আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের সূচনা

অষ্টম অধ্যায়

পদার্থবিজ্ঞান - দ্বিতীয় পত্র

সৃজনশীল নমুনা প্রশ্ন ও উত্তর

বেপজা পাবলিক স্কুল ও কলেজ

চট্টগ্রাম ইপিজেড

প্রিয় শিক্ষার্থীরা, এই অধ্যায়টিও অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ। প্রায় প্রতি বছরই এই অধ্যায় থেকে বোর্ড পরীক্ষায় রচনামূলক প্রশ্ন থাকে। তাই অধ্যায়টি অত্যন্ত যত্নসহকারে অধ্যয়ন করবে।

অধ্যায় : আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের সূচনা

১। তোমার বন্ধু একটি অতিদ্রুত গতিসম্পন্ন কাল্পনিক গাড়িতে **0.76 c** গতিতে তোমার পাশ দিয়ে চলে গেল। গাড়িটি **5.80 m** লম্বা বলে তোমার কাছে মনে হলো।

ক) পালসার নক্ষত্র কী ? ১

খ) কোন শর্তে মহাবিশ্বে মহাসংকোচন শুরু হবে? ব্যাখ্যা কর। ২

গ) স্থির অবস্থায় গাড়িটির দৈর্ঘ্য কত হবে ? ৩

ঘ) তোমার ঘড়িতে **20 sec** সময় অতিবাহিত হলে তোমার বন্ধুর ঘড়িতে অতিবাহিত সময় বেশি না কম হবে ? গাণিতিকভাবে যাচাই কর। ৪

উত্তর: ক) কোনো নক্ষত্র যখন সুপারনোভা হিসেবে বিস্ফোরিত হয় তখন এর কোর বা মূল বস্তুর চাপ এত বেশি হয় যে প্রোটন ও নিউট্রন একত্রিত হয়ে নিউট্রন গঠন করে। এদেরকে নিউট্রন নক্ষত্র বা পালসার বলে।

খ) যদি মহাবিশ্বের ক্রান্তি ঘনত্ব ρ_{cr} এর চেয়ে মহাবিশ্বের গড় ঘনত্ব ρ বড় হলে মহাবিশ্ব আবদ্ধ মহাবিশ্বে পরিণত হবে এবং সাথে সাথে বা কিছুকাল পরে মহাবিশ্ব প্রসারণ থামিয়ে দেবে। এখন থেকে প্রায় 100 বিলিয়ন বছর পরে অদৃশ্য শক্তির ঘনত্ব যদি ঋণাত্মক হয় তখন মহাবিশ্বের প্রসারণ বিপরীতমুখী হয়ে একটা অত্যন্ত ও অতি ঘন অবস্থায় মহাবিশ্ব সঙ্কুচিত হতে শুরু করবে। ঘটনার পরম্পরা হবে মহাবিস্ফোরণের পর যা যা ঘটেছিল তার বিপরীত ফলে কড়কড়, মড়মড় মহাশব্দে ভেঙে এক চরম সন্ধিক্ষণ উপস্থিত হবে এবং মহাবিশ্বের অগ্নিগর্ভ মৃত্যু হবে। এরপর অন্য একটি মহাবিস্ফোরণ যদি ঘটে তাহলে মহাবিশ্বের শুরু ও শেষ হবে চক্রাকার যার কোনো শুরু বা শেষ নেই।

গ) এখানে, গাড়ির বেগ, $v = 0.76\ c$

গতিশীল অবস্থায় গাড়ির দৈর্ঘ্য, $L = 5.80\ m$

স্থির অবস্থায় গাড়ির দৈর্ঘ্য , $L_0 = ?$

আমরা জানি, $L = L_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$

বা, $L_0 = \frac{5.80}{\sqrt{1-\frac{(0.76c)2}{c2}}}$

অতএব, স্থির অবস্থায় গাড়িটির দৈর্ঘ্য হবে 8.924 m।

ঘ) এখানে, গাড়ির বেগ, $v = 0.76\ c$

স্থির ঘড়িতে সময় ব্যবধান, $t = 20\ s$

গতিশীল ঘড়িতে সময় ব্যবধান, $t_0 = ?$

আমরা জানি, $t = \frac{t_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$

বা, $t_0 = t \times \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} = t \times \sqrt{1-\frac{(0.76c)^2}{c^2}}$

এখানে, $t_0 < t$

∴ বন্ধুর ঘড়িতে অতিবাহিত সময় কম হবে।

২। **ধাতু-P ও ধাতু-Q এর কার্যাপেক্ষক যথাক্রমে 5 eV ও 4 eV। 7000 Å ও 700 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের দুটি রশ্মি পৃথকভাবে যথাক্রমে ধাতু-P ও ধাতু-Q এর উপর পড়ে।**

ক) বেকেরেল ও কুরির মধ্যে সম্পর্ক কি ? ১

খ) নিবৃত্তি বিভব কি ? ব্যাখ্যা দাও। ২

গ) ধাতু-P এর সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত ? ৩

ঘ) ধাতু-P ও Q উভয়ের ক্ষেত্রেই কি আলোক তড়িৎ ক্রিয়া ঘটবে ? গাণিতিক যুক্তি দাও। ৪

উত্তর: ক) বেকেরেল এবং কুরি উভয়ই তেজস্ক্রিয়তার একক। 1 কুরি = 3.7×10^{10} বেকেরেল।

খ) ক্যাথোড পাতের সাপেক্ষে অ্যানোড পাতে যে ন্যূনতম ঋণ বিভব দিলে আলোক তড়িৎ প্রবাহমাত্রা শূন্য হয়, অর্থাৎ প্রবাহমাত্রা বন্ধ হয়ে যায়, সেই বিভবকে নিবৃত্তি বিভব বলে। অর্থাৎ আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার তড়িৎপ্রবাহ বন্ধ করতে যে বিভব প্রয়োগ করতে হয় তাই নিবৃত্তি বিভব।

গ) এখানে, কার্যাপেক্ষক, $W_0 = 5$ eV

আমরা জানি, $W_0 = hf_0$

$$\therefore f_0 = \frac{W_0}{h} = \frac{5\times1.6\times10^{-19}\,J}{6.63\times10^{-34}\,J.s}$$

$$= 1.20 \times 10^{15}\ \text{Hz}$$

$$\therefore \text{সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য}, \lambda_0 = \frac{c}{f_0} = \frac{3\times10^8}{1.20\times10^{15}}\,m$$

$\therefore$ P ধাতুর সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য 2.49×10^{-7}m

ঘ) P ধাতুর সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য = 2.49×10^{-7}m = 2490 Å [গ হতে]

অর্থাৎ ন্যূনতম 2490 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যর আলো পড়লে আলোক তড়িৎক্রিয়া শুরু হবে। কিন্তু P ধাতুতে 7000 Å এর আলো পড়ে, যা 2490 Å থেকে অনেক বেশি অর্থাৎ শক্তি কার্যাপেক্ষক থেকে কম।

$$\text{আপতিত আলোর শক্তি}, W = h\frac{c}{\lambda} = 6.63\times10^{-34}\times\frac{3\times10^8}{7000\times10^{-10}}\,J$$

$$= \frac{3\times10^8}{7000\times10^{-10}}/1.6\times10^{-19}\,eV = 2.84eV$$

5 eV > 2.84 eV সুতরাং P ধাতুতে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া ঘটবে না।

Q ধাতুর ক্ষেত্রে :

$$\text{আপতিত আলোর শক্তি}, W = h\frac{c}{\lambda} = 6.63\times10^{-34}\times\frac{3\times10^8}{700\times10^{-10}}\,J$$

$$= 6.63\times10^{-34}\times\frac{3\times10^8}{700\times10^{-10}}/1.6\times10^{-19}\,eV$$

$$\therefore W = 17.75\ \text{eV}$$

4 eV < 17.75 eV অর্থাৎ Q তে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া ঘটবে।

সুতরাং, P তে আলোক তড়িৎক্রিয়া না ঘটলেও, Q তে আলোক তড়িতক্রিয়া ঘটবে।

৩। **20 kg ভরের এবং 10 m দৈর্ঘ্যের একটি দন্ড স্থির অবস্থা থেকে 0.5c বেগে যাত্রা শুরু করল।**

ক) তরঙ্গ কণা দ্বৈত ধর্ম কী ? ১

খ) আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে সুষম বেগে গতিশীল কাঠামোর ঘড়ি ধীরে চলে কেন ? ব্যাখ্যা কর। ২

গ) গতিশীল দন্ডের দৈর্ঘ্য বের কর। ৩

ঘ) নিউটনিয়ান বলবিদ্যা হতে প্রাপ্ত গতিশক্তি আপেক্ষিক তত্ত্ব হতে প্রাপ্ত গতিশক্তির সমান নয়– উদ্দীপকে সরবরাহকৃত তত্ত্বের আলোকে বিশ্লেষণ কর।

উত্তর: ক) তরঙ্গ কণা দ্বৈততা হলো এমন একটি ধারণা যাতে উল্লেখ করা হয় যে, সকল শক্তি তরঙ্গ সদৃশ এবং কণা সদৃশ উভয় ধর্ম প্রদর্শন করে।

খ) সময়ের আপেক্ষিকতা অনুসারে গতিশীল কাঠামোর সময়, t এবং নিশ্চল কাঠামোর সময় t_o হলে, $t = \frac{t_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$

কোনো বস্তুই আলোর সমান বেগে গতিশীল হতে পারে না বলে $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ সর্বদাই 1 এর চেয়ে কম হয়। ফলে $t > t_o$। অর্থাৎ গতিশীল কাঠামোতে সময় দীর্ঘ হয়। এজন্য সুষম বেগে গতিশীল কাঠামোতে ঘড়ি ধীরে চলে।

গ) দেওয়া আছে, দন্ডের নিশ্চল দৈর্ঘ্য, $L_0 = 10m$

দন্ডের বেগ, $v = 0.5\ c$

গতিশীল দন্ডের দৈর্ঘ্য, $L = ?$

আমরা জানি, $L = L_0 \times \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} = 10 \times \sqrt{1-\frac{(0.5c)^2}{c^2}} = 10\times\sqrt{1-0.25}$

$\therefore L = 8.66\ m$

ঘ) দন্ডের স্থির অবস্থায় ভর, $m_0 = 20\ kg$

দন্ডের বেগ, $v = 0.5c = 0.5 \times 3 \times 10^8\ m\ s^{-1}$

$\therefore$ দন্ডের নিউটোনিয়ান গতিশক্তি $= \frac{1}{2} m_o v^2 = \frac{1}{2}\ 20 \times (0.5 \times 3 \times 10^8)^2 = 2.25 \times 10^{17}\ J$

আপেক্ষিক তত্ত্বের আলোকে ভর-শক্তি সমীকরণ হতে আমরা পাই,

মোট শক্তি, $E = mc^2$

বা, গতিশক্তি + নিশ্চল শক্তি $= mc^2$

বা, $K + m_oc^2 = mc^2$ ..... .(1)

ভরের আপেক্ষিকতা হতে আমরা জানি, $m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$

$$K = mc^2 - m_0c^2 = \left\{\frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - m_0\right\}c^2 = \left\{\frac{20}{\sqrt{1-\frac{(0.5c)^2}{c^2}}} - 20\right\}\times(3\times10^8)^2 = 2.78 \times 10^{17}J$$

$\therefore$ বস্তুর নিউটোনিয়ান গতিশক্তি এবং আইনস্টাইনীয় গতিশক্তি এক নয়।

৪। একটি ধাতুর উপর 2×10^{-11}m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অতি বেগুনি রশ্মি একটি স্থির ইলেকট্রনকে আঘাত করে। এতে রশ্মিটি 45^0 কোণে বিক্ষিপ্ত হয় এবং ইলেকট্রনটি আলোর বেগের 90% বেগে গতিশীল হয়। ধাতুটির সূচন কম্পাঙ্ক 6.8×10^{14} Hz।

ক) ব্রুস্টারের সূত্রটি লিখ। ১

খ) আলোক যন্ত্রপাতিতে কৌণিক বিবর্ধন অধিক উপযোগী হয় কেন ? – ব্যাখ্যা কর। ২

গ) উদ্দীপকে উল্লিখিত ধাতু হতে নির্গত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিবেগ নির্ণয় কর। ৩

ঘ) উদ্দীপকে উল্লিখিত সংঘর্ষটি শক্তির সংরক্ষণশীলতা নীতি মেনে চলবে কি-না ? গাণিতিকভাবে যাচাই কর। ৪

উত্তর: ক) ব্রুস্টারের সুত্রটি হলো– সমবর্তন কোণের ট্যানজেন্ট সংখ্যাগতভাবে প্রতিসারক মাধ্যমের (যে মাধ্যমের পৃষ্ঠ থেকে আলো পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের মাধ্যমে প্রতিফলিত হয়) প্রতিসরাঙ্কের সমান।

খ) প্রতিবিম্ব দ্বারা সৃষ্ট বীক্ষণ কোণ এবং লক্ষ্যবস্তু দ্বারা সৃষ্ট বীক্ষণ কোণের অনুপাতকে কৌণিক বিবর্ধন বলে। কৌণিক বিবর্ধন কোণ বীক্ষণ যন্ত্রের ক্ষেত্রে পরিমাপ করা হয়। বীক্ষণ যন্ত্র ছাড়া যদি বস্তুটি চোখে α কোণ তৈরি করে এবং যন্ত্র ব্যবহারের ফলে চূড়ান্ত প্রতিবিম্বটি যদি চোখে β কোণ তৈরি করে তবে কৌণিক বিবর্ধন,

$$m = \frac{\text{প্রতিবিম্ব দ্বারা চোখে উৎপন্ন কোণ}}{\text{বস্তু দ্বারা চোখে উৎপন্ন কোণ}} = \frac{\beta}{\alpha}$$

অন্যদিকে কৌণিক বিবর্ধনে সঠিক কৌণিক পরিমাপ পাওয়া যায় বলে এটি অধিক কার্যকর।

গ) এখানে, আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 2 \times 10^{-11}$ m

বিক্ষেপন কোণ, $\phi = 45^0$

ইলেকট্রনের বেগ, $v = c$ এর $90\% = 0.9c$

সূচন কম্পাঙ্ক, $f_0 = 6.8 \times 10^{-14}$ Hz

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

e- এর সর্বোচ্চ গতিবেগ, $E_{kmax} = ?$

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

আমরা জানি, $E = W_0 + E_{kmax}$

বা, $hf = hf_0 + E_{kmax}$ [$\because E = h f$ এবং $W_0 = hf_0$]

বা, $h\times \frac{c}{\lambda} = hf_0 + E_{kmax}$

বা, $E_{kmax} = h\times \frac{c}{\lambda} - hf_0 = h\left(\frac{c}{\lambda} - f_0\right)$

বা, $E_{kmax} = 6.63 \times 10^{-34}\left(\frac{3\times10^8}{2\times10^{-11}} - 6.8\times10^{14}\right)$

$\therefore E_{kmax} = 9.94 \times 10^{-15}$ J

ঘ) জানা আছে, ইলেকট্রনের ভর, $m_0 = 9.11 \times 10^{-31}$kg

আপতিত রশ্মির শক্তি, $E_1 = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{2\times10^{-11}}$ J $= 9.95 \times 10^{-15}$J

স্থির e^- এর শক্তি, $E'_1 = 0$J

$\therefore$ সংঘর্ষের আগে মোট শক্তি, $E_i = E_1 + E'_1 = 9.95 \times 10^{-15}$ J

বিক্ষিপ্ত রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda' = \lambda + \frac{h}{m_0 c}(1 - cos\phi)$

বা, $\lambda' = 2 \times 10^{-11} + \frac{6.63\times10^{-34}}{9.11\times10^{-31}\times3\times10^{8}}(1 - \cos 45^0)$

বা, $\lambda' = 2.07 \times 10^{-11}$m

এবং শক্তি, $E_2 = h\frac{c}{\lambda'} = \frac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{2.07\times10^{-11}}$

$= 9.61 \times 10^{-15}$ J

e^- এর গতিশক্তি, $E'_2 = \frac{1}{2}mv^2$ [আপেক্ষিকতা তত্ত্ব বিবেচনা করে]

$= \frac{1}{2} \times \frac{m}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \times v^2 = \frac{1}{2} \times \frac{m_0}{\sqrt{1-\left(\frac{0.9c}{c}\right)^2}} \times (0.9c)^2$

$= \frac{1}{2} \times \frac{9.11\times10^{-31}\times0.81\times(3\times10^{8})^2}{\sqrt{1-(.9)^2}} = 7.62\times10^{-14}$J

সুতরাং সংঘর্ষের পর মোট শক্তি, $E_f = E_2 + E'_2$

বা, $E_f = (9.61 \times 10^{-15} + 7.62 \times 10^{-14})$ J $= 8.58 \times 10^{-14}$

$\therefore E_4 \neq E_f$

অর্থাৎ শক্তির সংরক্ষণশীরতা রক্ষিত হয় নি।

৫। একটি ইলেকট্রনের গতিশক্তি 1 keV। ইলেকট্রনের অবস্থান 1 Å -এর মধ্যে নির্ধারিত হলো।

ক) কম্পটন ক্রিয়া কাকে বলে ? ১

খ) কোনো ধাতুর ফটোতড়িৎ ক্রিয়া তার সূচন কম্পাঙ্কের উপর নির্ভরশীল– ব্যাখ্যা কর। ২

গ) ইলেকট্রনটির ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। ৩

ঘ) উদ্দীপকের অবস্থানের মধ্যে ভরবেগের অনিশ্চয়তার শতকরা হার অনিশ্চয়তা নীতির ন্যূনতম মানের সূত্রের সাহায্যে নির্ণয় কর। ৪

উত্তর: ক) উচ্চশক্তিসম্পন্ন ফোটন যখন কোনো লক্ষ্যবস্তুর(যেমন ইলেকট্রন) সাথে সংঘর্ষে লিপ্ত হয়ে বিক্ষিপ্ত হয়, তখন বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য আপতিত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্যেও চেয়ে বেশি হয়। এ ক্রিয়াকে কম্পটন ক্রিয়া বলে।

খ) যথোপযুক্ত উচ্চ কম্পাঙ্কবিশিষ্ট আলোকরশ্মি কোনো ধাতব পৃষ্ঠে আপতিত হলে তা থেকে ইলেকট্রন নিঃসৃত হয়। এ ঘটনাকে ফটোতড়িৎ ক্রিয়া বলে। আবার ন্যূনতম যে কম্পাঙ্কের চেয়ে কম কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট আলো ঐ ধাতু থেকে ইলেকট্রন নির্গত করতে পারে না সে কম্পাঙ্কই সূচন কম্পাঙ্ক। অর্থাৎ সূচন কম্পাঙ্কে আলোকরশ্মি আপতিত হলেই শুধুমাত্র ফটোতড়িৎ ক্রিয়া ঘটে। এজন্য কোনো ধাতুর ফটোতড়িৎ ক্রিয়া তার সূচন কম্পাঙ্কের উপর নির্ভরশীল।

গ) ইলেকট্রনের গতিশক্তি, K = 1keV

$= 10^3$ eV $= 10^3 \times 1.6 \times 10^{-19}$ J $= 1.6 \times 10^{-16}$ J

বা, $\frac{1}{2} mv_e^2 = 1.6 \times 10^{-16}$

বা, $v_e = \sqrt{\frac{2 \times 1.6 \times 10^{-16}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1.6 \times 10^{-16}}{9.1 \times 10^{-31}}}$

$= 1.875 \times 10^7$ ms^{-1}

∴ ইলেকট্রনের ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{9.1 \times 10^{-31} \times 1.875 \times 10^7}$

$= 3.88 \times 10^{-11}$ m

ঘ) দেওয়া আছে,

ইলেকট্রনের অবস্থানের অনিশ্চয়তা, $\Delta x = 1Å = 10^{-10}$ m

ইলেকট্রনের ভরবেগের অনিশ্চয়তা, Δp = ?

আমরা জানি, $\Delta x . \Delta p = \frac{1}{2} . \frac{h}{2\pi}$

বা, $\Delta p = \frac{h}{4\pi \times \Delta x} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{4\pi \times 10^{-10}} = 5.28 \times 10^{-25}$ kg ms^{-1}

আবার, ইলেকট্রনের ভরবেগ, $P = m_0 v_e$

$= (9.1 \times 10^{-31} \times \times 1.875 \times 10^7)$ kg m s^{-1}

$= 1.7 \times 10^{-23}$ kg m s^{-1}

∴ ইলেকট্রনের ভরবেগের অনিশ্চয়তার হার,

$= \frac{5.28 \times 10^{-25}}{1.7 \times 10^{-23}} \times 100\% = 3.1\%$