-1})^2$
$= 9\times10^{18}$ J **(Ans.)**

ঘ এখানে,
ভূপৃষ্ঠ হতে নির্ণীত সময় ব্যবধান, $t = (70 - 35)$ years
$= 35$ years
আলোর দ্রুতি, $c = 3\times10^8 ms^{-1}$
মহাশূন্যযানের দ্রুতি, $v = 2.4\times10^8 ms^{-1}$
মহাশূন্যযানে নাজমুলের বয়স, t_o = ?

আমরা জানি,

$$t = \frac{t_o}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

বা, $t_o = t\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$

$$= (35 years)\sqrt{1-\frac{(2.4\times10^8 ms^{-1})^2}{(3\times10^8 ms^{-1})^2}}$$

$= 21$ years

∴ নাজমুলের বয়স হবে = (35 years + 21 years)
= 56 years

∴ উদ্দীপকের দুই ভাইয়ের বয়স সমান হবেনা। নাজমুলের যমজ ভাইয়ের বয়স 70 years হলেও নাজমুলের বয়স 56 years হবে।

প্রশ্ন ▶১৪ ভূ-পৃষ্ঠের একটি রকেটের দৈর্ঘ্য 100m। এটি ভূ-পৃষ্ঠের কোনো স্থির পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে 3×10^9 cms^{-1} বেগে চলতে শুরু করল। *[আমর্ড পুলিশ ব্যাটালিয়ন পাবলিক স্কুল এন্ড কলেজ, বগুড়া]*

ক. তড়িৎ বিভব কী? ১
খ. তড়িৎ আবেশ বলতে কী বুঝ? ২
গ. ভূ-পৃষ্ঠের রকেটটির চলমান দৈর্ঘ্য ও নিশ্চল অবস্থায় দৈর্ঘ্যের পার্থক্য নির্ণয় কর। ৩
ঘ. রকেটটি কত দ্রুতিতে চললে এর চলমান দৈর্ঘ্য নিশ্চল দৈর্ঘ্যের এক তৃতীয়াংশ হবে? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। ৪

১৪ নং প্রশ্নের উত্তর

ক অসীম হতে একক ধনাত্মক আধানকে তড়িৎক্ষেত্র বা পরিবাহীর কোন বিন্দুতে আনতে যে পরিমাণ কাজ করতে হয় তাকে ঐ বিন্দুর তড়িৎ বিভব বলে।

খ কোন পরিবাহীর নিকট একটি আহিত বস্তুকে রেখে আহিত বস্তুর প্রভাবে পরিবাহকটি সাময়িকভাবে আহিত করার পদ্ধতিকে তড়িৎ আবেশ বলে।

একটি শুকনো কাচদন্ডকে রেশম দিয়ে ভাল করে ঘষে ধনাত্মকভাবে আহিত করা হল। এবার একটি অনাহিত পরিবাহক দন্ডকে কাচদন্ডের নিকট আনলে মুক্ত ইলেকট্রনগুলো কাচদন্ডের ধনাত্মক আধানের পাশে চলে যায় এবং অপর প্রান্তে ঋণাত্মক আধানের উদ্ভব হয়। এভাবে অনাহিত বস্তুটি কাচদন্ডের প্রভাবে আহিত হয়।

গ এখানে,
স্থির অবস্থায় দৈর্ঘ্য, $L_o = 100$m
রকেটের বেগ, $v = 3\times10^9$ cms^{-1}
$= 3\times10^7 ms^{-1}$
চলমান দৈর্ঘ্য, L = ?
আলোর বেগ, $c = 3\times10^8 ms^{-1}$

আমরা জানি,

$$L = L_o\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

$$= 100\times\sqrt{1-\left(\frac{3\times10^7}{3\times10^8}\right)^2}$$

$$= 100\times\sqrt{1-0.01}$$

$= 99.498$ m

∴ চলমান দৈর্ঘ্য = 99.5 m
নিশ্চল বা স্থিরাবস্থায় দৈর্ঘ্য = 100m
চলমান ও নিশ্চল দৈর্ঘ্যের পার্থক্য = (100 – 99.5)m
= 0.5 m **(Ans.)**

ঘ

আমরা জানি,

$$L = L_o\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

বা, $\frac{L_o}{3} = L_o\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$

$$\Rightarrow \frac{1}{3} = \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

$$\Rightarrow \frac{v^2}{c^2} = 1-\frac{1}{9}$$

$$\Rightarrow \frac{v^2}{c^2} = \frac{8}{9}$$

$$\Rightarrow v^2 = \frac{8}{9}\times(3\times10^8)^2$$

∴ $v = 2.82\times10^8 ms^{-1}$

এখানে,
নিশ্চল দৈর্ঘ্য = L_o (ধরি)
চলমান দৈর্ঘ্য, $L = \frac{L_o}{3}$
আলোর বেগ, $c = 3\times10^8 ms^{-1}$
রকেটের দ্রুতি, v = ?

অর্থাৎ, রকেটটি $2.82\times10^8 ms^{-1}$ দ্রুতিতে চললে এর চলমান দৈর্ঘ্য নিশ্চল দৈর্ঘ্যের এক তৃতীয়াংশ হবে।

প্রশ্ন ▶১৫ একটি কার্বন খন্ড থেকে 10pm তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের X রশ্মি কোন লক্ষ্যবস্তুতে আঘাত হানায় বিক্ষিপ্ত বিকিরণটি আপতিত রশ্মির দিকের সাথে 60° কোণে বিক্ষিপ্ত হয়। *[প্রেসিডেন্ট প্রফেসর ড. ইয়াজউদ্দিন আহমেদ রেসিডেনসিয়াল মডেল স্কুল এন্ড কলেজ, মুন্সিগঞ্জ]*

ক. সূচন কম্পাঙ্ক কী? ১
খ. নিউক্লিয়াসের ভিতরে ইলেকট্রন থাকতে পারে না কেন? ব্যাখ্যা কর। ২
গ. বিক্ষিপ্ত X রশ্মির সর্বোচ্চ তরঙ্গ দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। ৩
ঘ. বিক্ষিপ্ত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি নির্ণয় কর। ৪

১৫ নং প্রশ্নের উত্তর

ক প্রত্যেক ধাতুর ক্ষেত্রে একটি ন্যূনতম কম্পাঙ্ক আছে যার চেয়ে কম কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট কোনো আলো ঐ ধাতু থেকে ইলেকট্রন নির্গত করতে পারে না। ঐ ন্যূনতম কম্পাঙ্ককে ঐ ধাতুর সূচন কম্পাঙ্ক বলে।

খ পরমাণুর নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ 10^{-14} m প্রায়। সুতরাং ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের অভ্যন্ড়রে আবদ্ধ থাকতে হলে এর অবস্থানের অনিশ্চয়তা অবশ্যই 2×10^{-14} m এর অধিক হবেনা।
এখন Δx এবং Δp যথাক্রমে অবস্থান ও ভরবেগের অনিশ্চয়তা হলে,

$\Delta x\, \Delta p$ এর ন্যূনতম মান $= \frac{\nabla}{2} = \frac{h}{4\pi}$

এই সমীকরণ অনুযায়ী ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের অভ্যন্ড়রে থাকতে হলে একে 23.9MeV শক্তির অধিকারী হতে হবে। কিন্তু পরীক্ষালব্ধ ফলাফল থেকে দেখাযায় যে, ইলেকট্রনের শক্তি 4 MeV এর অধিক হয় না। সুতরাং নিউক্লিয়াসের অভ্যন্ড়রে ইলেকট্রন থাকতে পারে না।

গ এখানে,
আপতিত তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 10\text{pm} = 10\times10^{-12}\text{m}$
সর্বোচ্চ কম্পাঙ্ক, $\lambda' = ?$
বিক্ষেপণের পরিমাণ, $\theta = 60°$
নিশ্চল ভর, $m_o = 9.1 \times 10^{-31}$ kg
আলোর বেগ, $c = 3 \times 10^8 ms^{-1}$
পণ্ঢাঙ্ক ধ্র“বক, $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J.s
আমরা জানি,

বিক্ষিপ্ত রশ্মির সর্বোচ্চ তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda' = \lambda + \frac{h}{m_o c}(1 - \cos\theta)$

$= 10\times10^{-12} + \frac{6.63 \times 10^{-34}}{9.1\times10^{-31}\times3 \times 10^8} \times (1 - \cos60°)$

$= 1.12\times10^{-11}$m

$\therefore$ বিক্ষিপ্ত x- রশ্মির সর্বোচ্চ তরঙ্গদৈর্ঘ্য $= 1.12\times10^{-11}$m

ঘ এখানে,
আপতিত তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 10\times10^{-12}$m
সর্বোচ্চ তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda' = 1.12 \times 10^{-11}$m
পণ্ঢাঙ্ক ধ্র“বক, $h = 6.63 \times 10^{-34}$J.s
আলোর বেগ, $c = 3 \times 10^8 ms^{-1}$
সর্বোচ্চ গতিশক্তি, $E_{k_{max}} = ?$
ইলেকট্রনের সাথে সংঘর্ষের পূর্বে ও পরে ফোটনের কম্পাঙ্ক যথাক্রমে f ও f' হলে,

সংঘর্ষের পূর্বে ফোটনের শক্তি, $E = hf = h\frac{c}{\lambda}$

এবং সংঘর্ষের পর ফোটনের শক্তি, $E' = h\frac{c}{\lambda'}$

আমরা জানি,

$$E_{k_{max}} = E - E'$$
$$= \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda'}$$
$$= hc\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'}\right)$$

$= 6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8 \times \left(\frac{1}{10\times10^{-12}} - \frac{1}{1.12\times10^{-11}}\right)$

$= 2.13\times10^{-15}$ J

$\therefore$ ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি $= 2.13 \times 10^{-15}$ J **(Ans.)**

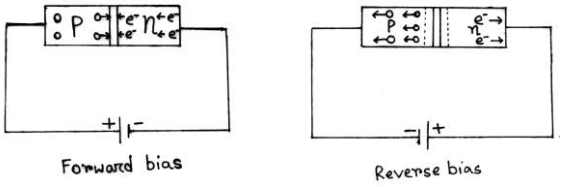
প্রশ্ন ▶১৬ একটি ইলেকট্রনের গতিশীল অবস্থার মোট শক্তি তার স্থির অবস্থার শক্তির দ্বি-গুণ। অবশেষে গতিশীল ইলেকট্রনটি ধ্বংস হয়ে যায়। (স্থির ইলেকট্রনের ভর $= 9.1 \times 10^{-31}$kg) *[সৃষ্টি কলেজ অব টাঙ্গাইল]*

ক. ডোপিং কী? ১
খ. Forward bias এবং Reverse bias এর বর্তনী চিত্র আঁক। ২
গ. গতিশীল ইলেকট্রনের বেগ নির্ণয় কর। ৩
ঘ. উদ্দীপকে উলেণ্ঢখিত ধ্বংস প্রাপ্ত ইলেকট্রনটি হতে নির্গত শক্তি গাণিতিক বিশেণ্ঢষণের মাধ্যমে বের কর। ৪

১৬ নং প্রশ্নের উত্তর

ক বিশুদ্ধ অর্ধ পরিবাহীর পরিবাহীতা বৃদ্ধির জন্য এর সাথে পর্যায় সারণীর তৃতীয় বা পঞ্চম শ্রেণির মৌল খাদ হিসেবে মিশ্রিত করাকে ডোপিং বলে।

খ



গ ধরি,
স্থির ইলেক্ট্রনের ভর $= m_o$
ও গতিশীল ইলেক্ট্রনের ভর $= m$
গতিশীল ইলেক্ট্রনের বেগ, $v = ?$
আলোর বেগ, $c = 3 \times 10^8 ms^{-1}$
প্রশ্নমতে,
$2m_oc^2 = mc^2$

বা, $2m_o = \frac{m_o}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}\left[\because m = \frac{m_o}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}\right]$

বা, $2 = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$

বা, $1 - \frac{v^2}{(3\times10^8)^2} = \frac{1}{4}$

$\therefore v = 2.6 \times 10^8\ ms^{-1}$ **(Ans.)**

ঘ এখানে,
ইলেক্ট্রনের ভর, $m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg
আলোর বেগ, $c = 3 \times 10^8\ ms^{-1}$
সমস্ড় ইলেক্ট্রনটি ধ্বংসপ্রাপ্ত হলে,
নির্গত শক্তি, $E = mc^2$
$= 9.1 \times 10^{-31} \times (3 \times 10^8)^2$
$= 8.19 \times 10^{-14}$ J

প্রশ্ন ▶১৭ একটি ধাতুর উপর 2500Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অতিবেগুণী রশ্মি ফেলা হলো। ফলে ধাতু পৃষ্ঠ হতে ইলেক্ট্রন নির্গত হলো। ধাতুটির সূচন কম্পাঙ্ক 5.55×10^{14}Hz *[ক্যান্টনমেন্ট পাবলিক স্কুল ও কলেজ, পার্বতীপুর, দিনাজপুর]*

ক. ফটোতড়িৎ ক্রিয়া কী? ১
খ. কোনো বস্তুকে আলোর বেগের চেয়ে বেশি বেগে চালানো সম্ভব নয়- ব্যাখ্যা কর। ২
গ. উদ্দীপকে উলেণ্ঢখিত ধাতু হতে নির্গত ইলেক্ট্রনের সর্বোচ্চ গতিবেগ কত হবে? ৩
ঘ. উক্ত ধাতুর উপর 6800Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক রশ্মি আপতিত হলে ইলেকট্রন নির্গত হবে কী? গাণিতিক বিশেণ্ঢষণের মাধ্যমে সত্যতা যাচাই কর। ৪

১৭ নং প্রশ্নের উত্তর

ক যথোপযুক্ত উচ্চ কম্পাঙ্কবিশিষ্ট কোন আলোক রশ্মি ধাতব পৃষ্ঠে আপতিত হলে তা থেকে ইলেক্ট্রন নির্গত হওয়ার ঘটনাকেই ফটোতড়িৎ ক্রিয়া বলে।

খ ভরের আপেক্ষিকতা হতে আমরা জানি যে,

$$m = \frac{m_o}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

এখানে, m_o = স্থির বস্তুর ভর
m = গতিশীল অবস্থায় বস্তুর ভর
c = আলোর বেগ

v = বস্তুর বেগ

এখানে, v>c হলে m অবাস্তব হয় এবং v = c হলে m = ∞ হয়, যা অসম্ভব।

তাই কোন বস্তুকে আলোর বেগের চেয়ে বেশি বেগে চালানো সম্ভব নয়।

গ এখানে,

আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 2500\text{Å} = 2500 \times 10^{-10}\text{m}$

ধাতুর সূচন কম্পাঙ্ক, $f_o = 5.55 \times 10^{14}\text{Hz}$

ইলেক্ট্রনের ভর $m = 9.11 \times 10^{-31}\text{ kg}$

পদার্থের ধ্রুবক $h = 6.63 \times 10^{-34}\text{ Js}$

নির্গত ইলেক্ট্রনের সর্বোচ্চ বেগ $v_{max} = ?$

আমরা জানি,

$$hf = hf_o + \frac{1}{2}mv^2_{max}$$

বা, $\frac{1}{2}mv^2_{max} = \frac{hc}{\lambda} - hf_o$

বা, $\frac{1}{2} \times 9.11 \times 10^{-31} \times v^2_{max} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2500 \times 10^{-10}} - 6.63 \times 10^{-34} \times 5.55 \times 10^{14}$

$\therefore \quad v_{max} = 9.69 \times 10^5\ ms^{-1}$ **(Ans.)**

ঘ এখানে,

ধাতুর সূচন কম্পাঙ্ক, $f_o = 5.55 \times 10^{14}$ Hz

পদার্থের ধ্রুবক, $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J.s

আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 6800\text{Å} = 6800 \times 10^{-10}\text{m}$

আলোর বেগ, $c = 3 \times 10^8\ ms^{-1}$

$\therefore$ ধাতুর কার্যঅপেক্ষক, $\varphi = hf_o$

$= (5.55 \times 10^{14} \times 6.63 \times 10^{-34})$ J

$= 3.68 \times 10^{-19}$ J

আপতিত আলোর শক্তি $E = hf$

$$= \frac{hc}{\lambda}$$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{6800 \times 10^{-10}}$$

$= 2.93 \times 10^{-19}$J

$\therefore E < Q$

সুতরাং কোন ইলেক্ট্রন নির্গত হবে না।

প্রশ্ন ▶ ১৮ একটি ট্রেন কোন ছোট ষ্টেশনের পণ্ডাটফর্ম অতিক্রম করে যাচ্ছিল। চলমান অবস্থায় ট্রেনের ভর তার নিশ্চল অবস্থার ভরের তিন গুণ হলো। পণ্ডাটফর্মে দাড়ানো যাত্রী চলমান ট্রেনের দৈর্ঘ্য মাপে 200m যা পণ্ডাটফর্মের দৈর্ঘ্যের সমান। *[ঠাকুরগাঁও সরকারি কলেজ, ঠাকুরগাঁও]*

ক. কাল দীর্ঘায়ন কী? ১

খ. অবিশুদ্ধ অর্ধ পরিবাহীর প্রয়োজনীয়তা কী? ২

গ. গতিশীল অবস্থায় ট্রেনের বেগ কত ছিল তা নির্ণয় কর। ৩

ঘ. ট্রেনের কোন যাত্রীর নিকট পণ্ডাটফর্মের দৈর্ঘ্য বেশী না কম মনে হবে গাণিতিক ভাবে যাচাই কর। ৪

১৮ নং প্রশ্নের উত্তর

ক কোন পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে গতিশীল অবস্থায় সংঘটিত দুটি ঘটনার মধ্যবর্তী কাল ব্যবধান ঐ পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে নিশ্চল অবস্থায় সংঘটিত ঐ একই ঘটনাদ্বয়ের কাল ব্যবধানের চেয়ে বেশি হয়; এই প্রভাবকে কাল দীর্ঘায়ন বলে।

খ বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী কক্ষ তাপমাত্রায় অন্তরকের মত কাজ করে। এর পরিবাহিতা বৃদ্ধির জন্য এর সাথে পর্যায় সারণীর তৃতীয় বা পঞ্চম গ্রুপের মৌল মিশ্রিত করে একে অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে পরিণত করা হয়। অধিক পরিবাহিতা পাওয়ার জন্য অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী প্রয়োজন হয়।

গ এখানে, ট্রেনের নিশ্চল ভর, $m_o = m'$ (ধরি)

$\therefore$ চলমান অবস্থায় ট্রেনের ভর, $m = 3m'$

আলোর বেগ, $c = 3 \times 10^8 ms^{-1}$

গতিশীল ট্রেনের বেগ, $v = ?$

আমরা জানি, $m = \frac{m_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

বা, $3m' = \frac{m'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

বা, $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{1}{3}$

বা, $1 - \frac{v^2}{(3 \times 10^8)^2} = \frac{1}{9}$

বা, $\frac{v^2}{(3 \times 10^8)^2} = 1 - \frac{1}{9}$

বা, $v = 2.83 \times 10^8 ms^{-1}$ **(Ans.)**

ঘ এখানে,

ট্রেনের বেগ, $v = 2.83 \times 10^8 ms^{-1}$

আলোর বেগ, $c = 3 \times 10^8\ ms^{-1}$

পণ্ডাটফর্মের স্থির অবস্থায় দৈর্ঘ্য, $L_o = 200$m

গতিশীল অবস্থায় যাত্রীর নিকট পণ্ডাটফর্মের দৈর্ঘ্য, $L = ?$

আমরা জানি, $L = L_o\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

বা, $L = 200\sqrt{1 - \left(\frac{2.83 \times 10^8}{3 \times 10^8}\right)^2}$

বা, $L = 66.37\text{m} < L_o$

সুতরাং, ট্রেনের কোন যাত্রীর নিকট পণ্ডাটফর্মের দৈর্ঘ্য কম মনে হবে।

প্রশ্ন ▶ ১৯ জন এফ কেনেডি রকেট স্টেশন থেকে v বেগে গতিশীল একটি রকেটকে ভূপৃষ্ঠ থেকে তার প্রকৃত দৈর্ঘ্যের দুই-তৃতীয়াংশ বলে মনে হলো। *[হামিদপুর আল হেরা কলেজ, যশোর]*

ক. এক্স-রে কী? ১

খ. $E = mc^2$ সমীকরণটি ব্যাখ্যা কর। ২

গ. রকেটটির বেগ বের কর। ৩

ঘ. রকেটটির আলোর বেগে গতিশীল হওয়া সম্ভব কি-না-তোমার মতামত গাণিতিক যুক্তি সহকারে উপস্থাপন কর। ৪

১৯ নং প্রশ্নের উত্তর

ক উচ্চ গতিসম্পন্ন ইলেক্ট্রন কোন ধাতুর খন্ডকে আঘাত করলে তা থেকে যে উচ্চ ভেদন ক্ষমতা সম্পন্ন বিকিরণ উৎপন্ন হয় তাকে এক্সরে বলে।

খ $E = mc^2$ সমীকরণটি ভর শক্তি সম্পর্ক প্রকাশ করে।

এখানে, E = শক্তি

m = বস্তুর ভর

c = আলোর দ্রুতি।

যদি m ভরকে শক্তিতে রূপান্তরিত করা হয় তাহলে তা থেকে mc^2 পরিমাণ শক্তি পাওয়া যায়।

গ ধরি, রকেটের প্রকৃত দৈর্ঘ্য, $L_o = l$m

$\therefore$ গতিশীল অবস্থায় রকেটের দৈর্ঘ্য, $L = \frac{2}{3}l$m

আলোর বেগ, $c = 3 \times 10^8 ms^{-1}$

রকেটের বেগ, $v = ?$

আমরা জানি, $L = L_o\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

বা $\frac{2}{3}l = l\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

বা, $\frac{4}{9} = 1 - \frac{v^2}{c^2}$

বা, $\frac{v^2}{(3\times10^8)^2} = \frac{1-4}{9}$

$\therefore v = 2.24 \times 10^8\ ms^{-1}$ **(Ans.)**

ঘ মনেকরি, রকেটের প্রকৃত দৈর্ঘ্য = L_o
রকেটের গতিশীল অবস্থায় দৈর্ঘ্য = L
রকেটটি আলোর বেগে গতিশীল হলে,
রকেটের বেগ, v = আলোর বেগ = c
আমরা জানি,

$$L = L_o\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

বা, $L = L_o\sqrt{1-\frac{c^2}{c^2}}$ [$\therefore v = c$]
বা, $L = L_o \times 0$
$\therefore$ L = 0, যা অসম্ভব।
সুতরাং, রকেটটি আলোর বেগে গতিশীল হওয়া সম্ভব নয়।

প্রশ্ন ▶ ২০ একটি পারমাণবিক ভাঙন প্রক্রিয়ায় 236 amu ভরের পরমাণু ভেঙ্গে 233 amu ভরের পরমাণুসমূহ পাওয়া গেল। এদের একটি কণিকার নিশ্চল ভর 2.5×10^{-27} kg এবং কণিকাটি 0.9c বেগে গতিশীল আছে। *[আব্দুল কাদির মোলণ্ডা সিটি কলেজ, নরসিংদী]*

ক. আলোক তড়িৎ ক্রিয়া কাকে বলে? ১
খ. 'পরমাণুতে আবদ্ধ ইলেকট্রনের মোট শক্তি সর্বদা ঋণাত্মক হয়'- ব্যাখ্যা কর। ২
গ. অবশিষ্ট ভরের সমতুল্য শক্তি MeV এককে নির্ণয় কর। ৩
ঘ. ' উদ্দীপকের কণিকার গতিশীল শক্তি নিশ্চল শক্তির দ্বিগুণের বেশি'- কথাটির যথার্থতা গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা কর। ৪

২০ নং প্রশ্নের উত্তর

ক কোনো কোনো ধাতুপৃষ্ঠের ওপর উচ্চ কম্পাংকের তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণ আপতিত হলে ধাতুপৃষ্ঠ হতে ইলেকট্রন নি:সৃত হওয়ার ঘটনাকে আলোক তড়িৎক্রিয়া বলে।

খ ইলেকট্রনের ভর m, শূন্যস্থানের তড়িৎ ভেদনযোগ্যতা $\in_o$, ইলেকট্রনের চার্জ e, পণ্ডাংকের ধ্রুবক h হলে n তম কক্ষপথে ইলেকট্রনের গতিশক্তি, $E_k = \frac{me^4}{8\,n^2h^2\in_o^2}$; এবং বিভব শক্তি, $E_p = -\frac{me^4}{4n^2h^2\in_o^2}$ সুতরাং n তম কক্ষপথে ইলেকট্রনের মোট শক্তি, $E_T = E_K + E_P$

$$= \frac{me^4}{8n^2h^2\in_o^2} - \frac{me^4}{4n^2h^2\in_o^2}$$
$$= -\frac{me^4}{8n^2h^2\in_o^2}$$

n, h, $\in_o$, m, e সকল রাশির মান ধনাত্মক হওয়ায় স্পষ্টত, উক্ত মোট শক্তি E_T ঋণাত্মক। এভাবে পরমাণুতে আবদ্ধ ইলেকট্রনের মোট শক্তি সর্বদা ঋণাত্মক হওয়ার তাৎপর্য হলো উক্ত ইলেকট্রন অবমুক্ত করতে বাইরে থেকে শক্তি খরচ করতে হয়।

গ উদ্দীপক মতে অবশিষ্ট ভর, Δm = 236 amu – 233 amu
= 3 amu = $3 \times 1.66057 \times 10^{-27}$ kg
জানাআছে, শূন্যস্থানে আলোর গতিবেগ, $c = 3 \times 10^8\ ms^{-1}$
$\therefore$অবশিষ্ট ভরের সমতুল্য শক্তি, $E = (\Delta m)c^2$
$= 3 \times 1.66057 \times 10^{-27}\ kg \times (3 \times 10^8\ ms^{-1})^2$
$= 4.48354 \times 10^{-10}$ J
$= \frac{4.48354 \times 10^{-10}}{1.6 \times 10^{-19}}$ eV
$= 2.8022 \times 10^9$ eV
$= 2\,802.2 \times 10^6$ eV
= 2802.2 MeV **(Ans.)**

ঘ উদ্দীপকের কণাটির নিশ্চল ভর, $m_o = 2.5 \times 10^{-27}$ kg
এবং বেগ, v = 0.9 c
$\therefore$ কণাটির নিশ্চল শক্তি, $E_o = m_oc^2$
$= 2.5 \times 10^{-27}\ kg \times (3 \times 10^8\ ms^{-1})^2 = 2.25 \times 10^{-10}$ J
এবং গতিশীল শক্তি, $E = mc^2 = \frac{m_o}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}c^2$

$$= \frac{2.5 \times 10^{-27}\ kg}{\sqrt{1-\left(\frac{0.9c}{c}\right)^2}} \times (3 \times 10^8\ ms^{-1})^2$$
$$= 5.162 \times 10^{-10}\ J$$

এখানে, $\frac{E}{E_o} = \frac{5.162 \times 10^{-10}\ J}{2.25 \times 10^{-10}\ J} = 2.294$
সুতরাং, উদ্দীপকের কণাটির গতিশীল শক্তি নিশ্চল শক্তির দ্বিগুণের বেশি।

প্রশ্ন ▶ ২১ একটি বস্তুকণার নিশ্চল ভর 15 a.m.u। কণাটিকে 0.866c বেগে গতিশীল করা হলো। *[এম. সি. কলেজ, সিলেট]*

ক. আলোক তড়িৎ ক্রিয়া কাকে বলে? ১
খ. কোন বস্তুর বেগ আলোর বেগের সমান হতে পারে না কেন– ব্যাখ্যা কর। ২
গ. উদ্দীপকের কণাটির নিশ্চল ভরের সমতুল্য শক্তি MeV এককে নির্ণয় কর। ৩
ঘ. উদ্দীপক অনুসারে বস্তুকণাটি গতিশীল হলে চলমান ভর নিশ্চল ভরের দ্বিগুণ হবে– গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। ৪

২১ নং প্রশ্নের উত্তর

ক কোনো কোনো ধাতুর ওপর উচ্চ কম্পাঙ্কের তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণ আপতিত হলে ধাতুপৃষ্ঠ হতে মুক্ত ইলেকট্রন নি:সৃত হওয়ার ঘটনাকে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া বলে।

খ কোনো বস্তুর নিশ্চল ভর m_o হলে ভরের আপেক্ষিকতার সূত্র হতে আমরা জানি, বস্তুটি v বেগে গতিশীল থাকলে এর গতিশীল ভর,

$m = \frac{m_o}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$; এখানে c হলো শূন্যস্থানে আলোর দ্রুতি।

বস্তুটির আলোর বেগে (v = c) গতিশীল হলে, এর গতিশীল অবস্থায় ভর।

$$m = \frac{m_o}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_o}{\sqrt{1-1}} = \frac{m_o}{\sqrt{o}} = \infty \text{ (অসীম)}$$

কিন্তু মহাবিশ্বের অসীম ভরসম্পন্ন কোনো বস্তু থাকলে তা এর প্রবল মানের মহাকর্ষ দ্বারা সব কিছুকে নিজের কাছে টেনে নিতো। সুতরাং, মহাবিশ্বে অসীম ভরের কোনো বস্তু নেই এবং কখনো ছিলনা অর্থাৎ মহাবিশ্বের কোনো বস্তুই বর্তমানে আলোর বেগে চলছে না। এবং অতীতেও কখনো চলেনি। অন্যকথায়, কোনো বস্তুর বেগ আলোর বেগের সমান হতে পারে না।

গ দেওয়া আছে,
উদ্দীপকের কণাটির নিশ্চল ভর, m_o = 15 amu
$= 15 \times 1.66057 \times 10^{-27}$ kg
জানা আছে, শূন্যস্থানে আলোর দ্রুতি, $c = 3 \times 10^8\ ms^{-1}$
বের করতে হবে, কণাটির নিশ্চল ভরের সমতুল্য শক্তি, (MeV এককে),
E = ?
আইনস্টাইনের ভর- শক্তি সমীকরণ হতে আমরা জানি, $E = mc^2$
এক্ষেত্রে, উক্ত সূত্রের রূপ, $E = m_oc^2$
$= 15 \times 1.66057 \times 10^{-27}\ kg \times (3 \times 10^8\ ms^{-1})^2$
$= 2.24 \times 10^{-9}\ J = \frac{2.24 \times 10^{-9}}{1.6 \times 10^{-19}}$ eV

$= 1.4 \times 10^{10}$ eV
$= 1.4 \times 10^4 \times 10^6$ eV = 14000 MeV **(Ans.)**

ঘ উদ্দীপকমতে,
কণাটির নিশ্চল ভর, m_o = 15 amu
কণাটির গতিবেগ, v = 0.866c
যেখানে c হলো শূন্যস্থানে আলোর গতিবেগ,

কণাটির গতিশীল ভর, $m = \frac{m_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

$= \frac{m_o}{\sqrt{1 - \left(\frac{0.866c}{c}\right)^2}} = \frac{m_o}{\sqrt{1 - 0.75}} = \frac{m_o}{\sqrt{0.25}} = 2m_o$

সুতরাং, উদ্দীপক অনুসারে বস্তুকণাটি গতিশীল হলে চলমান ভর নিশ্চল ভরের দ্বিগুণ হবে।

প্রশ্ন ▶ ২২ 56 kg ভরের একজন মহাশূন্যচারী 32 বছর বয়সে $2.2 \times 10^8 ms^{-1}$ বেগে গতিশীল মহাশূন্যযানে চড়ে 1m দৈর্ঘ্যের একটি টেলিস্কোপ যন্ত্র নিয়ে ছায়াপথ অনুসন্ধানে গেলেন। *[ঢাকা সিটি কলেজ]*

ক. কম্পটন ক্রিয়া কী? ১
খ. গ্যালিলিও রূপান্তর সমীকরণের ব্যর্থতা ব্যাখ্যা কর। ২
গ. উদ্দীপকে টেলিস্কোপটির দৈর্ঘ্য পৃথিবীর কোন দর্শকের কাছে কত হবে? ৩
ঘ. মহাশূন্যচারীর ভর পৃথিবীর কোন দর্শকের কাছে কত হবে এবং তিনি 20 বছর পর পৃথিবীতে ফিরে এলে তার বয়স তার যমজ ভাইয়ের সমান হবে কী? গাণিতিকভাবে বিশেষণ কর। ৪

২২ নং প্রশ্নের উত্তর

ক কোনো ইলেকট্রনের সাথে কোনো ফোটনের সংঘর্ষ হলে ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পাওয়ার ঘটনাকে কম্পটন ক্রিয়া বলে।

খ গ্যালিলিও রূপান্তর অনুসারে, শূন্য স্থানে আলোর বেগ পর্যবেক্ষক ও পর্যবেক্ষণের মধ্যকার আপেক্ষিক বেগের ওপর নির্ভর করে। অথচ, আইনস্টাইনের আপেক্ষিকতার তত্ত্বানুসারে, এরূপ নির্ভরশীলতার অস্তিত্ব নেই। আজ পর্যন্ত সবকয়টি বৈজ্ঞানিক পরীক্ষণে আইনস্টাইনের আপেক্ষিকতা তত্ত্ব সত্য বলে প্রমাণিত হয়েছে, সুতরাং গ্যালিলিও রূপান্তর সঠিক নয়।

গ দেওয়া আছে,
টেলিস্কোপ যন্ত্রের নিশ্চল দৈর্ঘ্য, L_o = 1m
মহাশূন্যযানের বেগ, $v = 2.2 \times 10^8 ms^{-1}$
জানা আছে, শূন্যস্থানের আলোর বেগ, $c = 3 \times 10^8 ms^{-1}$
বের করতে হবে, টেলিস্কোপটির চলমান দৈর্ঘ্য, L = ?
আমরা জানি,

$L = L_o \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

$= 1m \times \sqrt{1 - \left(\frac{2.2 \times 10^8 ms^{-1}}{3 \times 10^8 ms^{-1}}\right)^2}$

$= 0.68$ m **(Ans.)**

ঘ উদ্দীপকমতে,
মহাশূন্যচারীর স্থির ভর, m_o = 56 kg
মহাশূন্যযানের বেগ, $v = 2.2 \times 10^8 ms^{-1}$
জানা আছে, শূন্য স্থানে আলোর বেগ, $c = 3 \times 10^8 ms^{-1}$
∴ পৃথিবীর কোনো দর্শকের কাছে মাহশূন্যচারীর আপাত ভর,

$m = \frac{m_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{56 \text{ kg}}{\sqrt{1 - \left(\frac{2.2 \times 10^8 ms^{-1}}{3 \times 10^8 ms^{-1}}\right)^2}} = 82.4$ kg

পৃথিবীতে অতিবাহিত সময়কাল, t = 20 y
মহাশূন্যযানে অতিবাহিত সময়কাল, $t_o = t\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

$= 20y \times \sqrt{1 - \left(\frac{2.2 \times 10^8 ms^{-1}}{3 \times 10^8 ms^{-1}}\right)^2} = 13.6$ y

পৃথিবীতে ফিরে এলে মহাশূন্যচারীর বয়স হবে = 32 y + 13.6 y
= 45.6 y
এবং তার জমজ ভাইয়ের বয়স হবে = 32 y + 20 y = 52 y
যেহেতু 45.6y ≠ 52 y
সুতরাং, পৃথিবীতে ফিরে আসার পর তার বয়স ও তার জমজ ভাইয়ের সমান হবেনা।

প্রশ্ন ▶ ২৩ ল্যাবরেটরীতে এক্স-রে যন্ত্রে 40 kV বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করায় একটি ইলেকট্রন অ্যানোডের ধাতব পাতে আঘাত করে। ফলে 2×10^{-10}m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক্স-রে নির্গত হয় এবং প্রচুর তাপ উৎপন্ন হয়। *[গাজীপুর ক্যান্টনমেন্ট কলেজ]*

ক. কাল দীর্ঘায়ন কি? ১
খ. ডি-ব্রগলীর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সমীকরণ দেখাও। ২
গ. উদ্দীপকের ঘটনায় উৎপন্ন তাপশক্তির পরিমাণ নির্ণয় কর। ৩
ঘ. উদ্দীপকে ইলেকট্রনটির সমস্ত শক্তি এক্স-রে উৎপন্ন করলে সেই রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য কিরূপ হবে– গাণিতিকভাবে মতামত দাও। ৪

২৩ নং প্রশ্নের উত্তর

ক ধ্রুববেগে গতিশীল কাঠামোতে পরিমাপকৃত সময় ব্যবধানের তুলনায় স্থির কাঠামোতে পরিমাপকৃত সময় ব্যবধান বেশি। এ বিষয়টি কাল দীর্ঘায়ন নামে পরিচিত।

খ পণ্ঢাংকের কোয়ান্টাম তত্ত্ব অনুসারে ফোটনের শক্তি $E = hf$।
আবার ফোটন কণার ভর m হলে আইনস্টাইনের ভর শক্তি সমীকরণ অনুসারে $E = mc^2$ ।
সুতরাং $E = mc^2 = hf$

$\therefore m = \frac{hf}{c^2}$

সুতরাং ফোটনের ভরবেগ, $p = mc = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$ [যেহেতু $c = f\lambda$]
ফোটনের কম্পাঙ্ককে তরঙ্গদৈর্ঘ্যে প্রকাশ করলে পাই,
$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{h}{p}$; এ সমীকরণে শক্তির দ্বৈত প্রকৃতি প্রকাশিত হয়েছে। অর্থাৎ সমীকরণটিতে কণা প্রকৃতির ভরবেগ এবং তরঙ্গ প্রকৃতির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপিত হয়েছে। এখন দ্য ব্রগলীর মতবাদ অনুসারে পদার্থের m ভরের একটি ক্ষুদ্র কণার (যেমন, ইলেকট্রন) তরঙ্গদৈর্ঘ্য হবে, $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$; এখানে, v = পদার্থ কণার বেগ।
এই সমীকরণটিই দ্য ব্রগলী সমীকরণ নামে পরিচিত।

গ দেওয়া আছে,
অ্যানোড ও ক্যাথোডের বিভব পার্থক্য, V = 40kV = 40000V
এক্সরশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 2 \times 10^{-10}$m
জানা আছে, পণ্ঢাংকের ধ্রুবক , $h = 6.63 \times 10^{-34}$J. s
শূন্য স্থানে আলোর দ্রুতি, $e = 3 \times 10^8 ms^{-1}$
ইলেকট্রনের চার্জ, $e = 1.6 \times 10^{-19}$C
বের করতে হবে,
প্রতিটি ইলেকট্রনের ঘর্ষণের ফলে উৎপন্ন তাপশক্তির পরিমাণ, Q = ?
এখানে, ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি, $T_{max} = eV$

এক্সরের ফোটনের শক্তি $= \frac{hc}{\lambda}$

শক্তির সংরক্ষণশীলতা নীতি অনুযায়ী $T_{max} = \frac{hc}{\lambda} + Q$

$\therefore Q = T_{max} - \frac{hc}{\lambda} = eV - \frac{hc}{\lambda}$

$= 1.6 \times 10^{-19}C \times 40000JC^{-1} - \frac{6.63 \times 10^{-34}J.s \times 3 \times 10^{8} ms^{-1}}{2 \times 10^{-10}m}$

$= 5.4055 \times 10^{-15}J$ **(Ans.)**

ঘ উদ্দীপকমতে,

এক্সরে টিউবে অ্যানোড ও ক্যাথোডের মধ্যকার বিভব পার্থক্য,

$V = 40\ kV = 40 \times 10^{3}$ volt

জানাআছে, ইলেকট্রনের আধান, $e = 1.6 \times 10^{-9}$ C

$\therefore$ ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি $= eV = 1.6 \times 10^{-19}C \times 40 \times 10^{3}$ JC^{-1}

$= 6.4 \times 10–15$ J

এই শক্তি পুরোপুরি এক্সরে তে রূপান্ড়রিত হলে মনে করি, উক্ত এক্সরের তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ ও কম্পাঙ্ক, ν

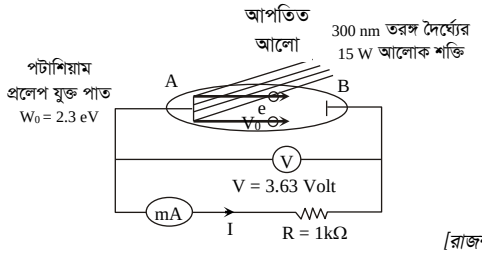
তাহলে, $h\nu = \frac{hc}{\lambda} = 6.4 \times 10^{-15}$ J [c = শূন্যস্থানে আলোর বেগ]

$\therefore \lambda = \frac{hc}{6.4 \times 10^{-15}J} = \frac{6.63 \times 10^{-34}\ J.s \times 3 \times 10^{8}\ ms^{-1}}{6.4 \times 10^{-15}\ J}$

$= 3.\ 10 \times 10^{-11}$ m

ইহাই নির্ণেয় তরঙ্গদৈর্ঘ্য।

প্রশ্ন ▶ ২৪



[রাজশাহী কলেজ]

ক. লেজার কাকে বলে? ১

খ. গ্যালিলীয় রূপান্ড়র আপেক্ষিক তত্ত্বে গ্রহণযোগ্য নয়, মাইকেলসন মর্লির পরীক্ষার আলোকে ব্যাখ্যা কর। ২

গ. নির্গত ইলেকট্রনের বেগ (v_m) নির্ণয় কর। ৩

ঘ. আপতিত সকল ফোটন দ্বারা ইলেকট্রন নিঃসরণ ঘটেনি, উক্তিটির যথার্থতা যাচাই কর। ৪

২৪ নং প্রশ্নের উত্তর

ক লেজার হলো একবর্ণী প্রচন্ড তীব্রতা ও শক্তিসম্পন্ন এবং সুসংহত আলোকরশ্মির বীম।

খ মাইকেলসন মর্লির পরীক্ষায় ব্যতিচার নকশায় অপসারণ ব্যতিচার রেখায় বিস্ড়ৃতির 25 ভাগের এক ভাগ যা মাইকেলসনের সূক্ষ্ম যন্ত্রে মাপা সম্ভব হয়। এই অপসারণের পরিমাণ এতই সামান্য যে, তাকে নগণ্য ধরা যায়। অর্থাৎ মাইকেলসনের মতে ব্যতিচার রেখাগুলোর কোনো অপসারণ হয়নি। এটি হতে তিনি এই সিদ্ধান্ড়ে উপনীত হন যে, স্থিতিশীল ইথার প্রকল্পের ফলাফল ভুল অর্থাৎ পৃথিবী ও ইথারের মধ্যে কেনো আপেক্ষিক বেগ নেই। এই পরীক্ষাটি পৃথিবীর গভীরে উপরে, বছরের বিভিন্ন সময়ে বিভিন্ন স্থানে, এমনকি লেজার রশ্মি ব্যবহার করেও একই ফলাফল পাওয়া যায়। ফলে ইথার প্রবাহ তত্ত্বটি ভুল প্রমাণিত হয়েছে। এই সমস্ড় ফলাফল বিশেণ্ডষণ করে আইনস্টাইন তাঁর দ্বিতীয় স্বীকার্যে বলেছিলেন, শূন্য স্থানে আলোর বেগ বিশ্বজনীন ভাবে ধ্রুব, এটি উৎস বা পর্যবেক্ষণ বা মাধ্যমের গতির ওপর নির্ভর করেনা। কিন্তু গ্যালিলিয়ান রূপান্ড়র অনুসারে পরীক্ষায় প্রাপ্ত শূন্য স্থানে আলোর বেগের মান, উৎস অথবা পর্যবেক্ষণ বা মাধ্যমের গতির ওপর নির্ভর করে। এ কারণেই গ্যালিলীয় রূপান্ড়র আপেক্ষিক তত্ত্বে গ্রহণযোগ্য নয়।

গ দেওয়া আছে,

আপতিত আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য, $\lambda = 300$ nm

$= 300 \times 10^{-9}$ m

কার্যাপেক্ষক, $W_o = 2.3$ eV $= 2.3 \times 1.6 \times 10^{-19}$ J

জানাআছে, পণ্ঢাংকের ধ্রুবক, $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J.s

ইলেকট্রনের ভর, $m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg

শূন্যস্থানে আলোর বেগ, $c = 3 \times 10^{8}\ ms^{-1}$

বের করতে হবে, নির্গত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ বেগ, $v_{max} = ?$

আইনস্টাইনের সমীকরণ হতে আমরা জানি, $h\frac{c}{\lambda} = W_o + \frac{1}{2}mv^2_{max}$

বা, $\frac{1}{2}mv^2_{max} = \frac{hc}{\lambda} - W_o$

$= \frac{6.63 \times 10^{-34}\ J.s \times 3 \times 10^{8}\ ms^{-1}}{3 \times 10^{-7}m} - 2.3 \times 1.6 \times 10^{-19}\ J$

$= 2.95 \times 10^{-19}\ J$

$\therefore v_{max} = \frac{2 \times 2.95 \times 10^{-19}\ J}{m} = \frac{2 \times 2.95 \times 10^{-19}\ J}{9.1 \times 10^{-31}\ kg}$

$= 6.4835 \times 10^{11}\ m^2s^{-2}$

$\therefore v_{max}^2 = \sqrt{6.4835 \times 10^{11}\ m^2s^{-2}} = 8.052 \times 10^{5}\ ms^{-1}$ **(Ans.)**

ঘ উদ্দীপকের ধাতুটির কার্যাপেক্ষক, $W_o = 2.3 \times 1.6 \times 10^{-19}$ J

জানা আছে, পণ্ঢাংকের ধ্রুবক, $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J.s

এবং শূন্যস্থানে আলোর দ্রুতি, $c = 3 \times 10^{8}\ ms^{-1}$

সূচন কম্পাংক ν_o হলে, $W_o = h\nu_o$

$\therefore \nu_o = \frac{W_o}{h} = \frac{2.3 \times 1.6 \times 10^{-19}\ J}{6.63 \times 10^{-34}\ J.s} = 5.55 \times 10^{14}$ Hz

এবং সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ_o হলে,

$\lambda_o = \frac{c}{\nu_o} = \frac{3 \times 10^{8}\ ms^{-1}}{5.55 \times 10^{14}\ Hz} = 5.405 \times 10^{-7}$ m

যদি আপতিত আলোক উৎস থেকে সব ধরনের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ফোটন বের হয় তবে আপতিত আলোর মধ্যে যে সকল ফোটনের কম্পাঙ্ক 5.55×10^{14} Hz এর সমান বা বেশি এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্য 5.405×10^{-7} m এর সমান বা কম, তাদের দ্বারা ইলেকট্রন নিঃসরণ ঘটেছে। যে সকল ফোটনের কম্পাঙ্ক 5.55×10^{14} Hz এর কম এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্য 5.405×10^{-7} m এর বেশি, তাদের দ্বারা ইলেকট্রন নিঃসরণ ঘটেনি।

আপতিত ফোটনগুলোর সবগুলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য যদি 300nm বা 3×10^{-9} m হয় তবে তা সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য থেকে কম হবে ফলে ইলেকট্রন নিঃসরণ হবে।

প্রশ্ন ▶ ২৫ একটি বস্তুকণার ভর 9×10^{-31} kg। বস্তুকণাটি $\frac{c}{\sqrt{2}}$ বেগে গতিশীল। *[শহীদ লে: আনোয়ার গার্লস কলেজ, ঢাকা]*

ক. নিবৃত্তি বিভবের সংজ্ঞা দাও। ১

খ. কখন লরেঞ্জ রূপান্ড়র গ্যালিলীয় রূপান্ড়রের রূপ নেয়? ২

গ. কণাটির ভরবেগ কত হবে? ৩

ঘ. কণাটির আপেক্ষিকতার গতিশক্তি ও নিউটনীয়ন গতিশক্তির মধ্যে কোনটি বড় এবং কেন? গাণিতিক বিশেণ্ডষণের মাধ্যমে উদ্দীপকের আলোকে ব্যাখ্যা কর। ৪

২৫ নং প্রশ্নের উত্তর

ক ফটো তড়িৎ ক্রিয়ার যান্ত্রিক ব্যবস্থায় ক্যাথোড পেণ্ডটের সাপেক্ষে অ্যানোড পেণ্ডটে যে ন্যূনতম ধনাত্মক বিভব দিলে আলোক তড়িৎ প্রবাহমাত্রা তাৎক্ষণিকভাবে বন্ধ হয়ে যায়, সেই বিভবকে নিবৃত্তি বিভব বলা হয়।

খ আমরা জানি, প্রসঙ্গ কাঠামোর সাপেক্ষে কোনো বস্তু v গতিবেগে চলতে থাকলে বস্তুটির আপাত দৈর্ঘ্য হবে, $L = L_o\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ .....(i)

লরেঞ্জ রূপান্ড়র হতে পাই; L_o হলো বস্তুটির নিশ্চল দৈর্ঘ্য।

কিন্তু গ্যালিলিও রূপান্ড়র অনুসারে $L = L_o$ হওয়ার কথা। লক্ষ্য করি, শূন্যস্থানে আলোর বেগের (c) তুলনায় বস্তুর গতিবেগ (v) অনেক কম মানের হলে অর্থাৎ, $\frac{v}{c} \approx 0$ হলে (i) নং হতে পাই, $L = L_o\sqrt{1 - 0^2} =$

L_o; সুতরাং পর্যবেক্ষক ও পর্যবেক্ষণের মধ্যকার আপেক্ষিক বেগ শূন্যস্থানে আলোর বেগের তুলনায় অনেক কম হলে লরেঞ্জ রূপান্তর গ্যালিলীয় রূপান্তরের রূপ নেয়।

গ দেওয়া আছে, বস্তুকণাটির নিশ্চল ভর, $m_o = 9 \times 10^{-31}$kg

বস্তুকণাটির গতিবেগ, $v = \frac{c}{\sqrt{2}} = \frac{3 \times 10^8\ ms^{-1}}{\sqrt{2}}$

এখানে c = শূন্যস্থানে আলোর গতিবেগ

বের করতে হবে, কণাটির ভরবেগ, p = ?

কণাটির গতিশীল ভর, $m = \frac{m_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

$$= \frac{9\times10^{-31}\ kg}{\sqrt{1 - \frac{\left(\frac{c}{\sqrt{2^2}}\right)^2}{c^2}}}$$

$$= \frac{9 \times 10^{-31}\ kg}{\sqrt{1 - \frac{1}{2}}}$$

$$= \frac{9 \times 10^{-31}\ kg}{\sqrt{\frac{1}{2}}}$$

$$= \sqrt{2} \times 9 \times 10^{-31}\ kg$$

$\therefore$ কণাটির ভরবেগ, $mv = \sqrt{2} \times 9 \times 10^{-31}\ kg \times \frac{3 \times 10^8\ ms^{-1}}{\sqrt{2}}$

$= 2.7 \times 10^{-22}\ kgms^{-1}$ **(Ans.)**

ঘ কণাটির আপেক্ষিকতার গতিশক্তি, $E_k = (m - m_o)c^2$

$= (\sqrt{2} \times 9 \times 10^{-31}\ kg - 9 \times 10^{-31}\ kg) \times (3 \times 10^8\ ms^{-1})^2$

$= 3.3534 \times 10^{-14}$ J

এবং নিউটনীয়ান গতিশক্তি, $E_k' = \frac{1}{2} m_o v^2$

$$= \frac{1}{2} \times 9 \times 10^{-31}\ kg \times \left(\frac{3 \times 10^8\ ms^{-1}}{\sqrt{2}}\right) = 2.025 \times 10^{-14}\ J$$

লক্ষকরি, $3.3534 \times 10^{-14}\ J > 2.025 \times 10^{-14}\ J$

বা, $E_k > E_k'$

অর্থাৎ, কণাটির আপেক্ষিকতার গতিশক্তি ও নিউটনীয়ান গতিশক্তির মধ্যে আপেক্ষিকতার গতিশক্তি বড়, এর কারণ হলো আলোর বেগের তুলনায় কম বেগে বস্তুটি যখন চলতে থাকে, তখন এর ভর বৃদ্ধি পায়। উলেণ্ঢখ্য যে, কণাটির আপেক্ষিকতার গতিশক্তিই এর প্রকৃত গতিশক্তি।

প্রশ্ন ▶২৬ একটি নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ 10^{-14} m এবং একটি ইলেকট্রনের শক্তি 4 MeV। *[রাজশাহী ক্যাডেট কলেজ]*

ক. অর্ধায়ুর সংজ্ঞা দাও। ১

খ. কুলম্বের সূত্রের সীমাবদ্ধতা ব্যাখ্যা কর। ২

গ. উদ্দীপকে প্রদত্ত উপাত্ত ব্যবহার করে একটি ইলেকট্রনের ভর বেগের অনিশ্চয়তা নির্ণয় কর। ৩

ঘ. নিউক্লিয়াসের অভ্যন্ড়রে ইলেকট্রন থাকতে পারেনা– গাণিতিক ভাবে বিশেণ্ঢষণ কর। ৪

২৬ নং প্রশ্নের উত্তর

ক কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের নমুনায় উপস্থিত পরমাণু সংখ্যা যে সময়কালে অর্ধেকে নেমে আসে তাকে ঐ তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু বলে।

খ দুটি বিন্দু চার্জের ক্ষেত্রে ক্রিয়াশীল বল নির্ণয়ে কুলম্বের সূত্র উপযোগী হলেও কিছু ক্ষেত্রে এর সীমাবদ্ধতা দেখা যায়। নিচে এর কিছু সীমাবদ্ধতা আলোচনা করা হলো। অনিয়মিত আকৃতির চার্জিত বস্তুর জন্য এ সূত্র প্রয়োগ করা দুরূহ। এক্ষেত্রে চার্জদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব সঠিকভাবে নির্ণয় করা যায় না। কারণ অনিয়মিত আকৃতির চার্জিত বস্তুর কেন্দ্র সঠিকভাবে নির্ণয় করা যায় না। চার্জিত বস্তু অবশ্যই ক্ষুদ্র হতে হবে। তা না হলে তড়িৎ বলের ওপর মহাকর্ষ বলের একটা প্রভাব পড়বে।

গ দেওয়া আছে,

ইলেকট্রনের শক্তি , $E = 4MeV = 4 \times 10^6$ eV

$= 4 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19}$ J

জানাআছে, ইলেকট্রনের ভরবেগ হলে আমরা জানি এর গতিশক্তি,

$E_k = \frac{p^2}{2m}$

$\therefore p = \sqrt{2mE_k}$

$= \sqrt{2 \times 9.1 \times 10^{-31}\ kg \times 4 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19}\ J}$

$= 1.07926 \times 10^{-21}\ kgms^{-1}$

আমরা জানি, পরমাণুর ব্যাসার্ধ, = 1Å = 10^{-10} m

$\therefore$ ইলেকট্রনের অবস্থানের অনিশ্চয়তা, $\Delta x = 10^{-10}$ m

এর ভরবেগের অনিশ্চয়তা Δp হলে, $\Delta p\ \Delta x \geq \nabla = \frac{h}{2\pi}$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34}\ J.S}{2 \times 3.1416}$$

$= 1.056 \times 10^{-34}\ kgms^{-1}$

$\therefore \Delta p\ \Delta x$ এর ন্যূনতম মান $1.056 \times 10^{-34}\ kgm^2s^{-1}$

$\therefore \Delta p$ এর ন্যূনতম মান $= \frac{1.056 \times 10^{-34}\ kgm^2s^{-1}}{\Delta x}$

$$= \frac{1.056 \times 10^{-34}\ kgm^2s^{-1}}{10^{-10}\ m}$$

$= 1.056 \times 10^{-34}\ kgms^{-1}$

$\therefore$ ইলেকট্রনটির ভরবেগের অনিশ্চয়তার হারের ন্যূনতম মান

$= \frac{\Delta p}{p} = \frac{1.056 \times 10^{-34}\ kgms^{-1}}{1.07926 \times 10^{-21}\ kgms^{-1}}$

$= 9.78 \times 10^{-4}$

$= 9.78 \times 10^{-4} \times 100\% = 0.098\ \%$

ঘ পরমাণুর নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ 10^{-14} m প্রায়। সুতরাং ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের অভ্যন্ড়রে আবদ্ধ থাকতে হলে এর অবস্থানের অনিশ্চয়তা অবশ্যই 2×10^{-14} m এর অধিক হবেনা।

এখন Δx এবং Δp যথাক্রমে অবস্থান ও ভরবেগের অনিশ্চয়তা হলে,

$\Delta x\ \Delta p$ এর ন্যূনতম মান $= \frac{\nabla}{2} = \frac{h}{4\pi} = \frac{6.63 \times 10^{-34}\ J.S}{4 \times 3.1416}$

$= 5.276 \times 10^{-35}\ kgm^2s^{-1}$

$\therefore \Delta p$ এর ন্যূনতম মান $= \frac{5.276 \times 10^{-35}\ kgm^2s^{-1}}{\Delta x}$

$= \frac{5.276 \times 10^{-35}\ kgm^2s^{-1}}{2 \times 10^{-14}m} = 2.638 \times 10^{-21}\ kgms^{-1}$

এখন ভরবেগের অনিশ্চয়তা ন্যূনতমভাবে এই মানের হলে ইলেকট্রনের ভরবেগ অবশ্যই ন্যূনতম পক্ষে এই মানের সমতুল্য হবে, অর্থাৎ

$p = 2.638 \times 10^{-21}\ kgms^{-1}$

তাহলে ইলেকট্রনের গতিশক্তি, $E = \frac{p^2}{2m} = \frac{(2.638 \times 10^{-21}\ kgms^{-1})^2}{2 \times 9.1 \times 10^{-31}\ kg}$

$= 3.824 \times 10^{-12}$ J

$= \frac{3.824 \times 10^{-12}}{1.6 \times 10^{-19}}$ eV

$= 23.9 \times 10^6$eV $= 23.9$ MeV

অর্থ হলো,ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের অভ্যন্ড়রে থাকতে হলে একে 23.9MeV শক্তির অধিকারী হতে হবে। কিন্তু পরীক্ষালব্ধ ফলাফল থেকে দেখাযায় যে, ইলেকট্রনের শক্তি 4 MeV এর অধিক হয় না। সুতরাং নিউক্লিয়াসের অভ্যন্ড়রে ইলেকট্রন থাকতে পারে না।

প্রশ্ন ▶২৭ তামিমের ভর 55 kg এবং বয়স 40 বছর। সে 2.4×10^8 ms^{-1} বেগে গতিশীল মহাশূন্যযানে চড়ে ছায়াপথ অনুসন্ধানে গেল।

তার যমজ ভাই নাফিজ এর বয়স যখন 80 বছর হলো তখন সে পৃথিবীতে ফিরে এলো। *[বগুড়া ক্যান্টনমেন্ট পাবলিক স্কুল এন্ড কলেজ]*

ক. ভর ত্র"টি কাকে বলে? ১

খ. নিউক্লিয় ফিশন বিক্রিয়ায় ক্যাডমিয়াম দ" ব্যবহার করা হয় কেন? ব্যাখ্যা কর। ২

গ. উদ্দীপক অনুসারে মহাশূন্যস্থানে তামিমের ভর নির্ণয় কর। ৩

ঘ. উদ্দীপকে দুই ভাই এর বর্তমান বয়স সমান থাকবে কিনা– গাণিতিক বিশেণ্ডষণসহ মতামত দাও। ৪

২৭ নং প্রশ্নের উত্তর

ক কোনো নিউক্লিয়াসের ভর নিউক্লিয়াস গঠনকারী কণাসমূহের (প্রোটন ও নিউট্রন) ভরের সমষ্টি অপেক্ষা সামান্য কম হয়। ভরের এ পার্থক্যকে ভর ত্র"টি বলে।

খ নিউক্লিয় ফিশন বিক্রিয়ায় ক্যাডমিয়াম দন্ড ব্যবহার করা হয় বিক্রিয়ার গতি মন্থর করার জন্য। প্রতিটি নিউক্লিয় ফিশনে যে তিনটি নিউট্রন নির্গত হয় তার দু'টিকে ক্যাডমিয়াম দন্ড দ্বারা শোষণ করা হয়। বাকি নিউট্রনটি ফিশন প্রক্রিয়া চালু রাখে। ক্যাডমিয়ামের বদলে অনেক সময় বোরন দন্ড ব্যবহার করা হয়। উলেণ্ডখ্য যে, পারমাণবিক বিদ্যুৎ উৎপাদন কেন্দ্রে নিয়ন্ত্রিত ফিশন বিক্রিয়া ব্যবহৃত হয়, তবে পারমাণবিক বোমার অনিয়ন্ত্রিত ফিশন বিক্রিয়া ব্যবহৃত হয়। সুতরাং বোঝা যাচ্ছে যে, ক্যাডমিয়াম দন্ডের ব্যবহার দ্বারা নিউক্লিয় ফিশন বিক্রিয়ার গতি মন্থর করা না হলে তা প্রচন্ড বিস্ফোরনের মাধ্যমে ধ্বংসাত্মক পরিণতি ডেকে আনবে।

গ দেওয়া আছে,

তামিমের নিশ্চল ভর, $m_o = 55$ kg

মহাশূন্যযানের বেগ, $v = 2.4 \times 10^8$ ms^{-1}

জানা আছে, শূন্যস্থানে আলোর বেগ, $c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}

বের করতে হবে, মহাশূন্যযানে তামিমের ভর, $m = ?$

আমরাজানি, $$m = \frac{m_o}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{55 \text{ kg}}{\sqrt{1-\left(\frac{2.4\times10^8 \text{ ms}^{-1}}{3\times10^8 \text{ ms}^{-1}}\right)^2}}$$

$= 91.67$ kg **(Ans.)**

ঘ পৃথিবীতে অতিবাহিত সময় ব্যবধান,

$t = 80y - 40y = 40y$

মহাশূন্যযানের বেগ, $v = 2.4 \times 10^8$ ms^{-1}

শূন্যস্থানে আলোর বেগ, $c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}

∴ মহাশূন্যযানে অতিবাহিত সময় ব্যবধান, t_o হলে, $$t = \frac{t_o}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\therefore t_o = t\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

$$= 40y \times \sqrt{1-\left(\frac{2.4\times10^8 \text{ms}^{-1}}{3\times10^8 \text{ ms}^{-1}}\right)^2}$$

$= 24y$

মহাশূন্যযানটি পৃথিবীতে ফিরে আসার সময় তামিমের বয়স হবে $= 40y + 24y = 64$ y এবং নাফিজের বয়স হবে $= 80$ y

যেহেতু $64y \neq 80y$

সুতরাং, উদ্দীপকে বর্ণিত দুই ভাই এর বর্তমান বয়স সমান থাকবে না।

প্রশ্ন ▶ ২৮ একদিন পদার্থবিজ্ঞান ক্লাসে মাইকেল সাহেব আপেক্ষিক তত্ত্ব নিয়ে আলোচনা করছিলেন। তিনি বললেন, ভর ধ্র"বক কিন্তু আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে ভর পরিবর্তিত হয়। শুধু তাই নয় দৈর্ঘ্যেরও পরিবর্তন হয়। *[মির্জাপুর ক্যাডেট কলেজ]*

ক. জড় প্রসঙ্গ কাঠামো কাকে বলে? ১

খ. বিগ- ব্যাঙ্গ তত্ত্ব ব্যাখ্যা কর। ২

গ. মাইকেল সাহেব ভর সম্পর্কে কি বললেন? আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে তাদের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন কর। ৩

ঘ. মাইকেল সাহেব বললেন, "দৈর্ঘ্য পরিবর্তিত হয়।" এটা কিভাবে হয়? গাণিতিক ভাবে বিশেণ্ডষণ কর। ৪

২৮ নং প্রশ্নের উত্তর

ক পরস্পরের সাপেক্ষে ধ্র"ব বেগে গতিশীল যে সকল প্রসঙ্গ কাঠামোতে নিউটনের গতিসূত্র অর্জন করা যায় তাদেরকে জড় প্রসঙ্গ কাঠামো বলে।

খ মহাবিশ্ব সৃষ্টির বিভিন্ন প্রচলিত মতবাদের মধ্যে বিগ-ব্যাঙ্গ তত্ত্ব অন্যতম। এই তত্ত্বের প্রবর্তক হলেন বিজ্ঞানী জর্জ লেমিটার। তাঁর তত্ত্ব মতে ২০ বিলিয়ন বছর পূর্বে অনুমান করা হয় মহাবিশ্বের ভর ছিল 10^{51} kg। এই ভর মূলত একটি অতি উত্তপ্ত তাপমাত্রায় একটি অতি ঘন আগুনের গোলক হিসাবে ছিল। এই গোলকের ব্যাসার্ধ ছিল সূর্যের প্রায় দশগুণ। সুতরাং মহাবিশ্ব একটি অতি ঘন গোলক এবং এর ঘনত্ব ছিল 10^{21} kgm^{-3} । বিশ বিলিয়ন বছর পূর্বে এক মহাবিস্ফোরন ঘটে। ফলে অগ্নিগোলকটি অসংখ্য টুকরায় বিভক্ত হয়ে পড়ে এবং ছায়াপথ বা গ্যালাক্সি ও নক্ষত্ররূপে অতি উচ্চ বেগে সকল দিকে ছড়িয়ে পড়ে।

গ নিউটনীয় পদার্থবিজ্ঞান থেকে আমরা জানি যে, বস্তুর ভর একটি ধ্র"বক। স্থান, কাল ও গতির পরিবর্তনের উপর এটি নির্ভরশীল নয় বা এটি পরিবর্তিতও হয়না। কিন্তু আইনস্টাইনের আপেক্ষিক তত্ত্বের মতে বস্তুর ভর কোনো ধ্র"বক নয়, আপেক্ষিক। বস্তুর গতির সাথে ভরের একটি সম্পর্ক আছে এবং বস্তুর চলমান বা গতিশীল ভর ও নিশ্চল ভর সমান নয়। বস্তুর গতি বৃদ্ধির সাথে সাথে যদি v দ্র"তিতে গতিশীল হয় তাহলে এর গতিশীল ভর পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে এর নিশ্চল ভরের চেয়ে

$$\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$ গুণ বেশি হবে।

কোনো বস্তুর নিশ্চল অবস্থায় ভর যদি m_o এবং চলমান অবস্থায় ভর যদি m হয় এবং বস্তুটি যদি v দ্র"তিতে গতিশীল হয় তাহলে m_o ও m এর সম্পর্ককে নিচের সমীকরণ দিয়ে লেখা যায়।

$$m = \frac{m_o}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

বস্তুর দ্র"তি আলোর দ্র"তির যত কাছাকাছি পৌছাতে থাকে এর ভর তত তাৎপর্যপূর্ণভাবে বৃদ্ধি পেতে থাকে।

ঘ কোনো পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে গতিশীল বস্তুর দৈর্ঘ্য ঐ পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে নিশ্চল অবস্থায় ঐ একই বস্তুর দৈর্ঘ্যের চেয়ে ছোট হয় এই প্রভাবকে দৈর্ঘ্য সংকোচন বলে। যদি পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে গতিশীল কোনো বস্তুর দৈর্ঘ্য হয় L এবং যদি ঐ পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে নিশ্চল অবস্থায় একই বস্তুর দৈর্ঘ্য হয় L_o তাহলে L সবসময়ই L_o এর চেয়ে ছোট হবে। অর্থাৎ কোনো বস্তুর গতিশীল অবস্থার দৈর্ঘ্য– ঐ বস্তুর নিশ্চল অবস্থায় দৈর্ঘ্যের চেয়ে ছোট। এখানে L_o কে বলা হয় যথোপযুক্ত বা প্রকৃত দৈর্ঘ্য। দৈর্ঘ্য সংকোচনের সমীকরণটি হলো,

$$L = L_o\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

এখানে, L = পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে গতিশীল অবস্থায় বস্তুর দৈর্ঘ্য,

L_o = পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে স্থির অবস্থায় বস্তুর দৈর্ঘ্য

v = আপেক্ষিক দ্র"তি

c = আলোর দ্র"তি

এখানে $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ সব সময়ই 1 এর চেয়ে ছোট।

সুতরাং, L সব সময় L_o এর চেয়ে ছোট।

প্রশ্ন ▶২৯ C ও D দুটি পাতে যথাক্রমে 6800Å এবং 5500 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের রশ্মি আপতিত হল। C ও D এর কার্যাপেক্ষক যথাক্রমে 2.2eV এবং 2eV। *[সরকারি সৈয়দ হাতেম আলী কলেজ, বরিশাল]*

ক. পয়েন্টিং ভেক্টর কী? ১

খ. পৃথিবী পৃষ্ঠের সাথে আটকানো কোন কাঠামো জড় কাঠামো নয়– ব্যাখ্যা কর। ২

গ. D পাতে সূচন কম্পাংক কত? ৩

ঘ. C ও D উভয় পাতে ফটোতড়িৎ ক্রিয়া সংঘটিত হবে কি-না বিশেণ্ডষণ করে মতামত কর। ৪

২৯ নং প্রশ্নের উত্তর

ক যে ভেক্টরের সাহায্যে কোন তড়িৎ চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রতি একক ক্ষেত্রফলের মধ্যদিয়ে প্রবাহিত শক্তি নির্দেশ করা হয় তাকে পয়েন্টিং ভেক্টর বলে।

খ যে প্রসঙ্গ কাঠামোতে নিউটনের গতি বিষয়ক প্রথম সূত্র তথা জড়তার সূত্র পালিত হয় তাকে জড় প্রসঙ্গ কাঠামো বলে।

পৃথিবী অনবরত ঘূর্ণনশীল থাকায় এর সাথে আটকানো কোন প্রসঙ্গ কাঠামোও অনবরত ঘূর্ণনশীল। এ ঘূর্ণনশীল কাঠামোতে জড়তার সূত্র পালিত হয় না। এজন্য পৃথিবীর সাথে আটকানো কোন প্রসঙ্গ কাঠামো জড় প্রসঙ্গ কাঠামো নয়।

গ এখানে,

D এর কার্যাপেক্ষক, $\varphi_D = 2eV = (2 \times 1.6 \times 10^{-19})\ J$
$= 3.2 \times 10^{-19}\ J$

পণ্ঢাঙ্কের ধ্রুবক, $h = 6.63 \times 10^{-34}\ Js$

D এর সূচন কম্পাঙ্ক $f_o = ?$

আমরা জানি, $\varphi_D = hf_o$

বা, $f_o = \frac{\varphi_D}{h}$

বা, $f_o = \frac{3.2 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}}$

$\therefore f_o = 4.83 \times 10^{14}\ Hz$

ঘ এখানে,

C তে আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda_C = 6800Å = 6800 \times 10^{-10}m$

D তে আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda_D = 5500Å = 5500 \times 10^{-10}m$

C এর কার্য আপেক্ষক $\varphi_C = 2.2\ eV$

D এর কার্য আপেক্ষক $\varphi_D = 2\ eV$

পণ্ঢাঙ্কের ধ্রুবক $h = 6.63 \times 10^{-34}\ Js$

আলোর বেগ $c = 3 \times 10^8\ ms^{-1}$

ধরি,

C ও D তে আপতিত আলোর শক্তি যথাক্রমে, E_C ও E_D

আমরা জানি, $E_C = hf_C$

$= \frac{hc}{\lambda_C}$

$= \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{6800 \times 10^{-10}}$

$= 2.925 \times 10^{-19}\ J$

$= 1.83\ eV < \varphi_C$

আবার, $E_D = \frac{hc}{\lambda_D}$

$= \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{5500 \times 10^{-10}}$

$= 3.616 \times 10^{-19}\ J$

$= 2.26\ eV > \varphi_D$

$\therefore E_C < \varphi_C$ ও $E_D > \varphi_D$

সুতরাং, C পাতে ফটোতড়িৎ ক্রিয়া সংঘটিত হবে না এবং D পাতে ফটোতড়িৎ ক্রিয়া সংঘটিত হবে।

প্রশ্ন ▶৩০ 0.3Å তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিশিষ্ট একট ফোটন স্থির ইলেকট্রন কর্তৃক 60° কোণ বিক্ষিপ্ত হলো এবং একই সাথে ইলেকট্রনটিও প্রক্ষিপ্ত হলো। *[জালালাবাদ ক্যান্টনমেন্ট*

ক. হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তার নীতিটি লেখ। ১

খ. একটি তারকা কীভাবে বণ্ঢ্যাকহোলে পরিণত হয়? ব্যাখ্যা কর। ২

গ. বিক্ষিপ্ত কণাটির তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। ৩

ঘ. বিক্ষিপ্ত ইলেকট্রনের মোট শক্তি নির্ণয় কর। ৪

৩০ নং প্রশ্নের উত্তর

ক হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তার নীতিটি হলো– যদি কোনো কণায় কোনো নির্দিষ্ট মুহূর্তকালে অবস্থানের অনিশ্চয়তা Δx এবং ভরবেগের অনিশ্চয়তা Δp হয় তবে এদের গুণফল পণ্ঢ্যাংকের ধ্রুবকের সমান বা পণ্ঢ্যাংকের ধ্রুবক অপেক্ষা বড় হবে।

খ সূর্যের চেয়ে অনেকগুণ 'বেশি ভরের তারকাকে বেশি ভরসম্পন্ন তারকা' বলা হয়। এরূপ তারকার জ্বালানী ফুরিয়ে গেলে, মহাকর্ষজনিত সংকোচন খুব বেশি বৃদ্ধি পেতে থাকে। ফলে, প্রচন্ড উত্তাপের সৃষ্টি হয় এবং তারকাটি বিস্ফোরিত হয়। একেই বলে সুপারনোভা বিস্ফোরণ। এরূপ বিস্ফোরণের ফলে তারকাটি তার বাড়তি ওজন হারায়। অবশিষ্ট যে ভর থাকে তার মান অনুযায়ী দুই রকম ফল পাওয়া যেতে পারে। দুই সৌর ভরের কাছাকাছি হলে সেটি একটি নিউট্রন তারকায় এবং এর চেয়ে বেশি হলে সেটি সাধারণত একটি কৃষ্ণ বিবরে পরিণত হয়।

গ দেওয়াআছে,

বিক্ষেপনের পূর্বে ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 0.3Å = 0.3 \times 10^{-10}\ m$

বিক্ষেপন কোণ $\phi = 60°$

জানাআছে, ইলেকট্রনের নিশ্চল ভর, $m_o = 9.1 \times 10^{-31}\ kg$

শূন্যস্থানে আলোর দ্রুতি, $c = 3 \times 10^8\ ms^{-1}$

পণ্ঢাংকের দ্রুবক, $h = 6.63 \times 10^{-31}\ Js$

বের করতে হবে, বিক্ষিপ্ত কণাটির তরঙ্গদৈর্ঘ্য , $\lambda' = ?$

আমরাজানি, $\lambda' = \lambda + \frac{h}{m_o c}(1 - \cos\phi)$

$= 0.3 \times 10^{-10}\ m + \frac{6.63 \times 10^{-34}\ J.s}{9.1 \times 10^{-31}\ kg \times 3 \times 10^8\ ms^{-1}}(1 - \cos 60°)$

$= 3.12 \times 10^{-11}m$ **(Ans.)**

ঘ শক্তির সংরক্ষণশীলতা নীতি অনুসারে,

প্রক্ষিপ্ত ইলেকট্রনের গতিশক্তি = ফোটন কর্তৃক হারানো শক্তি-

$= h\nu - h\nu' = h\frac{c}{\lambda} - h\frac{c}{\lambda'} = hc\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'}\right)$

$= 6.63 \times 10^{-34}\ J.s \times 3 \times 10^8\ ms^{-1} = \left(\frac{1}{0.3 \times 10^{-10}m} - \frac{1}{3.12 \times 10^{-11}m}\right)$

$= 2.55 \times 10^{-16}\ J$

আইনস্টাইনের $E = mc^2$ সূত্রানুসারে ইলেকট্রনের ভর সম্পূর্ণরূপে শক্তিতে পরিণত হতে পারে। সুতরাং ইলেকট্রনটির বিভব শক্তি $= m_o c^2$

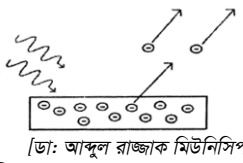
$= 9.1 \times 10^{-31}\ kg \times (3 \times 10^8\ ms^{-1})^2 = 8.19 \times 10^{-14}\ J$

$\therefore$ প্রক্ষিপ্ত ইলেকট্রনটির মোট শক্তি = গতিশক্তি + বিভবশক্তি

$= 2.55 \times 10^{-16}\ J + 8.19 \times 10^{-14}\ J$

$= 8.2155 \times 10^{-14}\ J$

প্রশ্ন ▶৩১ একটি ধাতুর পাত হতে ইলেকট্রন মুক্ত করতে 2.3 eV শক্তির প্রয়োজন হয়। ঐ ধাতুর পাতের উপর 4450Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো আপতিত হলো।



[ডা: আব্দুল রাজ্জাক মিউনিসিপ্যাল কলেজ, যশোর]

ক. দ্য ব্রগলী তরঙ্গ কী? ১

খ. কৃষ্ণ বস্তু ও কৃষ্ণ বিবরের মধ্যে পার্থক্য কী? ২
গ. নির্গত ফটো ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি বের কর। ৩
ঘ. কোন তড়িৎ ক্ষেত্র প্রয়োগ করে উদ্দীপকের ফটো ইলেকট্রনের গতিশক্তি কী শূন্যের কোঠায় আনা সম্ভব? তোমার মতামতের গাণিতিক বিশেণ্ডষণ দাও। ৪

৩১ নং প্রশ্নের উত্তর

ক প্রতিটি চলমান কণার সাথে যে তরঙ্গ যুক্ত থাকে তাকে দ্য ব্রগলী তরঙ্গ বলে।

খ কৃষ্ণ বস্তু ও কৃষ্ণ বিবরের মধ্যে পার্থক্য:

কৃষ্ণ বস্তু	কৃষ্ণ বিবর
i. কৃষ্ণ বস্তুর ভর সসীম।	i. কৃষ্ণ বিবরের ভর প্রায় অসীম।
ii. কৃষ্ণ বস্তুর মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র তুলনামূলক ভাবে তেমন শক্তিশালী নয়।	ii. কৃষ্ণ বিবরের মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র অত্যন্ড় শক্তিশালী।

গ এখানে,
ধাতুর পাত হতে ইলেকট্রন মুক্ত করতে প্রয়োজনীয় শক্তি, $\varphi = 2.3$ eV
$= (2.3 \times 1.6 \times 10^{-19})$ J
$= 3.68 \times 10^{-19}$ J
আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda = 4450$ Å
$= 4450 \times 10^{-10}$ m
পণ্ডাঙ্কের ধ্রুবক, $h = 6.63 \times 10^{-10}$ Js
নির্গত ফটো ইলেক্ট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি, $K_{max} = ?$
আমরা জানি, $E = \varphi + K_{max}$

বা, $\frac{hc}{\lambda} = \varphi + K_{max}$

বা, $K_{max} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{4450 \times 10^{-10}} - 3.68 \times 10^{-19}$

$\therefore K_{max} = 7.897 \times 10^{-20}$ J **(Ans.)**

ঘ এখানে, গ হতে,
নির্গত ফটো ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি, $K_{max} = 7.897 \times 10^{-20}$J
ইলেকট্রনের আধান, $e = 1.6 \times 10^{-19}$c
ধাতুর পাতটিতে ধন্ড়ক বিভব প্রয়োগ করে নির্গত ফটো ইলেকট্রনের গতিশক্তি শূন্যের কোঠায় আনা সম্ভব।
ধরি, এই নিবৃতি বিভবের মান V_o
তাহলে, $K_{max} = eV_o$
বা, $V_o = \frac{K_{max}}{e}$
বা, $V_o = \frac{7.897 \times 10^{-20}}{1.6 \times 10^{-19}}$
$\therefore V_o = 0.494$ V
সুতরাং, পাতটিকে 0.494 V বিভবের তড়িৎ ক্ষেত্রের সাথে যুক্ত করে নির্গত ফটো ইলেকট্রনের গতিশক্তি শূন্যের কোঠায় আনা সম্ভব।

প্রশ্ন ▶৩২ নাসার বিজ্ঞানীরা 2000kg ভরের ও 10m দৈর্ঘ্যের একটি স্পেসশিপকে পৃথিবী থেকে মহাকাশে 0.44c বেগে উৎক্ষেপণ করলেন। *[পটুয়াখালী সরকারি কলেজ]*

ক. চন্দ্রশেখর সীমা কী? ১
খ. সূর্যে বসে কোন পর্যবেক্ষক চাঁদের গতি পর্যবেক্ষণ করলে কেমন দেখবেন ব্যাখ্যা কর। ২
গ. মহাকাশ ষ্টেশনের পর্যবেক্ষণে স্পেসশিপের ভর কত? ৩
ঘ. মহাকাশ ষ্টেশন থেকে পর্যবেক্ষিত স্পেসশিপের আকারের পরিবর্তন পর্যালোচনা কর। ৪

৩২ নং প্রশ্নের উত্তর

ক ভারতীয় পদার্থবিজ্ঞানী সুব্রামানিয়াম চন্দ্রশেখর গণিতের সাহায্যে দেখান যে, কোনো তারকার ভর সূর্যের ভরের 1.4 গুণের বেশি হলে তার অন্ড়িম পরিণতি হিসেবে এটি কৃষ্ণ বিবর এ পরিণত হতে পারে। সৌর ভরের এই সীমাকে চন্দ্রশেখর সীমা বলে।

খ সূর্যে বসে কোনো পর্যবেক্ষক চাঁদের গতি পর্যবেক্ষণ করলে চাঁদকে উত্তল আকারে ঘুরতে দেখবে। আমরা জানি প্রতিফলিত আলো দ্বারা চাঁদ দৃষ্টিগোচর হয়। সূর্যের আলোয় চাঁদ দৃষ্টিগোচর হয়। সূর্যের আলো চাঁদের উত্তল পৃষ্ঠে প্রতিফলিত হয়। সেকারণে সূর্যে বসে কোনো পর্যবেক্ষক চাঁদকে উত্তল আকারে ঘুরতে দেখবে।

গ দেওয়াআছে,
স্থির অবস্থায় ভর, $m_o = 2000$ kg
স্পেসশিপের বেগ, $v = 0.44c$ ms^{-1}
মহাকাশ ষ্টেশনের পর্যবেক্ষনে স্পেসশিপের ভর, $m = ?$
আমরা জানি, $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$
বা, $m = \frac{2000}{\sqrt{1 - \left(\frac{0.44c}{c}\right)^2}}$
$\therefore m = 2.227 \times 10^3$ kg (Ans.)

ঘ দেওয়া আছে,
স্থির অবস্থায় দৈর্ঘ্য, $L_o = 10$ m
স্পেসশিপের বেগ, $v = 0.44c$ ms^{-1}
স্পেসশিপের গতিশীল দৈর্ঘ্য = L (ধরি)
আমরা জানি, $L = L_o\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$
বা, $L = 10\sqrt{1 - \left(\frac{0.44c}{c}\right)^2}$
$\therefore L = 8.98$ m
$\therefore$ মহাকাশ ষ্টেশন থেকে পর্যবেক্ষিত স্পেসশিপের দৈর্ঘ্য (10 – 8.98)m = 1.02 m হ্রাস পাবে।

প্রশ্ন ▶৩৩ বিজ্ঞানী হাইসেনবার্গ (Heisenberg) তরঙ্গধর্মী বস্তুর অবস্থান ও ভরবেগ নির্ণয়ের অনিশ্চয়তার ধারণা পোষণ করেন। তার মতে কোন কণার অবস্থান ও ভরবেগ একই সঙ্গে সঠিকভাবে নির্ণয় করা সত্যিই অসম্ভব। তিনি উহার অনিশ্চয়তার নীতি একটি নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ প্রায় 10^{-14}m। একটি মাইক্রোস্পোরের সাহায্যে কোনো পরমাণুর মধ্যকার ইলেকট্রনের অবস্থান 0.25 A° দূরত্বের মধ্যে নির্ণয় করা হলো। *[মতলব ডিগ্রী কলেজ, চাঁদপুর]*

ক. রেডিও টেলিস্কোপ কী? ১
খ. শোয়ার্জসিল্ড ব্যাসার্ধ বলতে কী বোঝায়? ২
গ. উদ্দীপকের ইলেকট্রনটির ঐ সময়ে ভরবেগ নিরূপণে অনিশ্চয়তা কত হবে? ৩
ঘ. উদ্দীপকের নিউক্লিয়াসের অভ্যন্ড়রে ইলেকট্রন থাকতে পারে কী? গাণিতিকভাবে অনিশ্চয়তা নীতি থেকে বিশেণ্ডষণ করে তোমার মতামত দাও। ৪

৩৩ নং প্রশ্নের উত্তর

ক রেডিও টেলিস্কোপ এক ধরনের দিক নির্দেশী বেতার এ্যান্টেনা যা বেতার জ্যোতির্বিদ্যায় ব্যবহৃত হয়।

খ M ভরের কোন বস্তু কৃষ্ণবিবর হিসেবে কাজ করতে হলে এর ব্যাসার্ধ একটি নির্দিষ্ট ব্যাসার্ধের কম বা সমান হতে হবে। এই নির্দিষ্ট সংকট ব্যাসার্ধকে শোয়ার্জসিল্ড ব্যাসার্ধ বলে।
মুক্তিবেগের সমীকরণে V এর পরিবর্তে C বসালে সংকট ব্যাসার্ধ পাওয়া যায়। R_s সংকট ব্যাসার্ধ হলে,

$$C = \sqrt{\frac{2GM}{R_s}}$$

তাহলে, সংকট ব্যাসার্ধ, $R_s = \frac{2GM}{C^2}$

গ এখানে,
ইলেকট্রনের অবস্থান অনিশ্চয়তা, $\Delta x = 0.25A° \times 2$
$= 0.5A° = 0.5 \times 10^{-10}m$
ইলেকট্রন ভরবেগের অনিশ্চয়তা, $\Delta P = ?$
পণ্যাঙ্কের ধ্রুবক, $h = 6.63 \times 10^{-34}Js$
আমরা জানি,
হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি অনুসারে,

$$\Delta x \cdot \Delta P \geq \frac{\hbar}{2}$$

$$\therefore \Delta P \geq \frac{\hbar}{2 \times \Delta x}$$

$$\geq \frac{\frac{h}{2\pi}}{2 \times \Delta x}$$

$$\geq \frac{h}{4\pi \times \Delta x}$$

$$\geq \frac{6.63 \times 10^{-34}Js}{4\pi \times 0.5 \times 10^{-10}m}$$

$$\geq 1.055 \times 10^{-24}\ kgms^{-1}$$ **(Ans.)**

ঘ এখানে, নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ, $10^{-14}m$। সুতরাং ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের অভ্যন্তরে আবদ্ধ থাকতে হলে এর অবস্থানের অনিশ্চয়তা অবশ্যই, $2 \times 10^{-14}m$ এর অধিক হবে না।
এখানে,
ইলেকট্রনের অবস্থান অনিশ্চয়তা, $\Delta x = 2 \times 10^{-14}m$
পণ্যাঙ্কের ধ্রুবক, $h = 6.63 \times 10^{-34}Js$
ভরবেগের অনিশ্চয়তা, $\Delta P = ?$
এবং $\eta = \frac{\hbar}{2\pi}$
এখন,

$$\Delta x \cdot \Delta P \geq \frac{\hbar}{2}$$

বা, $\Delta P \geq \frac{h}{4\pi \cdot \Delta x}$

বা, $\Delta P \geq \frac{6.63 \times 10^{-34}\ Js}{4 \times \pi \times (2 \times 10^{-14}m)}$

বা, $\Delta P \geq 2.64 \times 10^{-21}\ kgms^{-1}$
এখন, ইলেকট্রনের গতিশক্তি,

$$E = \frac{P^2}{2m}$$

$$= \frac{(2.64 \times 10^{-21}\ kgms^{-1})^2}{2 \times (9.1 \times 10^{-31}kg)}$$

$$= 3.83 \times 10^{-12}J$$

$$= 23.93 \times 10^{6}\ eV$$

$$= 23.93\ MeV$$

কিন্তু ইলেকট্রনের শক্তি 4MeV এর অধিক হয় না। সুতরাং নিউক্লিয়াসের অভ্যন্তরের ইলেকট্রন থাকতে পারে না।

প্রশ্ন ▶৩৪ ফটো তড়িৎ ক্রিয়া পরীক্ষণে দেখা গেল পটাসিয়াম ধাতুর উপর 4400Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো আপতিত হলে শুধুমাত্র ইলেকট্রন নির্গত হয় কিন্তু গতিশক্তি প্রাপ্ত হয় না। যদি 1500Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো আপতিত হয় তবে ইলেকট্রন নি:সরিত হয় এবং গতিশক্তি প্রাপ্ত হয়। *[ক্যান্টনমেন্ট কলেজ, যশোর]*

ক. সুপার নোভা বলতে কী বোঝ? ১
খ. দ্য ব্রগলীর তরঙ্গ ধারণা ব্যাখ্যা কর। ২
গ. পটাশিয়ামের কার্যাপেক্ষক নির্ণয় কর। ৩
ঘ. উদ্দীপকে নি:সরিত ইলেকট্রনের গতিশক্তি প্রাপ্ত হওয়া না হওয়ার কারণ কী? গাণিতিক বিশেণ্ডষণ সহ মতামত দাও। ৪

৩৪ নং প্রশ্নের উত্তর

ক সূর্যের চেয়ে অনেকগুলো বেশি ভরের তারকাকে বেশি ভরসম্পন্ন তারকা' বলা হয়। এরূপ তারকার জ্বালানী ফুরিয়ে গেলে মহাকর্ষজনিত সংকোচন খুব বেশি বৃদ্ধি পেতে থাকে। ফলে, প্রচন্ড উত্তাপের সৃষ্টি হয় এবং তারকাটি বিস্ফোরিত হয়। একেই বলে সুপার নোভা।

খ 1924 খ্রিস্টাব্দে ফরাসি বিজ্ঞানী লুই ডি ব্রগলী তার এক নতুন মতবাদে উলেণ্ডখ করেন যে, পদার্থ যা অণু, পরমাণু, প্রোটন, নিউট্রন, ইলেকট্রন প্রভৃতি ভিন্ন ভিন্ন কণার সমন্বয়ে গঠিত নিশ্চয়ই কোনো যথোপযোগী পরিস্থিতির মধ্যে তরঙ্গ প্রকৃতি প্রদর্শন করবে। এক কথায় বলা যায়– পদার্থেরও ঠিক তরঙ্গের মতো দ্বৈত প্রকৃতি রয়েছে। অতএব, প্রত্যেকটি চলমান পদার্থ কণার সাথে একটি তরঙ্গ যুক্ত থাকে। আবিষ্কারকের নামানুসারে এই তরঙ্গকে ডি-ব্রগলী বস্তু তরঙ্গ বলে।

গ উদ্দীপকমতে,
পটাসিয়ামের সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda_o = 4400Å = 4400 \times 10^{-10}m$
$= 4.4 \times 10^{-7}\ m$
জানাআছে, পণ্ডাংকের ধ্রুবক, $h = 6.63 \times 10^{-34}\ J.s$
শূন্যস্থানে আলোর দ্রুতি, $c = 3 \times 10^{8}\ ms^{-1}$
বের করতে হবে, পটাসিয়ামের কার্যাপেক্ষক, $W_o = ?$

আমরা জানি, $W_o = h\frac{c}{\lambda_o}$

$$= 6.63 \times 10^{-34}\ J.s \times \frac{3 \times 10^{8}ms^{-1}}{4.4 \times 10^{-7}m}$$

$$= 4.52 \times 10^{-19}\ J$$ **(Ans.)**

ঘ ধাতুর খন্ডে ইলেকট্রনসমূহ স্বস্ব মাতৃ পরমাণুর সাথে নির্দিষ্ট বিভব শক্তির মাধ্যমে যুক্ত থাকে। সুতরাং কোনো পরমানু হতে একটি ইলেকট্রনকে বিচ্ছিন্ন করে একে মুক্ত ইলেকট্রন হিসেবে প্রতিষ্ঠা করতে হলে ইলেকট্রনটিতে ন্যূনতম মানের একটি শক্তি প্রদান করতে হয়। এই ন্যূনতম মানের শক্তিকেই উক্ত ধাতুর জন্য কার্যাপেক্ষক বলা হয়। কার্যাপেক্ষককে অতিক্রম করার জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি বিভিন্ন উৎস হতে আসতে পারে। যেমন, কোনো ধাতুকে তাপ প্রদান করে উক্ত তাপশক্তি শোষনের মাধ্যমে ধাতু খন্ডে বহুসংখ্যক মুক্ত ইলেকট্রনের উদ্ভব ঘটতে পারে। উক্ত শক্তির একটি উৎস হতে পারে আলো বা অন্য কোনো তড়িৎচুম্বকীয় বিকিরনের ফোটন। ফোটনের শক্তি এর কম্পাংকের সমানুপাতিক এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ব্যস্তানুপাতিক।

যা $E = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$ সমীকরণ হতে স্পষ্ট। সুতরাং যে কোনো কম্পাঙ্ক বা যে কোনো তরঙ্গদৈর্ঘ্যর ফোটন আপতিত হলেই ইলেকট্রন নি:সৃত হবেনা; উক্ত ফোটনের কম্পাঙ্ক তথা শক্তি একটি ন্যূনতম মান থাকতে হবে যা ধাতুর কার্যাপেক্ষকের সমান অথবা এর চেয়ে বেশি হতে হবে। ফটো তড়িৎ ক্রিয়া সম্পর্কিত আইনস্টাইনের সমীকণটি হলো:

$h\nu = W_o + T_{max}$

এখানে, ν হলো আপতিত ফোটনের কম্পাঙ্ক এব $h\nu$ আপতিত ফোটনের শক্তি; W_o = ধাতুর কার্যাপেক্ষক এবং T_{max} = নি:সৃত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি।

$h\nu = W_o$ হলে $T_{max} = 0$ হলে, অর্থাৎ ফোটনের শক্তি কার্যাপেক্ষকের সমান হলে ইলেকট্রন নি:সৃত হবে ঠিকই, তবে এর গতিশক্তি থাকবে না। আবার, $h\nu > W_o$ হলে $T_{max} > 0$ হবে, অর্থাৎ ফোটনের শক্তি, কার্যাপেক্ষক অপেক্ষা বেশি হলে নি:সৃত ইলেকট্রন গতিশক্তি প্রাপ্ত হবে।
উদ্দীপকের আপতিত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য,
$\lambda = 1500Å = 1500 \times 10^{-10}\ m = 1.5 \times 10^{-7}\ m$

$\therefore$ এ ফোটনের শক্তি, $E = h\frac{c}{\lambda}$

$$= 6.63 \times 10^{-34}\ J.s \times \frac{3 \times 10^{8}\ ms^{-1}}{1.5 \times 10^{-7}m}$$

$= 1.326 \times 10^{-18}$ J

লক্ষ্য করি, 1.326×10^{-18} J > 4.52×10^{-19} J

অর্থাৎ আপতিত ফোটনের শক্তি, ধাতুর কার্যাপেক্ষক অপেক্ষা বৃহত্তর। তাই এক্ষেত্রে ইলেকট্রন নি:সৃত হবে এবং উক্ত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি, $T_{max} = h\nu - W_o$

$= 1.326 \times 10^{-18}$ J $- 4.52 \times 10^{-19}$ J

$= 8.74 \times 10^{-19}$ J

প্রশ্ন ▶৩৫ কম্পটন প্রভাব পরীক্ষায় প্রিতম 0.3Å তরঙ্গ দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট ফোটন দ্বারা ইলেকট্রনের সংঘর্ষ ঘটালো। সে লক্ষ্য করল যে, সংঘর্ষের ফলে কোনো ফোটন 60° কোণে বিক্ষিপ্ত হচ্ছে। আবার কোনো ফোটন বিপরীত দিকে ফিরে আসছে। উক্ত ফোটনগুলো দ্বারা প্রিতম ফটো ইলেকট্রিক প্রক্রিয়া সম্পন্ন করার জন্য 0.03884 MeV কার্যাপেক্ষক বিশিষ্ট পদার্থের উপর আঘাত করল।

[ক্যান্টনমেন্ট পাবলিক স্কুল এন্ড কলেজ, জাহানাবাদ, খুলনা]

ক. ভরত্র□টি কি? ১

খ. কোনো ব্যক্তি তার পোষা বিড়ালটির বয়স স্থির রাখতে চাইলে কী ব্যবস্থা গ্রহণ করবে? আপেক্ষিক তত্ত্বের ভিত্তিতে ব্যাখ্যা কর। ২

গ. উদ্দীপকে বর্ণিত 60° কোণে বিক্ষিপ্ত ফোটনটির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য কত? ৩

ঘ. প্রিতম কোন ফোটনটি দ্বারা ফটো তড়িৎ ক্রিয়া সম্পন্ন করতে পেরেছিল– উদ্দীপকের আলোকে গাণিতিক বিশেণ্ডষণের মাধ্যমে ব্যাখ্যা কর। ৪

৩৫ নং প্রশ্নের উত্তর

ক নিউক্লিয়াসের ভর, নিউক্লিয়াসের অভ্যন্ড়রে অবস্থিত নিউক্লিয়নগুলোর মুক্তবস্থায় ভরের সমষ্টির চেয়ে কিছু কম থাকে। ভরের এ পার্থক্যকে ভর-ত্র□টি বলে।

খ কোনো ব্যক্তি তার পোষা বিড়ালটির বয়স স্থির রাখতে চাইলে বিড়ালটিকে আলোর বেগে (v = c) গমন করতে হবে। এক্ষেত্রে, পৃথিবীতে অতিবাহিত সময়কাল (t) যে কোনো মানের হোক না কেন, মহাশূন্যযানে অতিবাহিত সময়কাল হবে, $t_o = t\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} = t\sqrt{1-\frac{c^2}{c^2}} = 0$ ফলে বিড়ালের বয়স বাড়বে না।

গ দেওয়াআছে,

বিক্ষেপন কোণ, $\theta = 60°$

বিক্ষেপনের পূর্বে ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 0.3$ Å $= 0.3 \times 10^{-10}$ m

জানা আছে, পণ্ঢাংকের ধ্র□বক, $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J.s

ইলেকট্রনের নিশ্চল ভর, $m_o = 9.1 \times 10^{-31}$ kg

এবং শূন্যস্থানে আলোর দ্র□তি, $c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}

বের করতে হবে, বিক্ষেপনের পর ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda' = ?$

আমরা জানি, $\lambda' = \lambda + \frac{h}{m_o c}(1 - \cos\theta)$

$= 0.3 \times 10^{-10}$ m $+ \frac{6.63 \times 10^{-34}\text{ J.s}}{9.1 \times 10^{-31}\text{ kg} \times 3 \times 10^8\text{ ms}^{-1}}(1 - \cos 60°)$

$= 0.3 \times 10^{-10}$ m $+ 1.2143 \times 10^{12}$m

$= 3.12143 \times 10^{-11}$m **(Ans.)**

ঘ উদ্দীপকে উলেণ্ডখিত ধাতুর কার্যাপেক্ষক, $W_o = 0.03884$ MeV

$= 0.03\,884 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19}$ J $= 6.2144 \times 10^{-15}$ J

সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য, λ_o হলে, $W_o = \frac{hc}{\lambda_o}$

$\therefore \lambda_o = \frac{hc}{w_o} = \frac{6.63 \times 10^{-34}\text{ J.s} \times 3 \times 10^8\text{ ms}^{-1}}{6.2144 \times 10^{-15}\text{ J}}$

$= 3.2 \times 10^{-11}$ m

মনেকরি যে ফোটন θ কোণে বিক্ষেপিত হবে, বিক্ষেপনের পর তার তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda_o' = \lambda + \frac{h}{m_o c}(1 - \cos\theta)$

বা, $\frac{h}{m_o c}(1 - \cos\theta) = \lambda_o' - \lambda = 3.2 \times 10^{-11}$ m $- 0.3 \times 10^{-10}$ m

$= 2 \times 10^{-12}$ m

বা, $1 - \cos\theta = \frac{2 \times 10^{-12}\text{ m} \times m_o c}{h}$

$= \frac{2 \times 10^{-12}\text{ m} \times 9.1 \times 10^{-31}\text{ kg} \times 3 \times 10^8\text{ ms}^{-1}}{6.63 \times 10^{-34}\text{ J.S}}$

$= 0.8235$

বা, $\cos\theta = 1 - 0.8235 = 0.1765$

$\therefore \theta = \cos^{-1}(0.1765) = 79.83°$

সূতরাং, যে ফোটনগুলো 79.83° বা তার চেয়ে কম কোণে বিক্ষেপিত হয়েছিলো, সেগুলো দ্বারা প্রিতম ফটো তড়িৎ ক্রিয়া সম্পন্ন করতে পেরেছিল। উলেণ্ডখিত 60° কোণে বিক্ষেপিত ফোটনটিও ফটো তড়িৎ ক্রিয়া সম্পন্ন করতে পারবে। তবে যে ফোটনগুলো ইলেকট্রনের সাথে সংঘর্ষের পর বিপরীত দিকে ফিরে আসে, সেগুলো ফটো তড়িৎ ক্রিয়া সম্পন্ন করতে পারবেনা।

প্রশ্ন ▶৩৬ A ও B দুটি ধাতু নিয়ে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া প্রদর্শনের পরীক্ষা চালানোর সময় উভয় ধাতুর উপর 2500Å তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের আলো আপতিত করে দেখা গেল যে, ধাতুদ্বয় হতে যথাক্রমে 2.67eV ও 0.23 eV গতিসম্পন্ন ইলেকট্রন নির্গত হয়।

ধাতু	কার্যাপেক্ষক (eV)
সিজিয়াম	2.14
পটাসিয়াম	2.30
সোডিয়াম	2.75
রূপা	4.74
তামা	4.94

[ড. মাহবুবুর রহমান মোলণ্ডা কলেজ, ঢাকা]

ক. কম্পটন ক্রিয়া কি? ১

খ. আপতিত আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য হ্রাস পেলে ফটো ইলেকট্রনের বেগের উপর কি প্রভাব পড়ে? ২

গ. আপতিত ফোটনের ভরবেগ কত? ৩

ঘ. উদ্দীপকের A ও B ধাতুদ্বয় কি হতে পারে। গাণিতিক বিশেণ্ডষণ করে সিদ্ধান্ড় দাও। ৪

৩৬ নং প্রশ্নের উত্তর

ক একটি শক্তিশালী ফোটনের সাথে ইলেকট্রনের সংঘর্ষ ঘটলে ফোটন কিছু শক্তি ইলেক্ট্রনকে প্রদান করে বিক্ষিপ্ত হয়, ফলে এর কম্পাঙ্ক পূর্বের তুলনায় কমে যায় অর্থাৎ তরঙ্গদৈর্ঘ্য বেড়ে যায়। বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের এ পরিবর্তন হওয়ার ঘটনাকে কম্পটন ক্রিয়া বলে।

খ চিরায়ত তরঙ্গ তত্ত্বানুসারে আপতিত আলোর শক্তি তথা কম্পাঙ্কের উপর ফটোইলেকট্রনের গতিবেগ তথা গতিশক্তি নির্ভর করে।

জানা আছে, ফোটনের শক্তি E এবং কম্পাঙ্ক f হলে,

$E = hf$

$\therefore E \propto f$

অর্থাৎ, আপতিত ফোটনের কম্পাঙ্ক বাড়লে ফোটনের শক্তিও বাড়ে।

আবার, কোনর ধাতুর কার্যাপেক্ষক W_0 এবং ইলেকট্রনের সর্বাধিক শক্তি K_{max} হলে,

$hf = K_{max} + W_o$

বা, $K_{max} = hf - W_o$

উপরোক্ত সমীকরণে কোণ নির্দিষ্ট ধাতুর উপর বেশী কম্পাংকের আলো আপতিত হলে ফটোইলেক্ট্রনের গতিশক্তিও বেশি হবে।

এখন, আপতিত আলোার তরঙ্গদৈর্ঘ্য হ্রাস পেলে কম্পাঙ্ক বৃদ্ধি পায়, অর্থাৎ ফটো ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তিও বেশি হয়। ফলশ্র□তিতে ফটো ইলেকট্রনের বেগও বৃদ্ধি পাবে।

গ আমরা জানি,

$P = \frac{h}{\lambda}$

$= \frac{6.63 \times 10^{-34}}{2500 \times 10^{-10}}$

এখানে,

আপতিত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 2500$Å

$= 2500 \times 10^{-10}$m

পণ্ঢাংঙ্কের ধ্র□বক, $h = 6.63 \times 10^{-34}$Js

$= 2.65 \times 10^{-27} kgms^{-1}$ | আপতিত ফোটনের ভরবেগ, P = ?

ঘ এখানে,

আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 2500Å$

$= 2500 \times 10^{-10}m$

আলোর বেগ, $c = 3 \times 10^8\ ms^{-1}$

পণ্ঢাংকের ধ্রুবক, $h = 6.63 \times 10^{-34}\ Js$

A ধাতুর ক্ষেত্রে ইলেকট্রনের গতিশক্তি, $K_{max} = 2.67eV$

$= 2.67 \times 1.6 \times 10^{-19}J$

$= 4.27 \times 10^{-19}J$

B ধাতুর ক্ষেত্রে ইলেকট্রনের গতিশক্তি, $K'_{max} = 0.23\ eV$

$= 0.23 \times 1.6 \times 10^{-19}$

$= 3.68 \times 10^{-20}J$

ধরি,

A ধাতুর কার্যাপেক্ষক = W_o

এবং B ধাতুর কার্যাপেক্ষক = W_o'

এখন, A ধাতুর ক্ষেত্রে আপতিত আলোর শক্তি,

$E = K_{max} + Wo$

বা, $\frac{hc}{\lambda} - K_{max} = Wo$

$\therefore W_o = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2500 \times 10^{-10}} - 4.27 \times 10^{-19}$

$= 7.956 \times 10^{-19} - 4.27 \times 10^{-19}$

$= 3.686 \times 10^{-19}J = 2.30\ eV$

আবার, B ধাতুর ক্ষেত্রে,

$E = K'_{max} + W_{o'}$

বা, $W_o = E - K'_{max}$

$= \frac{hc}{\lambda} - K'_{max}$

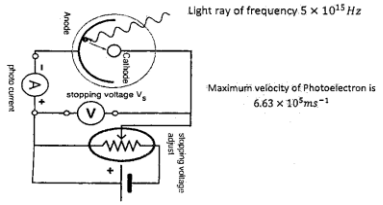
$= \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2500 \times 10^{-10}} - 3.68 \times 10^{-20}$

$= 7.588 \times 10^{-19}\ J$

$= 4.74\ eV$

সুতরাং প্রদত্ত সারণী অনুযায়ী A ধাতুটি পটাসিয়াম এবং B ধাতুটি রূপা।

প্রশ্ন ▶ ৩৭



[বরিশাল ক্যাডেট কলেজ]

ক. ডি-ব্রগলীর তরঙ্গ কি? ১

খ. কোনো ইলেকট্রনের সাথে ফোটনের সংঘর্ষে কি ঘটে? কম্পটন ক্রিয়া অনুসারে ব্যাখ্যা কর? ২

গ. চিত্রে ধাতব অ্যানোডের সূচন কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর? ৩

ঘ. ভোল্টমিটারের পাঠ 1V ও 1.5V এর মধ্যে ক্যাথোডের দিকে ফটোইলেকট্রনের আচরণ উপরোক্ত চিত্রানুসারে তুলনা কর। ৪

৩৭ নং প্রশ্নের উত্তর

ক প্রত্যেক চলমান কণার সাথে একটি তরঙ্গ যুক্ত থাকে। এ তরঙ্গকে ডি-ব্রগলীর তরঙ্গ বলে।

খ একটি শক্তিশালী ফোটনের সাথে পদার্থের কণিকা ইলেকট্রনের সংঘর্ষ ঘটলে ফোটনটি ইলেকট্রনকে কিছু শক্তি প্রদান করে। ফলে ফোটনের নিজস্ব শক্তি কিছু পরিমাণ হ্রাস পায়। এভাবে ফোটনের নিজস্ব শক্তি ব্যয় হবার ফলে বিক্ষিপ্ত ফোটনের শক্তি আপতিত ফোটনের চেয়ে কম হয়। অর্থাৎ বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য আপতিত ফোটনের তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের চেয়ে বেশি হবে।

গ

আমরা জানি,

$hf = K_{max} + hf_o$

বা, $hf_o = hf - K_{max}$

বা, $hf_o = hf - \frac{1}{2}mv_m^2$

বা, $f_o = \frac{hf - \frac{1}{2}mv_m^2}{h}$

এখানে,

আপতিত আলোক রশ্মির কম্পাঙ্ক $f = 5 \times 10^{15}Hz$

ফোটনের সর্বোচ্চ বেগ, $v_m = 6.63 \times 10^5 ms^{-1}$

পণ্ঢাঙ্কের ধ্রুবক, $h = 6.62 \times 10^{-34}Js$

ইলেকট্রনের ভর, $m = 9.1 \times 10^{-31}kg$

সূচন কম্পাঙ্ক, f_o = ?

$= \frac{(6.63 \times 10^{-34}Js) \times (5 \times 10^{15}Hz) - 0.5 \times (9.1 \times 10^{-31}kg)(6.63 \times 10^5 ms^{-1})^2}{6.63 \times 10^{-34}Js}$

$= 4.7 \times 10^{15}Hz$ **(Ans.)**

ঘ

আমরা জানি,

$eV_o = hf - hf_o$

বা, $V_o = \frac{h(f - f_o)}{e}$

এখানে, পণ্ঢাঙ্কের ধ্রুবক, $h = 6.62 \times 10^{-34}Js$আপতিত রশ্মির কম্পাঙ্ক, $f = 5 \times 10^{15}Hz$ সূচন কম্পাঙ্ক, $f_o = 4.7 \times 10^{15}Hz$ ইলেকট্রনের চার্জ, $e = -1.6 \times 10^{-19}C$ নিবৃত্তি বিভব, V_o = ?

$= \frac{6.63 \times 10^{-34}Js\ (5 \times 10^{15}Hz - 4.7 \times 10^{15}Hz)}{1.6 \times 10^{-19}}$

$= 1.24\ V$

অর্থাৎ, 1.24V এর নিচে বিভবের জন্য ফটো ইলেকট্রন ক্যাথোডের দিকে যাবে। তাই 1V পাঠে ফটো ইলেকট্রন প্রবাহ হলেও 1.5V পাঠে ফোটন ইলেকট্রন ক্যাথোডের দিকে যাবে না।

প্রশ্ন ▶ ৩৮ একটি ইলেকট্রনের বেগ 0.866c এবং আরেকটির বেগ 0.99c। ইলেকট্রনের নিশ্চল ভর 9.1×10^{-28}gm. *[কুমিলণ্ঢা ক্যাডেট কলেজ]*

ক. কার্যাপেক্ষক কাকে বলে? ১

খ. তাড়িৎচৌম্বক বিকিরণ কখনো কণা এবং ফোটন কখনো তরঙ্গের ন্যায় আচরণ করে, ডি-ব্রগলীর সমীকরণের সাহায্যে ব্যাখ্যা কর। ২

গ. উদ্দীপকে প্রথম ইলেকট্রনের চলমান ভর কত? ৩

ঘ. দ্বিতীয় ইলেকট্রনের অপেক্ষা প্রথম ইলেকট্রনের শক্তি কম। গাণিতিক বিশেণ্ঢষণের মাধ্যমে উদ্দীপকটির জন্য বিবৃতিটি যাচাই কর। ৪

৩৮ নং প্রশ্নের উত্তর

ক কোন ধাতব পৃষ্ঠ থেকে নিঃসরণের জন্য ইলেকট্রনের একটি ন্যূনতম শক্তি প্রয়োজন। তা না হলে আলোর অনুপস্থিতিতে ইলেকট্রন ধাতব পৃষ্ঠ থেকে বেরিয়ে পড়ত। ন্যূনতম শক্তি hfo কে ধাতব পৃষ্ঠের কার্যাপেক্ষক বলে।

খ বিজ্ঞানী লুইস দ্য ব্রনলী ১৯২৪ সালে প্রস্ড়াব করেন যে, বস্তুর দ্বৈত প্রকৃতি রয়েছে। একটি কণা প্রকৃতি অপরটি তরঙ্গ প্রকৃতি, প্রত্যেক চলমান কণার সাথে একটি তরঙ্গ যুক্ত থাকে। কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট ফোটনের শক্তি E হলে, E = hf

আবার, আপেক্ষিকতা তত্ত্ব থেকে পাওয়া যায়, E = pc

বা, $hf = pc$

বা, $p = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$

$\therefore \lambda = \frac{h}{p}$

এ সমীকরণ থেকে স্পষ্টত বলা যায় যে, তাড়িত চৌম্বক বিকিরণ অবস্থা বিশেষে কণার মত আচরণ করে এবং ফোটন অঙ্গনা বিশেষে তরঙ্গের মত আচরণ করে।

গ

আমরা জানি,

$$m = \frac{m_o}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{9.1\times10^{-31}kg}{\sqrt{1-\left(\frac{v^2}{c^2}\right)}} = \frac{9.1\times10^{-31}kg}{\sqrt{1-(0.866)^2}}$$

$= 1.82 \times 10^{-30}$kg **(Ans.)**

এখানে,
ইলেকট্রনের, নিশ্চল ভর, $m_o = 9.1 \times 10^{-27}$gm
$= 9.1 \times 10^{-31}$kg
বেগ, $v = 0.866\ c$
চলমান ভর, $m = ?$

ঘ এখানে,
প্রথম ইলেকট্রনের দ্রুতি, $v_1 = 0.866\ c$
দ্বিতীয় ইলেকট্রনের দ্রুতি, $v_2 = 0.99\ c$
ইলেকট্রনের নিশ্চল ভর, $m_o = 9.1 \times 10^{-28}gm = 9.1 \times 10^{-31}kg$
ইলেকট্রনের আপেক্ষিক গতিশক্তি, $E = ?$
আলো বেগ, $c = 3 \times 10^8 ms^{-1}$
আমরা জানি,
$E = mc^2$
প্রথম ইলেকট্রনের জন্য,

$$E_1 = m_1c^2 = \frac{m_oc^2}{\sqrt{1-\frac{v_1^2}{c^2}}} = \frac{(9.1\times10^{-31}kg)\times(3\times10^8ms^{-1})^2}{\sqrt{1-\left(\frac{0.866c}{c}\right)^2}}$$

$= 1.64 \times 10^{-13}$J

আবার, দ্বিতীয় ইলেকট্রনের জন্য, $E_2 = m_2c^2$

$$= \frac{m_oc^2}{\sqrt{1-\frac{v_2^2}{c^2}}} = \frac{(9.1\times10^{-31}kg)\times(3\times10^8ms^{-1})^2}{\sqrt{1-\left(\frac{0.99c}{c}\right)^2}}$$

$= 5.81 \times 10^{-13}\text{J} > 1.64 \times 10^{-13}\text{J}$
∴ প্রথম ইলেকট্রনের শক্তি দ্বিতীয় ইলেকট্রন অপেক্ষা কম।

প্রশ্ন ▶৩৯ স্থির অবস্থান থেকে 12m দৈর্ঘ্যের এবং 24kg ভরের কোন একটি বস্তু $\frac{1}{2}c$ বেগে চলা আরম্ভ করলো। *[খুলনা পাবলিক কলেজ]*

ক. কাল দীর্ঘায়ন কী? ১
খ. সময় সম্প্রসারণ ও দৈর্ঘ্য সংকোচনের মধ্যে সম্পর্ক ব্যাখ্যা কর। ২
গ. গতিশীল অবস্থায় বস্তুটির দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। ৩
ঘ. নিউটনীয় বলবিদ্যা থেকে প্রাপ্ত গতিশক্তি ও আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে প্রাপ্ত গতিশক্তির সমান হবে কিনা উদ্দীপকে প্রদত্ত তথ্যের আলোকে বিশ্লেষণ কর। ৪

৩৯ নং প্রশ্নের উত্তর

ক দ্রুতিবেগে গতিশীল কাঠামোতে পরিমাপকৃত সময় ব্যবধানের তুলনায় স্থির কাঠামোতে পরিমাপকৃত সময় ব্যবধান বেশি। এ বিষয়টি কাল দীর্ঘায়ন নামে পরিচিত।

খ মনে করি, কোনো বস্তু প্রসঙ্গ কাঠামোর সাপেক্ষে v বেগে গতিশীল। ঐ বস্তু যে সময় ব্যবধান t_o হিসেবে পরিমাপ করে প্রসঙ্গ কাঠামো তা t হিসেবে পরিমাপ করে। এখানে, $t = \frac{t_o}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ ..... (i)

আবার, বস্তুর নিশ্চল দৈর্ঘ্য L_o এবং প্রসঙ্গ কাঠামোর সাপেক্ষে এর চলমান দৈর্ঘ্য L হলে, $L = L_o\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ ..... (ii)

$\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ রাশিটির মান 1 অপেক্ষা কম হওয়ায় বুঝা যায়, বস্তুটির গতিশীলতার কারণে সময় সম্প্রসারিত হবে এবং দৈর্ঘ্য সংকোচন ঘটবে। সময় যদি m গুণ সম্প্রসারিত হয় তাহলে দৈর্ঘ্য সংকুচিত হয়ে পূর্বের তুলনায় $\frac{1}{m}$ গুণ হবে।

এখানে, $m = \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$; v = প্রসঙ্গ কাঠামোর সাপেক্ষে বস্তুর গতিবেগ।

উপরোক্ত বিবৃতিই সময় সম্প্রসারন ও দৈর্ঘ্য সংকোচনের মধ্যকার সম্পর্ক।

গ দেওয়া আছে,
নিশ্চল দৈর্ঘ্য, $L_o = 12$ m
বস্তুটির গতিবেগ, $v = \frac{1}{2}c = \frac{c}{2}$
যেখানে, c হলো শুন্যস্থানে আলোর গতিবেগ
বের করতে হবে, চলমান দৈর্ঘ্য, $L = ?$
আমরা জানি, $L = L_o\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$

$$= 12m \times \sqrt{1-\left(\frac{v^2}{c^2}\right)} = 12m \times \sqrt{1-\frac{1}{4}}$$

$$= 12 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 6\sqrt{3}\ m = 10.39m \textbf{ (Ans.)}$$

ঘ উদ্দীপক মতে, বস্তুটির নিশ্চল ভর, $m_o = 24$kg
এবং গতিবেগ, $v = \frac{1}{2}c = \frac{c}{2}$
এখানে, c হলো শূন্যস্থানে আলোর গতিবেগ
সুতরাং, নিউটনীয় বলবিদ্যা থেকে প্রাপ্ত গতিশক্তি, $E_k = \frac{1}{2}m_ov^2$

$$= \frac{1}{2}m_o\left(\frac{c}{2}\right)^2 = \frac{1}{8}m_oc^2 = 0.125\ m_oc^2$$

এবং আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে প্রাপ্ত গতিশক্তি, $E_k' =$

$$(m-m_o)c^2 = \left(\frac{m_o}{\sqrt{\frac{1-v^2}{c^2}}-m_o}\right)c^2 = \left(\frac{m_o}{\sqrt{1-\left(\frac{c/2}{c}\right)^2}}-m_o\right)c^2$$

$$= \left(\frac{m_o}{\sqrt{1-\frac{1}{4}}}-m_o\right)c^2 = \left(\frac{m_o}{\sqrt{3/4}}-m_o\right)c^2$$

$$= m_o\left(\frac{2}{\sqrt{3}}-1_0\right)c^2 = 0.1547\ m_oc^2$$

স্পষ্টত: $0.125\ m_oc^2 \neq 0.1547\ m_oc^2$
বা, $E_k \neq E_k'$
সুতরাং, নিউটনীয় বলবিদ্যা থেকে প্রাপ্ত গতিশক্তি ও আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে প্রাপ্ত গতিশক্তি সমান হবে না।

প্রশ্ন ▶৪০ একটি ধাতুর উপর 2.5×10^3A° তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের UV রশ্মি ফেলা হলে ইলেকট্রন নির্গত হলো। ধাতুটির সূচন কম্পাংক 5.55×10^{14}Hz। *[খুলনা পাবলিক কলেজ]*

ক. কার্যাপেক্ষক কাকে বলে? ১
খ. Photoelectric effect-ব্যাখ্যা কর। ২

গ. ধাতু হতে নির্গত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ শক্তি নির্ণয় কর। ৩

ঘ. ঐ ধাতুর উপর 6.8×10^3A° তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের UV রশ্মি ফেলা হলে ইলেকট্রন নির্গত হবে কিনা গাণিতিকভাবে বিশে- ষণ কর। ৪

৪০ নং প্রশ্নের উত্তর

ক কোনো ধাতুর পৃষ্ঠের ওপর ন্যূনতম যে শক্তির ফোটন আপতিত হলে ইলেকট্রন অবমুক্ত হয় তাকে উক্ত ধাতুর কার্যাপেক্ষক বলে।

খ ধাতুর খন্ডে পরমাণুর যোজন ইলেকট্রনসমূহ নির্দিষ্ট শক্তিতে নিউক্লিয়াসের সাথে আবদ্ধ থাকে। এদেরকে মুক্ত করতে হলে ন্যূনতম শক্তি প্রদান করতে হবে। কোনো ফোটন ধাতু পৃষ্ঠে আপতিত হয়ে যদি এ ন্যূনতম মানের শক্তি বা এর চেয়ে বেশি শক্তি ইলেকট্রনটিকে প্রদান করতে পারে, তাহলে ইলেকট্রনটি অবমুক্ত হয়। এভাবে ঝাঁকে ঝাঁকে ফোটন আপতনের মাধ্যমে ঝাঁকে ঝাঁকে ইলেকট্রন অবমুক্ত হওয়া সম্ভব। অবমুক্ত এ ইলেকট্রনগুলোর পারস্পরিক তাড়িত চাপের কারণে এরা প্রবাহিত হতে শুর“ করে। এভাবে ধাতু পৃষ্ঠে আলো বা অন্য কোনো তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণ আপতিত হওয়ার মাধ্যমে তড়িৎপ্রবাহ সৃষ্টির ঘটনাকে Photoelectric effect বা আলোক তড়িৎ ক্রিয়া বলে।

গ দেওয়া আছে,

আপতিত রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্যে, $\lambda = 2.5 \times 10^3$A°
$= 2.5 \times 10^3 \times 10^{-10}$m
$= 2.5 \times 10^{-7}$m

ধাতুর সূচন কম্পাঙ্ক, $f_o = 5.55 \times 10^{14}$Hz

জানা আছে, পণ্ঢাংকের ধ্র“বক, $h = 6.63 \times 10^{-34}$J.s

ইলেকট্রনের ভর, $m = 9.1 \times 10^{-31}$kg

শূন্য স্থানে আলোর দ্র“তি, $c = 3 \times 10^8 ms^{-1}$

বের করতে হবে, নির্গত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ বেগ, v_{max} = ?

আইনস্টাইনের আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া সংক্রান্ড় সমীকরণ হতে পাই,

$h\frac{c}{\lambda} = hf_o + T_{max}$ [T_{max} = ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি]

বা, $T_{max} = h\frac{c}{\lambda} - hf_o$

$= 6.63 \times 10^{-34}J.s \times \frac{3 \times 10^8 ms^{-1}}{2.5 \times 10^{-7}m} - 6.63 \times 10^{-34}Js \times 5.55 \times 10^{14}Hz$

$= 4.27 \times 10^{-19}J = 2.67$ eV **(Ans.)**

ঘ প্রশ্নমতে,

আপতিত বিকিরণের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য, $\lambda = 6.8 \times 10^3$Å
$= 6.8 \times 10^3 \times 10^{-10}m = 6.8 \times 10^{-7}m$

এ বিকিরণের কম্পাঙ্ক, $\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8 ms^{-1}}{6.8 \times 10^{-7}m}$
$= 4.41 \times 10^{14}$Hz

কিন্তু ধাতুটির সূচন কম্পাঙ্ক, $\nu_o = 5.55 \times 10^{14}$Hz

$\therefore \nu < \nu_o$

যেহেতু ফোটনের শক্তি এর কম্পাংকের সমানুপাতিক।

সুতরাং 6.8×10^3A° তরঙ্গ দৈর্ঘ্য বা 4.41×10^{14}Hz কম্পাাংকের UV রশ্মি ধাতু পৃষ্ঠে ফেলা হলে কোনো ইলেকট্রন নির্গত হবে না।

প্রশ্ন ▶ ৪১ একদল বিজ্ঞানী মঙ্গলগ্রহে রকেট উৎক্ষেপণের চিন্ড্র করলেন। তারা 150m দৈর্ঘ্যের একটি রকেট উৎক্ষেপণ করে 2 ঘণ্টা পর এর দৈর্ঘ্য 140m মনে করলেন। রকেট উৎক্ষেপণের 4 ঘণ্টা পর মহাশূন্যে বেগ $2 \times 10^8 ms^{-1}$ *[মিরপুর বিশ্ববিদ্যালয় কলেজ, ঢাকা]*

ক. জেনার বিভব কাকে বলে? ১

খ. ন্যান্ড ও নর গেটকে সর্বজনীন গেট বলা হয় কেন? ২

গ. উদ্দীপকের রকেট উৎক্ষেপণের 2 ঘণ্টা পর এর দ্র“তি নির্ণয় কর। ৩

ঘ. "ধ্র“ববেগ অর্জন করার পর রকেটটির গতিশীল দৈর্ঘ্যের মান কম না বেশি হবে"– উদ্দীপক হতে যাচাই কর। ৪

৪১ নং প্রশ্নের উত্তর

ক ডায়োডের ক্ষেত্রে, বিপরীত বায়াস ভোল্টেজ বৃদ্ধি করে একটি ক্রান্ড়ি মানে পৌছালে দেখা যায় যে বিপরীত তড়িৎ প্রবাহ হঠাৎ করে অনেকগুণ বেড়ে যায়। এই সময় ডায়োড জাংশনের রোধ সম্পূর্ণভাবে ভেঙ্গে যায়। এই বিশেষ ভোল্টেজকে বলা হয় জেনার ভোল্টেজ।

খ OR, AND এবং NOT এই তিনটি মৌলিক গেটের সমন্বয়ে যেকোনো লজিক গেট তৈরি করা সম্ভব। তবে শুধু NAND গেট দিয়ে OR, AND এবং NOT গেট বাস্ড়বায়ন সম্ভব। অনুরূপভাবে NOR গেট দিয়েও যেকোনো লজিক সার্কিট বাস্ড়বায়ন সম্ভব। এজন্য NAND এবং NOR গেটকে সর্বজনীন গেট বলে।

গ দেওয়া আছে,

রকেটের দৈর্ঘ্য, $L_o = 150$ m

সংকোচিত বা গতিশীল দৈর্ঘ্য, $L = 140$ m

আমরা জানি,

$L = L_o\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

বা, $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{L}{L_o}$

বা, $1 - \frac{v^2}{c^2} = \left(\frac{L}{L_o}\right)^2$

বা, $\frac{v}{c} = \sqrt{1 - \left(\frac{L}{L_o}\right)^2}$

$\therefore v = 3 \times 10^8 \times \sqrt{1 - \left(\frac{140}{150}\right)^2}$

$= 1.07 \times 10^8$m/s **(Ans.)**

ঘ দেওয়া আছে,

স্থির অবস্থার দৈর্ঘ্য, $L_o = 150$ m

রকেটের গতি, $v = 2 \times 10^8$m/s

সুতরাং,

$L = L_o\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

বা, $L = 150\sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 10^8}{3 \times 10^8 m}\right)^2}$

$\therefore L = 111.8$ m < 140m

ধ্র“ববেগ অর্জন করার পর রকেটের গতিশীল দৈর্ঘ্যের মান কম হবে।

প্রশ্ন ▶ ৪২ পটাশিয়াম ধাতু হতে ইলেকট্রন নিঃসরণের মান 4400A° এর উপর 1.5×10^{15}Hz কম্পাঙ্কে অতি বেগুনী রশ্মি ফেলা হলো। *[বরিশাল সরকারি মহিলা কলেজ, বরিশাল]*

ক. এক বেকেরেল এর সংঙ্গা লিখ। ১

খ. লর্ড আর্নেস্ট রাদারফোর্ডের পরীক্ষার মাধ্যমে কীভাবে বুঝা যায় নিউক্লিয়াস পরমাণুর কেন্দ্রে অবস্থিত। ২

গ. পটাশিয়ামের কার্যাপেক্ষক eV এককে নির্ণয় কর। ৩

ঘ. উদ্দীপকের ক্ষেত্রে ধাতু থেকে ইলেকট্রন নিঃসরণ বন্ধ করাার জন্য কী ব্যবস্থা নিতে হবে; তা নির্ণয় কর। ৪

৪২ নং প্রশ্নের উত্তর

ক কোনো বস্তুর প্রতি সেকেন্ডে একটি পরমাণুর ভাঙ্গনকে এক বেকেরেল (Bq) বলে।

খ রাদারফোর্ডের পরীক্ষা হতে জানা যায় অধিকাংশ আলফা কণা স্বর্ণপাতের মধ্য দিয়ে সোজাসুজি ভেদ করে, অল্প কিছু সংখ্যক কণা সামান্য কোণে বেঁকে যায় আর প্রতি 20000 কণায় একটি কণা 180° কোণে ফিরে আসে। এ থেকে বোধগম্য হয় যে, পরমাণুর সমস্ড় ধন

আধান এবং ভর এর কেন্দ্রে অতি অল্প পরিসর স্থানে কেন্দ্রীভূত রয়েছে যাকে আমরা নিউক্লিয়াস আখ্যা দিয়ে থাকি।

গ দেওয়া আছে,

সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda_o = 4400\ A°$

$= 4400 \times 10^{-10}m$

আমরা জানি,

কার্যপেক্ষক, $W_o = h\lambda_o$

$= 6.63 \times 10^{-34}m \times \frac{c}{\lambda_o}$

$= 6.63 \times 10^{-34}m \times \frac{3 \times 10^8}{4400 \times 10^{-10}}$

$= 4.52 \times 10^{-19}J$

$= \frac{4.52 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}}\ eV$

$\therefore W_o = 2.83\ eV$ **(Ans.)**

ঘ দেওয়া আছে,

আপতিত কম্পাঙ্ক, $\lambda = 1.5 \times 10^{15}Hz$

আমরা জানি,

(গ) হতে, $W_o = 4.52 \times 10^{-19}J$

অতএব,

ইলেকট্রনের গতিশক্তি, $E_k = h\lambda - W_o$

$= 6.63 \times 10^{-34} \times 1.5 \times 10^{15} - 4.52 \times 10^{-19}$

$\therefore E_k = 5.425 \times 10^{-19}J$

অতএব, নিবৃত্তি বিভব, $V_o = \frac{E_k}{q}$

$= \frac{5.425 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}}\ V$

$\therefore V_o = 3.39\ V$

সুতরাং, ইলেকট্রনের নিঃসরণ থামানোর জন্য বিপরীতমুখী 3.39V মানের বিভব তথা নিবৃত্তি বিভব প্রয়োগ করতে হবে।

প্রশ্ন ▶৪৩ কোন বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করে গতিশীল করা হলে আইনস্টাইন ভরশক্তি রূপান্তর প্রক্রিয়ায় বস্তুর ভর মূলত শক্তিতে পরিণত হয়। এমনই ঘটনায় 1.25 amu ভরের একটি কণা 0.8c বেগে গতিশীল হয়ে সমপরিমাণ শক্তি পাওয়া যায় *[বাংলাদেশ নৌবাহিনী স্কুল এন্ড কলেজ, খুলনা]*

ক. দ্যা ব্রগলি তত্ত্বটি বিবৃত কর। ১

খ. কম্পটন ক্রিয়া ব্যাখ্যা কর। ২

গ. গতিশীল অবস্থায় কণাটির ভরবেগ কত হবে নির্ণয় কর। ৩

ঘ. কণাটির বেগ 50% করা হলে প্রাপ্ত গতিশক্তির মান তুলনামূলকভাবে কতটুকু হ্রাস বা বৃদ্ধি পাবে তা উদ্দীপকের আলোকে গাণিতিকভাবে বিশেণ্ডষণ কর। ৪

৪৩ নং প্রশ্নের উত্তর

ক **দ্যা ব্রগলি তত্ত্বটি হলো :** পদার্থ যা অণু, পরমাণু, প্রোটন, নিউট্রন, ইলেকট্রন প্রভৃতি ভিন্ন ভিন্ন কণার সমন্বয়ে গঠিত নিশ্চয়ই কোনো যথোপযোগী পরিস্থিতির মধ্যে তরঙ্গ প্রকৃতি প্রদর্শন করবে।

খ কোনো একটি শক্তিশালী ফোটনের সাথে পদার্থের কণিকা ইলেকট্রনের সংঘর্ষ ঘটলে ফোটনটি ইলেকট্রনকে কিছু শক্তি প্রদান করে। ফলে ফোটনের নিজস্ব শক্তি কিছু পরিমাণ হ্রাস পায়। এভাবে ফোটনের নিজস্ব শক্তি ব্যয় হবার ফলে বিক্ষিপ্ত ফোটনের শক্তি আপতিত ফোটনের চেয়ে কম হয়। অর্থাৎ বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য আপতিত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চেয়ে বেশি হবে। তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের এই পরিবর্তনকে কম্পটন ক্রিয়া বলে।

গ এখানে,

কণাটির নিশ্চল ভর, $m_o = 1.25\ amu$

$= 1.25 \times 1.66057 \times 10^{-27}kg$

কণাটির বেগ, $v = 0.8\ c$

∴ গতিশীল অবস্থার কণাটির ভরবেগ,

$= mc$

$= \frac{m_oc}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

$= \frac{1.25 \times 1.66057 \times 10^{-27}kg \times 3 \times 10^8ms^{-1}}{\sqrt{1 - \left(\frac{0.8c}{c}\right)^2}}$

$= 1.038 \times 10^{-18}kgms^{-1}$ **(Ans.)**

ঘ এখানে,

কণাটির নিশ্চল ভর, $m_o = 1.25\ amu$

$= 1.25 \times 1.66057 \times 10^{-27}kg$

কণাটির বেগ, $v_1 = 0.8c$

∴ গতিশক্তি, $E_1 = mc^2 = \frac{m_oc^2}{\sqrt{1 - \frac{v_1^2}{c^2}}}$

$= \frac{(1.25 \times 1.66057 \times 10^{-27}kg) \times (3 \times 10^8ms^{-1})^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{0.8c}{c}\right)^2}} = 3.11 \times 10^{-10}J$

আবার,

কণাটির বেগ 50% করা হলে পরিবর্তিত বেগ হবে $v_2 = v_1$ এর 50% $= 0.8c \times 0.5 = 0.4\ c$

∴ পরিবর্তিত গতিশক্তি, $E_2 = mc^2$

$= \frac{m_oc^2}{\sqrt{1 - \frac{v_1^2}{c^2}}}$

$= \frac{(1.25 \times 1.66057 \times 10^{-27}kg) \times (3 \times 10^8ms^{-1})^2}{\sqrt{1 - (0.4)^2}}$

$= 2.03 \times 10^{-10}J$

∴ $E_1 > E_2$

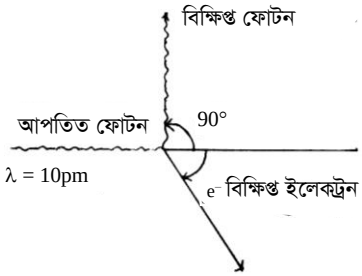
∴ গতিশক্তি হ্রাস পাবে।

অতএব, গতিশক্তি, হ্রাসের পমিরাণ $= E_1 - E_2$

$= (3.11 - 2.03) \times 10^{-10}J$

$= 1.08 \times 10^{-10}J$ **(Ans.)**

প্রশ্ন ▶৪৪



মাদ্দুল মজিদ কলেজ]

ক. ভরের আপেক্ষিকতা কি? ১

খ. পটাশিয়াম এর কার্য অপেক্ষক 2.2 eV বলতে কি বুঝ? ২

গ. বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য কত? ৩

ঘ. ফোটনটি 45° কোণে বিক্ষিপ্ত হলে ইলেকট্রনটির গতি শক্তির কোন পরিবর্তন হবে কিনা-গাণিতিক বিশেণ্ডষণের মাধ্যমে তোমার মতামত দাও। ৪

৪৪ নং প্রশ্নের উত্তর

ক পর্যবেক্ষক এবং বস্তুর মধ্যে আপেক্ষিক গতি থাকার কারণে বস্তুর ভর পরিমাপে যে ভিন্নতা পরিলক্ষিত হয় তাকে ভরের আপেক্ষিকতা বলে।

খ পটাশিয়ামের কার্য অপেক্ষক 2.2 eV বলতে বোঝায় পটাশিয়াম পৃষ্ঠ হতে ইলেকট্রন নিঃসরণের জন্য ন্যূনতম 2.2eV শক্তির প্রয়োজন।

2.2 eV এর কম মানের শক্তিতে আলোকরশ্মি আপতিত হলে পটাশিয়াম পৃষ্ঠ হতে কোনো ইলেকট্রন নিঃসৃত হবে না।

গ দেওয়া আছে,

আপতিত ফোটনের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য, $\lambda = 10\ pm$
$= 10 \times 10^{-12}m$

ফোটনের বিক্ষেপণ কোণ, $\theta = 90°$

জানা আছে,

ইলেকট্রনের নিশ্চল ভর, $m_o = 9.1 \times 10^{-31}kg$

পণ্ঢাংকের ধ্রুবক, $h = 6.63 \times 10^{-34}J.s$

আলোর দ্রুতি, $c = 3 \times 10^8 ms^{-1}$

বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য, $\lambda' = ?$

আমরা জানি,

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_o c}(1 - \cos\varphi)$$

বা, $\lambda' = \lambda + \frac{h}{m_o c}(1 - \cos\varphi)$

$= 10 \times 10^{-12} + \frac{6.63 \times 10^{-34}}{9.1 \times 10^{-31} \times 3 \times 10^8}(1 - \cos 90°)$

$= 1.243 \times 10^{-11}m$ **(Ans.)**

ঘ 'গ' অংশ হতে পাই, 90° কোণে বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য, $\lambda' = 1.243 \times 10^{-11}m$

∴ 90° কোণে বিক্ষিপ্ত ফোটনের গতিশক্তি–

$$E = \frac{hc}{\lambda'}$$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1.243 \times 10^{-11}m}$$

$= 1.6 \times 10^{-14}J$

ফোটনটি 45° কোণে বিক্ষিপ্ত হলে, বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ_1' হলে;

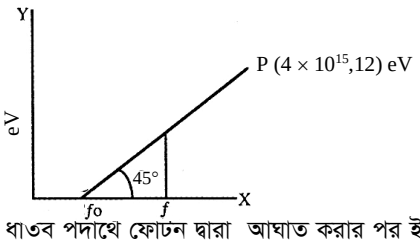
$$\lambda_1' = \lambda + \frac{h}{m_o c}(1 - \cos\varphi)$$

বা, $\lambda_1' = 10 \times 10^{-12} + \frac{6.63 \times 10^{-34}}{9.1 \times 10^{-31} \times 3 \times 10^8} \times 0.293$

∴ $\lambda' = 1.071 \times 10^{-11}m$

যেহেতু $\lambda_1' \neq \lambda'$, সেহেতু ফোটনের শক্তির কোনো পরিবর্তন হবে। ফোটনের শক্তির পরিবর্তন হওয়ায় ইলেকট্রনটির গতিশক্তিরও পরিবর্তন হবে।

প্রশ্ন ▶৪৫



চিত্রে : একটি ধাতব পদার্থে ফোটন দ্বারা আঘাত করার পর ইলেকট্রন নির্গত হয়। *[সরকারি হাজী মুহাম্মদ মহসিন কলেজ, চট্টগ্রাম]*

ক. জেনার ক্রিয়া কি? ১

খ. 'ডায়োড রেকটিফায়ার হিসেবে কাজ করে।'– উক্তিটি ব্যাখ্যা কর। ২

গ. উদ্দীপকটি ব্যবহার করে ইলেকট্রনটি সূচন কম্পাংক বের কর? ৩

ঘ. ইলেকট্রনটি পরমাণুর কোন শক্তির স্ড়রে অবস্থান করছে বলে তুমি মনে করছ– তোমার উত্তরের স্বপক্ষে যুক্তি দেখাও। ৪

৪৫ নং প্রশ্নের উত্তর

ক p-n জাংশন ডায়োডে পশ্চাৎমুখী বায়াসের ক্ষেত্রে ভোল্টেজের পার্থক্য ক্রমশ বাড়াতে থাকলে একটি বিশেষ ভোল্টেজ এর জন্য তড়িৎ প্রবাহ হঠাৎ খুব বেশি বৃদ্ধি পাওয়াকে জেনার ক্রিয়া বলে।

খ p-n জাংশন ডায়োডকে সম্মুখ ঝোঁকে যুক্ত করলে n-type হতে ইলেকট্রন p-type বস্তুতে গিয়ে হোল পূর্ণ করে। ফলে তড়িৎ প্রবাহ চলে। কিন্তু p-n জাংশন ডায়োডকে বিমুখী ঝোঁকে যুক্ত করলে ইলেকট্রনগুলো n-type বস্তুতেই থেকে যাওয়ায় ইলেকট্রন প্রবাহ তথা তড়িৎপ্রবাহ হয় না। অর্থাৎ, ডায়োডের মাধ্যমে শুধু এক দিকেই তড়িৎপ্রবাহ সম্ভব। এজন্য ডায়োড রেকটিফায়ার হিসেবে কাজ করে।

গ এখানে, উদ্দীপক অনুসারে,

কম্পাঙ্ক, $f = 4 \times 10^{15}Hz$

সূচন কম্পাঙ্ক, $f_o = ?$

গতিশক্তি $K = 12\ eV = (12 \times 1.6 \times 10^{-19})J$
$= 19.2 \times 10^{-19}J$

আমরা জানি, $hf = hf_o + K$

বা, $hf_o = 6.63 \times 10^{-34} \times 4 \times 10^{15} - 19.2 \times 10^{-19}$

বা, $6.63 \times 10^{-34} \times f_o = 7.32 \times 10^{-19}$

∴ $f_o = 1.104 \times 10^{15}Hz$ **(Ans.)**

ঘ এখানে,

সূচন কম্পাঙ্ক, $f_o = 1.104 \times 10^{15}Hz$

পণ্ঢাঙ্কের ধ্রুবক, $h = 6.63 \times 10^{-34}Js$

ইলেকট্রনের ভর, $m = 9.11 \times 10^{-31}kg$

ইলেকট্রনের আধান, $e = 1.6 \times 10^{-19}C$

মনে করি, ইলেকট্রনটি nতম শক্তি স্ড়রে অবস্থান করছে।

n তম শক্তিস্ড়রে অবস্থিত ইলেকট্রনের শক্তি $= \frac{me^4}{8\in_0^2 n^2 h^2}$

প্রশ্নমতে,

$$\frac{me^4}{8\in_0^2 n^2 h^2} = hf_o$$

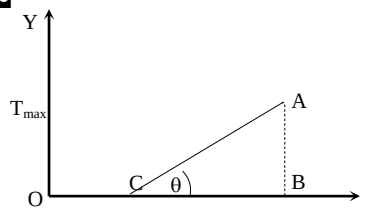
বা, $n^2 = \frac{me^4}{8\in_0^2 h^2 \times hf_o}$

বা, $n^2 = \frac{9.11 \times 10^{-31} \times (1.6 \times 10^{-19})^4}{8 \times (8.854 \times 10^{-12})^2 \times (6.63 \times 10^{-34})^3 \times 1.104 \times 10^{15}}$

∴ $n = 1.72 \approx 2$

অর্থাৎ, ইলেকট্রনটি পরমাণুর দ্বিতীয় শক্তিস্ড়রে অবস্থিত।

প্রশ্ন ▶৪৬



[সৈয়দপুর সরকারি কারিগরী কলেজ, নীলফামারী]

ক. কম্পটন ক্রিয়া কি? ১

খ. বোর কক্ষ পথগুলিকে স্থায়ী কক্ষপথ বলা হয়– ব্যাখ্যা কর। ২

গ. উদ্দীপকের আলোকে ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি কত? ৩

ঘ. কম্পাঙ্ক $5 \times 10^{15}Hz$ হতে পরিবর্তন করে $6 \times 10^{15}Hz$ করলে নিবৃত্তি বিভবের কিরূপ পরিবর্তন হবে– ব্যাখ্যা কর। ৪

৪৬ নং প্রশ্নের উত্তর

ক ফোটনের সাথে ইলেকট্রনের সংঘর্ষের ফলে ফোটনের শক্তির কিছু অংশ ইলেকট্রনে স্থানান্ড়রিত হয় ফলে ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পাওয়ার ঘটনাকে কম্পটন ক্রিয়া বলে।

খ রাদারফোর্ড পরমাণু মডেলের সীমাবদ্ধতা দূরীকরণের লক্ষ্যে বোর একটি পরমাণু মডেল প্রস্ড়াব করেন। এ মডেল অনুসারে, নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে ইলেকট্রন কতগুলো নির্দিষ্ট কক্ষপথে পরিভ্রমণ করে। এ সকল কক্ষপথ পরিভ্রমনকালে ইলেকট্রন কোনো শক্তি বিকিরণ করে না বা কোনো শক্তি শোষণ করে না। অর্থাৎ ইলেকট্রন

কোনো শক্তি শোষণ বা বিকিরণ না করলে তার আবর্তনের কক্ষপথ পরিবর্তন হয় না। এজন্য বোর কক্ষপথগুলিকে স্থায়ী কক্ষপথ বলে।

গ দেওয়া আছে, আপতিত ফোটনের কম্পাংক, $\nu = 5 \times 10^{14}$Hz

সূচন কম্পাংক, $\nu_o = 2 \times 10^{14}$Hz

জানা আছে, পণ্ঢাংকের ধ্র“বক, $h = 6.63 \times 10^{-34}$J.s

বের করতে হবে, ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি, $T_{max} = ?$

আইনস্টাইনের ফটো-তড়িৎ ক্রিয়ার সমীকরণ হতে আমরা জানি,

$$h\nu = h\nu_o + T_{max}$$
$$\therefore T_{max} = h\nu - h\nu_o$$
$$= h(\nu - \nu_o)$$
$$= 6.63 \times 10^{-34}\text{Js.} \times (5 \times 10^{14}\text{Hz} - 2 \times 10^{14}\text{Hz})$$
$$= 1.98 \times 10^{-19}\text{J}$$ **(Ans.)**

ঘ আপতিত ফোটনের কম্পাঙ্ক, $\nu = 5 \times 10^{15}$Hz হলে নিঃসৃত ফটোইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি,

$T_{max} = 1.989 \times 10^{-19}$J; এক্ষেত্রে নিবৃত্তি বিভব V_s হলে,

$$eV_s = T_{max}$$
$$\therefore V_s = \frac{T_{max}}{e} = \frac{1.989 \times 10^{-19}\text{J}}{1.6 \times 10^{-19}} = 1.243 \text{ Volt}$$

আবার, আপতিত ফোটনের কম্পাঙ্ক, $\nu' = 6 \times 10^{15}$Hz হলে,

নিঃসৃত ফটোইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি,

$$T_{max}' = h\nu' - h\nu_o = h(\nu' - \nu_o)$$
$$= 6.63 \times 10^{-34}\text{J} \times (6 \times 10^{15}\text{Hz} - 2 \times 10^{15}\text{Hz})$$
$$= 2.652 \times 10^{-18}\text{J}$$

এক্ষেত্রে, নিবৃত্তি বিভব, $V_{s'} = \frac{T_{max}'}{e} = \frac{2.652 \times 10^{-18}\text{J}}{1.6 \times 10^{-19}\text{C}}$

$$= 16.575 \text{ Volt}$$

সুতরাং নিবৃত্তি বিভবের পরিবর্তন, $\Delta V_s = V_s' - Vs$

$$= 16.575 \text{ volt} - 1.243 \text{ volt} = 15.332 \text{ volt (বৃদ্ধি)}$$

প্রশ্ন ▶ ৪৭ একজন মহাশূন্যচারী 25 বছর বয়সে $1.8 \times 10^8 ms^{-1}$ বেগে গতিশীল 2000kg ভরের মহাশূন্য যানে চড়ে মহাকাশে গেলেন। পৃথিবীর হিসেবে তিনি ৩০ বছর মহাকাশে কাটিয়ে আসলেন।

[গাজীপুর সিটি কলেজ]

ক. কম্পটন ক্রিয়া কী? ১

খ. ফটো তড়িৎ ক্রিয়ার বৈশিষ্ট্য আলোচনা কর। ২

গ. মহাশূন্যচারীর প্রকৃত বয়স কত হবে? ৩

ঘ. পৃথিবীর ও মহাশূন্যযানে অবস্থানরত দুইজন পর্যবেক্ষকের নিকট মহাশূন্যযানের শক্তি কি একই হবে? – বিশেণ্ডষণ কর। ৪

৪৭ নং প্রশ্নের উত্তর

ক একটি ফোটন কোন মুক্ত ইলেকট্রনকে আঘাত করার পর এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পাওয়ার ঘটনাকে কম্পটন ক্রিয়া বলে।

খ ফটো তড়িৎ ক্রিয়ার বৈশিষ্ট্যসমূহ নিম্নরূপ :

i. ফটোতড়িৎ ক্রিয়া একটি তাৎক্ষণিক ঘটনা। আলোর তীব্রতা যত কমই হোক না কেন যথোপযুক্ত কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট আলোক রশ্মি ধাতবপৃষ্ঠে আপতিত হওয়ার সাথে সাথে পৃষ্ঠ থেকে ইলেকট্রন নিঃসৃত হয়।

ii. ফটোইলেকট্রনের গতিশক্তি আপতিত আলোর কম্পাঙ্কের উপর নির্ভরশীল কিন্তু আলোর তীব্রতার উপর নির্ভরশীল নয়।

iii. যে কোন নির্দিষ্ট কম্পাঙ্ক ও মন্দনক বিভব পার্থক্যের জন্য ফটোপ্রবাহ আপতিত আলোর তীব্রতার সমানুপাতিক।

iv. ফটো তড়িৎ নিঃসরণ তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে না।

গ দেওয়া আছে,

ভূ-পৃষ্ঠ হতে নির্ণীত সময় ব্যবধান, $t = 30y$

মহাশূন্য যানের বেগ, $v = 1.8 \times 10^8 ms^{-1}$

জানি, আলোর বেগ, $c = 3 \times 10^8 ms^{-1}$

মহাশূন্য যানে মহাশূন্যচারীর বয়স বৃদ্ধি, $t_o = ?$

জানি, $t = \frac{t_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

বা, $t_o = t \times \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

$$= 30 \times \sqrt{1 - \frac{(1.8 \times 10^8)^2}{(3 \times 10^8)^2}}$$
$$= 24 \text{ year}$$

$\therefore$ মহাশূন্যচারীর বয়স হবে = (25 + 24) year

= 49 year **(Ans.)**

ঘ পৃথিবীতে অবস্থানরত পর্যবেক্ষকের নিকট মহাশূন্যযানের মোট শক্তি = mc^2

যেখানে, m = রকেটের গতিশীল ভর,

c = আলোর বেগ

এখন, $mc^2 = \frac{m_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} c^2$

$$= \frac{2000\text{kg}}{\sqrt{1 - \frac{(1.8 \times 10^8 ms^{-1})^2}{(3 \times 10^8 ms^{-1})^2}}} \times (3 \times 10^8 ms^{-1})^2$$
$$= 2.25 \times 10^{20} \text{ J}$$

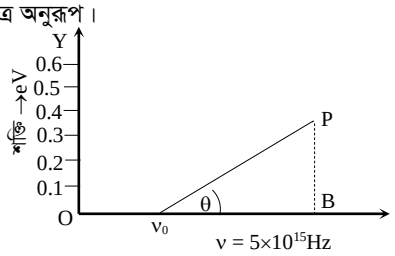
আবার,

মহাশূন্যযানে অবস্থানরত পর্যবেক্ষকের নিকট মহাশূন্যযানের মোট শক্তি

$$E = m_o c^2$$
$$= 2000 \text{ kg} \times (3 \times 10^8 ms^{-1})^2$$
$$= 1.8 \times 10^{20} \text{J}$$

সুতরাং পৃথিবীতে এবং মহাশূন্যযানে অবস্থানরত দুইজন পর্যবেক্ষকের নিকট মহাশূন্যযানের মোট শক্তি একই হবে না।

প্রশ্ন ▶ ৪৮ কোন একটি ফটো তড়িৎ ক্রিয়ার প্রাপ্ত ডাটা পাশের লেখচিত্রে অনুরূপ।



[কারমাইকেল কলেজ, রংপুর]

ক. কাল দীর্ঘায়ন কী? ১

খ. মাইকেলসন মর্লির পরীক্ষা আমাদের কোন বাস্ড়বতার মুখোমুখি দাঁড় করায়? ২

গ. ধাতব পদার্থটির সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত? ৩

ঘ. আপতিত বিকিরণটি বর্ণালীক্রমের কোন পর্যায়ে পড়বে বলে তুমি মনে কর। গাণিতিক বিশেণ্ডষণসহ উপস্থাপন কর। ৪

৪৮ নং প্রশ্নের উত্তর

ক ধ্র“ববেগে গতিশীল কাঠামোতে পরিমাপকৃত সময় ব্যবধানের তুলনায় স্থির কাঠামোতে পরিমাপকৃত সময় ব্যবধান বেশি। এ বিষয়টি কাল দীর্ঘায়ন নামে পরিচিত।

খ ইথার তত্ত্ব অনুযায়ী, মহাজগতের সর্বত্র ফাঁকা জায়গায় ইথার নামক পদার্থ বা মাধ্যম বর্তমান।

মাইকেলসন ও মর্লি ভূ-পৃষ্ঠের বিভিন্ন স্থানে এবং বিভিন্ন ঋতুতে এ তাদের পরীক্ষার পুণরাবৃত্তি করেন কিন্তু প্রতিবারই তারা ডোরা অপসারণ পরিমাপে ব্যর্থ হন। অর্থাৎ পরীক্ষা থেকে কোনো পর্যবেক্ষণযোগ্য ডোরা অপসরণ পরিলক্ষিত হয়নি।

সুতরাং সিদ্ধান্তে আসা যায়, আলোর পথের পরিবর্তন ঘটালেও আলোর দ্রুতি পরিবর্তিত হয়নি। এ থেকে প্রমাণিত হয় যে, আলোর দ্রুতি একটি সার্বজনীন ধ্রুবক।

সুতরাং মাইকেলসন মর্লির পরীক্ষা আমাদের এই বাস্তবতার মুখোমুখি দাঁড় করায় যে, "এ মহাবিশ্বে ইথার নামক কল্পিত পদার্থের কোনো অস্তিত্ব নেই।"

গ এখানে,

P বিন্দুর কম্পাঙ্ক, $\nu = 7.5 \times 10^{14}$Hz

সর্বোচ্চ শক্তি, $eV_o = 0.4 \times 1.6 \times 10^{-19}$J

সূচন তরঙ্গ দৈর্ঘ্য, $\lambda_o = ?$

আমরা জানি,

$h\nu = eV_o + h\nu_o$ [ν_o = সূচন কম্পাঙ্ক]

বা, $h\nu_o = h\nu - eV_o$

বা, $\nu_o = \nu - \frac{eV_o}{h}$

বা, $\frac{e}{\lambda_o} = \nu - \frac{eV_o}{h}$

বা, $\frac{3 \times 10^8}{\lambda_o} = 7.5 \times 10^{14} - \frac{0.4 \times 1.6 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}}$

বা, $\frac{3 \times 10^8}{\lambda_o} = 6.53 \times 10^{14}$

$\therefore \lambda o = 4.5908 \times 10^{-7}$m $= 4590.9$A° **(Ans.)**

ঘ এখানে,

আপতিত বিকিরণটি কম্পাঙ্ক, $\nu = 7.5 \times 10^{14}$Hz

আলোর বেগ, $c = 3 \times 10^8 ms^{-1}$

তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = ?$

আমরা জানি,

$c = \nu\lambda$

$\therefore \lambda = \frac{c}{\nu}$

$= \frac{3 \times 10^8 ms^{-1}}{7.5 \times 10^{14} Hz}$

$= 4 \times 10^{-7}$m

$= 400$ nm

গাণিতিক বিশে- ষণে দেখা যায়, আপতিত বিকিরণটির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য 400nm যা বর্ণালী ক্রমের বেগুনি পর্যায়ে (380 – 424 nm) পড়বে।

প্রশ্ন ▶ ৪৯ রাশিয়ার একজন মহাশূন্যচারী 35 বছর বয়সে $2.5 \times 10^8 ms^{-1}$ বেগে পৃথিবী প্রদক্ষিণে বের হলেন। তার জমজ ভাই পৃথিবীর হিসেবে দেখতে পান ঐ নভোচারী 20 বছর পর ফিরে আসলেন। উলেণ্টখ্য যে, ভূপৃষ্ঠ ত্যাগ করার পূর্বে নভোচারীর পকেটে 100cm দৈর্ঘ্যের একটি ডিজিটাল ক্যামেরা ছিল *।[সামসুল হক খান স্কুল এন্ড কলেজ, ঢাকা]*

ক. কম্পটন ক্রিয়া কি? ১

খ. ফটো তড়িৎ ক্রিয়া একটি তাৎক্ষণিক ঘটনা ব্যাখ্যা কর। ২

গ. মহাশূন্যে উক্ত নভোচারীর ব্যবহৃত ক্যামেরাটির দৈর্ঘ্য পৃথিবীর সাপেক্ষে কত হবে? ৩

ঘ. উভয়ের বর্তমান বয়স একই হবে কি? বিশেণ্টষণ কর। ৪

৪৯ নং প্রশ্নের উত্তর

ক ফোটনের সাথে ইলেকট্রনের সংঘর্ষ হলে ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পাওয়ার ঘটনাকে কম্পটন ক্রিয়া বলে।

খ আলোর তরঙ্গ তত্ত্ব অনুসারে, ফোটনের ধারণা স্বীকৃত নয়। আলোক শক্তি সমগ্র তরঙ্গমুখে ব্যাপ্ত থাকে। ধাতব পৃষ্ঠে অবস্থিত একেকটি অণুর ওপর তরঙ্গমুখের খুবই ক্ষুদ্র অংশ আপতিত হয়। ফলে পত্যেকটি অণু তথা ইলেকট্রন প্রতি সেকেন্ডে যে শক্তি আহরণ করে তা যৎ সামান্য। মুক্ত হবার জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি সংগ্রহে অনেক সময় লাগার কথা। কিন্তু, বাস্তবে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া একটি তাৎক্ষণিক ঘটনা। আলোর কোয়ান্টাম তত্ত্ব অনুসারে, ফোটন যখন ইলেকট্রনকে আঘাত করে তখন ইলেকট্রন ফোটনের হয় সম্পূর্ণ শক্তি শোষণ করে নয়তো কোনো শক্তিই শোষণ করে না। ইলেকট্রন যদি ফোটনের শক্তি শোষণ করে তাহলে ফোটন আপতিত হওয়ামাত্র তা শোষণ করে ইলেকট্রনটি নিঃসৃত হয় বা অবমুক্ত হয়। আলোকরশ্মির আপতন ও ইলেকট্রন নিঃসরণ-এ দু'য়ের মাঝে কোনো কাল বিলম্ব নেই, অর্থাৎ আলোক তড়িৎ ক্রিয়া তাৎক্ষণিক।

গ দেওয়া আছে,

ক্যামেরাটির নিশ্চল দৈর্ঘ্য, $L_o = 100$ cm

মহাশূন্য যান তথা ক্যামেরার গতিবেগ, $v = 2.5 \times 10^8 ms^{-1}$

জানা আছে, শূন্যস্থানে আলোর বেগ, $c = 3 \times 10^8 ms^{-1}$

বের করতে হবে, ক্যামেরার চলমান দৈর্ঘ্য, $L = ?$

আমরা জানি, $L = L_0\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

$= 100cm \times \sqrt{1 - \left(\frac{2.5 \times 10^8 ms^{-1}}{3 \times 10^8 ms^{-1}}\right)^2}$

$= 55.3$ cm **(Ans.)**

ঘ উদ্দীপকমতে,

পৃথিবীর অতিবাহিত সময় কাল, $t = 20$ y

মহাশূন্যযানের গতিবেগ, $v = 2.5 \times 10^8 ms^{-1}$

জানা আছে, শূন্যস্থানে আলোর গতিবেগ, $c = 3 \times 10^8 ms^{-1}$

$\therefore$ মহাশূন্যযানে অতিবাহিত সময় কাল,

$t_o = t\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 20y \times \sqrt{1 - \left(\frac{2.5 \times 10^8 ms^{-1}}{3 \times 10^8 ms^{-1}}\right)^2}$

$= 11.06$ y

সুতরাং মহাকাশযানটি যখন পৃথিবীতে ফিরে আসবে তখন মহাশূন্য চারীর বয়স = 35y + 11.06 y = 46.06 y এবং পৃথিবীতে অবস্থানাকরী তার ভাইটির বয়স = 35y + 20y = 55y

স্পষ্টত : $46.06y \neq 55y$

সুতরাং উভয়ের বর্তমান বয়স সমান হবে না।

অধ্যায়টির গুরুত্বপূর্ণ জ্ঞান ও অনুধাবনমূলক প্রশ্নোত্তর

(নির্বাচনি পরীক্ষার প্রশ্ন বিশেণ্টষণে প্রাপ্ত)

▶ক নং প্রশ্ন (জ্ঞানমূলক)

প্রশ্ন-১. আপেক্ষিকতার গতিশক্তির সমীকরণটি লেখ।

উত্তর: আপেক্ষিকতার গতিশক্তির সমীকরণ হল $E_k = mc^2 - m_0c^2$।

প্রশ্ন-২. সবল নিউক্লিয় বল কাকে বলে?

উত্তর: যে সবল বল নিউক্লিয়াসকে পরমাণুর মধ্যে ধরে রাখে তাকে সবল নিউক্লিয় বল বলে।

প্রশ্ন-৩. মহাকর্ষ বলের পালণ্ডা কত?
উত্তরঃ মহাকর্ষ বলের পালণ্ডা অসীম।

প্রশ্ন-৪. সবল নিউক্লিয় বলের পালণ্ডা কত?
উত্তরঃ সবল নিউক্লিয় বলের পালণ্ডা 10^{-15}m

প্রশ্ন-৫. আলোক তড়িৎ নির্গমনের প্রথম সূত্র বিবৃত করো।
উত্তরঃ আলোক তড়িৎ নির্গমন একটি তাৎক্ষণিক ঘটনা।

প্রশ্ন-৬. আলোক তড়িৎ নির্গমনের দ্বিতীয় সূত্রটি বিবৃত করো।
উত্তরঃ প্রতিটি আলোক ইলেকট্রন নির্গমনের ক্ষেত্রে আপতিত আলোক রশ্মির একটি নির্দিষ্ট ন্যূনতম কম্পাঙ্ক রয়েছে যার নাম সূচন কম্পাঙ্ক।

প্রশ্ন-৭. আলোক তড়িৎ নির্গমনের তৃতীয় সূত্রটি বিবৃত করো।
উত্তরঃ আপতিত আলোকের কম্পাঙ্ক প্রারম্ব বা সূচন কম্পাঙ্ক অপেক্ষা বেশি হলে আলোক তড়িৎ প্রবাহমাত্রা আপতিত আলোকের প্রাবল্যের সমাণুপাতিক।

প্রশ্ন-৮. আলোক তড়িৎ নির্গমনের চতুর্থ সূত্রটি বিবৃত করো।
উত্তরঃ আলোক ইলেক্ট্রনের গতিবেগ তথা গতিশক্তি আপতিত আলোকের প্রাবল্যের ওপর নির্ভর করে না বরং আপতিত আলোর কম্পাঙ্ক এবং নিঃসারকের প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে।

প্রশ্ন-৯. মুখ্য কু□ৈলী কাকে বলে?
উত্তরঃ তড়িৎ চৌম্বক আবেশের ক্ষেত্রে যে তারের কু□ৈলীতে তড়িৎ প্রবাহিত হয় তাকে মুখ্য কু□ৈলী বলে।

প্রশ্ন-১০. রনজেন কাকে বলে?
উত্তরঃ এক্সরের এককের নাম রনজেন বলতে আমরা সেই পরিমাণ এক্সরে বিকিরণ বুঝিয়া সাধারণ চাপ এবং তাপমাত্রায় 1mm বায়ুতে 3.33×10^{-10}C চার্জের উৎপন্ন করতে পারে।

প্রশ্ন-১১. গৌণ কু□ৈলী কাকে বলে?
উত্তরঃ তড়িৎ চৌম্বক আবেশের ক্ষেত্রে যে তারের কু□ৈলীতে তড়িৎপ্রবাহ আবিষ্ট হয় তাকে গৌণ কু□ৈলী বলে।

প্রশ্ন-১২. কারেন্ট কী?
উত্তরঃ গাণিতিকভাবে একক সময়ে চার্জের প্রবাহকে কারেন্ট বা প্রবাহ বলে।

প্রশ্ন-১৩. বি□ড়র কী?
উত্তরঃ যে কোনো অভিমুখে তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের সর্বোচ্চ মানকে বি□ড়র বা শীর্ষ মান বলে।

▶খ নং প্রশ্ন (অনুধাবনমূলক)

প্রশ্ন-১. ইথারের অস্ড়িত্ব প্রমাণের পরীক্ষায় মাইকেলসন মর্লির পরীক্ষায় সিদ্ধান্ড়গুলো কী হতে পারে?
উত্তরঃ ইথারের অস্ড়িত্ব প্রমাণের মাইকেলসন মর্লির পরীক্ষায় থেকে নিম্নলিখিত সিদ্ধান্ড়ে উপনীত হওয়া যায়–
i. ইথার বলতে এ মহাবিশ্বে কিছু নেই।
ii. গ্যালিলিয় রূপান্ড়র সঠিক নয়।
iii. আলোকের বেগ একটি ধ্র□ব রাশি।

প্রশ্ন-২. আপেক্ষিক তত্ত্বানুসারে গতিশীল অবস্থার দৈর্ঘ্য স্থির অবস্থার দৈর্ঘ্যের চেয়ে ছোট হয় কেন?
উত্তরঃ দৈর্ঘ্যর আপেক্ষিকতার ক্ষেত্রে আমরা জানি, $L = L_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$। যেহেতু বস্ড়ুর বেগের মান আলোর বেগের মানের চেয়ে সব সময়ই ছোট ফলে $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ এর মান সবসময়ই 1 থেকে কম হয় ফলে গতিশীল অবস্থার দৈর্ঘ্য L স্থির দৈর্ঘ্য L_0 এর চেয়ে সবসময়ই ছোট হয়।

প্রশ্ন-৩. আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে কোনো বস্ড়ুর গতিশীল ভর স্থির ভরের ব্যবধান অতি অল্প হবে কোন শর্তে ব্যাখ্যা করো।
উত্তরঃ ভরের আপেক্ষিকতা থেকে আমরা জানি,
$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$। এখন v এর মান c এর চেয়ে অনেক ছোট হলে অর্থাৎ $v << c$ হল $m \cong \frac{m_0}{\sqrt{1}}$ বা $m \cong m_0$ হয়। অর্থাৎ কোনো বস্ড়ুর বেগ আলোর বেগের চেয়ে অনেক কম হলে গতিশীল ও স্থির ভরের ব্যবধান অতি অল্প হবে।

প্রশ্ন-৪. এক্স রশ্মি তড়িৎ চুম্বকীয় রশ্মি, তাহলে তড়িৎ ও চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা এক্স রশ্মি বিক্ষিপ্ত হয় না কেন?
উত্তরঃ এক্স রশ্মি আহিত কণা নয়, তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ। তাই তড়িৎ ও চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা এক্স রশ্মি বিক্ষিপ্ত হয় না।

প্রশ্ন-৫. আপতিত আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য হ্রাস পেলে নির্গত আলোক ইলেকট্রনের বেগের উপর কী প্রভাব হবে?
উত্তরঃ আইনস্টাইনের আলোক তড়িৎ সমীকরণ থেকে পাওয়া যায় যে, আলোক ইলেকট্রনের গতিশক্তি $= \frac{1}{2}mv^2 = h\upsilon - u_0 = \frac{he}{\lambda} - v_0$। এখন আপতিত আলোকের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য হ্রাস পেলে নিঃসৃত আলোক ইলেকট্রনের বেগ বৃদ্ধি পাবে।

প্রশ্ন-৬. আলোক তড়িৎ ক্রিয়ায় আলোকের তীব্রতা বৃদ্ধি করলে নির্গত ফটো ইলেকট্রনের গতিশক্তির পরিবর্তন হবে কিনা– ব্যাখ্যা করো।
উত্তরঃ নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের (v) আপতিত আলোকের তীব্রতা বেশি হলে ফোটনের সংখ্যা বেশি হয় মাত্র; কিন্ড়ু কোনো একটি ফোটনের শক্তি hv অপেক্ষা বেশি হয় না কোন মতেই। কাজেই নির্গত ফটোইলেকট্রনের গতিশক্তি ও নিবৃত্তি বিভব আপতিত আলোকের তীব্রতার উপর নির্ভর করে না।
তাই আলোক তড়িৎ ক্রিয়ায় আলোকের তীব্রতা বৃদ্ধি করলে নির্গত ফটো ইলেকট্রনের গতিশক্তি কোনো পরিবর্তন হবে না।

প্রশ্ন-৭. গ্র□প বেগ ও দশা বেগ বলতে কি বুঝ?
উত্তরঃ গ্র□প বেগ হলো তরঙ্গের সেই বেগ যে বেগে তরঙ্গের এনভেলাপ স্পেসের মধ্যে দিয়ে সঞ্চালিত হয়। এর মধ্যে বিভিন্ন তরঙ্গ দৈর্ঘ্যর বিভিন্ন গতিবেগের আলাদা আলাদা তরঙ্গ অবস্থান করে। আবার দশা বেগ হলো স্পেসের মধ্যে তরঙ্গের দশার সঞ্চারণের হার। এটি এমন একটি বেগ যে বেগে তরঙ্গের যে কোনো একটি কম্পাঙ্ক উপাদানের দশা ভ্রমণ করে। এই কম্পাঙ্ক উপাদানের উদাহরণ হলো তরঙ্গশীর্ষ।

প্রশ্ন-৮. হাইসেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি অনুযায়ী আমরা জানি $\Delta x, \Delta p \geq \frac{h}{2\pi}$, যদি Δx এর মান শূন্য হয তবে Δp এর মান কিরূপ হবে?
উত্তরঃ যেহেতু Δx ও Δp এর গুণফল এর মান $\geq \frac{h}{2\pi}$, কাজেই একটি অনিশ্চয়তা শূন্য হলে অপরটির অনিশ্চয়তা অসীম হবে। তাই এক্ষেত্রে অবস্থানের অনিশ্চয়তা শূন্য হলে ভরবেগের অনিশ্চয়তা সর্বাধিক বা অসীম হবে।