

পদার্থের সাথে আহিত কণা ও রশ্মির পরিক্রিয়া

(Interactions of charged particles and radiation with matter)

ইলেকট্রন, মেসন, প্রোটন, ডিউটেরন, আলফাকণা, গামারশ্মি ইত্যাদি পদার্থের সাথে পরিক্রিয়ার ফলে শোষিত হয় এবং এইসব পরিক্রিয়ার প্রকৃতি লক্ষ্য করে এদের চেনা বা উদঘাটন করা যায়। সুবিধার জন্য আলোচনাকে আমরা দু'ভাবে ভাগ করব :

- (ক) পদার্থের মধ্যে আহিত কণার পরিক্রিয়া বা শক্তিক্ষয়,
- (খ) পদার্থের সাথে গামারশ্মির পরিক্রিয়া।

৭.১ পদার্থের মধ্যে আহিত কণার শক্তিক্ষয় :

আহিত কণার উদাহরণ হিসাবে এখানে শুধু আলফাকণা ও পরে ইলেকট্রন নিয়ে আলোচনা করা হবে। পদার্থের মধ্য দিয়ে যাওয়ার সময় আলফাকণা 'সংঘর্ষক্রিয়ার' মাধ্যমে শক্তি ক্ষয় করে। এই ক্ষয় দ্বারা শোষক পরমাণুর উত্তেজনা, আয়নায়ন অথবা উভয়টি হতে পারে।

বিভিন্ন তেজস্ক্রিয় ক্ষয়ে সৃষ্টি আলফাকণাগুলির অধিকাংশই কয়েক সেমি বাতাসে বা 0.004 সেমি পুরু এলুমিনিয়াম পাতের মধ্যেই শোষিত হয়ে যায়। ৭-১ নং চিত্রে Po^{210} থেকে নির্গত 5.3 এমইভি আলফাকণাগুলির গতিপথ একটি মেঘকক্ষে প্রদর্শিত হয়েছে।

চিত্র থেকে নিম্নোক্ত বিষয়গুলি সূজ্ঞতা :

- (১) গতিপথ প্রায়ই সোজা।
- (২) উৎস থেকে একটি নির্দিষ্ট চরম দূরত্বে (R) কণাগুলি থেমে গেছে।
- (৩) গতিপথের শেষপ্রান্তে (যেখানে গতিবেগ কম) কিছুসংখ্যক কণা হঠাতে দিক পরিবর্তন করেছে।
- (৪) গতিপথের শেষপ্রান্তে আয়ন-ঘনত্ব সর্বোচ্চ মানে পৌঁছে।



চিত্র ৭-১ : মেঘ প্রকোষ্ঠে আলফাকণা গতিপথের ছবি।

মেঘপ্রকোর্টের ভিতর Po²¹⁰ থেকে নির্গত 5.3 এমইভি আলফাকণার গতিপথে প্রায় দেড় লক্ষ আয়নজোড়া উৎপন্ন হয়। এদের প্রায় শতকরা তেগ্রিং ভাগ আলফাকণার প্রত্যক্ষ পরিক্রিয়ার ফলে প্রাথমিক আয়নায়নের সৃষ্টি হয়। অবশিষ্ট অংশ দ্রুতগামী ইলেকট্রন দ্বারা উৎপন্ন হয় এবং এ অংশকে জাত বা গৌণ আয়ন বলা হয়। এই শক্তিশালী ইলেকট্রনগুলি প্রাথমিক আয়নায়নের দ্বারা উৎপন্ন। এগুলিকে ডেল্টা রশ্মি (delta ray) বলা হয়ে থাকে। এখানে উল্লেখ্য যে প্রতি আয়নজোড়ার জন্য ব্যয়িত গড় শক্তির পরিমাণ প্রায় 35 ইভি।

উপরোক্ত প্রক্রিয়া দু'টির জন্য আলফাকণার বিচ্যুতি খুবই কম হয়। এজন্য গতিপথকে একটি সরলরেখার মত দেখায়। আলফাকণার প্রাথমিক শক্তিকে উৎপাদিত আয়ন-জোড়া সংখ্যা দিয়ে ভাগ করলে যা পাওয়া যাবে তা হবে একটি আয়নজোড়া তৈরী করতে গড় শক্তির পরিমাণ। একে ‘গড় আয়নায়ন শক্তি’ (ড) বলা হয়ে থাকে। গ্যাসের ভিতর বিভিন্ন শক্তির আলফাকণা দিয়ে পরীক্ষা করে দেখা গেছে যে ড-এর মান মোটামুটি অভিন্ন থাকে। অর্থাৎ ‘গড় আয়নায়ন শক্তি’ আলফা শক্তির উপর নির্ভরশীল নয়। নীচে বিভিন্ন গ্যাসে ‘গড় আয়নায়ন শক্তি’ পরিমাণ দেখানো হলো :

সারণী ১

মাধ্যমে	ড (ইভি)	আয়নায়ন বিভব (ইভি)
আর্গন	26.4	
হাইড্রোজেন	36.3	13.6
নাইট্রোজেন	36.6	
হিলিয়াম	42.7	

উল্লেখ্য যে আলফা ছাড়া অন্যান্য আহিত কণা যেমন ইলেকট্রন, মেসন, প্রোটন ও হালকা নিউক্লিয়াসের জন্য ড-মানের বিশেষ কোন পরিবর্তন হয় না। ড এর মান আয়নায়ন বিভবের তুলনায় অনেক বেশী। এর কারণ হিসাবে বলা যায় যে আলফাকণার শক্তিশয় শুধু আয়নায়ন দ্বারাই ঘটেনা বরং উত্থাতকৃত ইলেকট্রনের মধ্যে গতিশক্তি সঞ্চার ও পরমাণুগুলিকে উত্তেজিত করতে যথেষ্ট শক্তি ক্ষয়িত হয়।

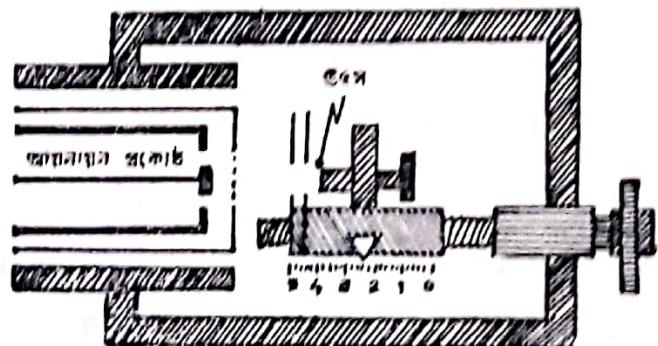
৭.২ দৌড়-দূরত্ব :

খুব সহজ পরীক্ষার সাহায্যে বাতাসে আলফাকণার দৌড়-দূরত্ব নির্ণয় করা যায়। ৭-২ নং চিত্রের মত আলফাকণা উৎস বসানো হয় একটি চমনগুম দণ্ডের উপর যাতে করে উদয়াটিক ও উৎসের মধ্যে দূরত্ব ইচ্ছাগত বাড়ানো বা কমানো যায়। আলফাকণার ধারা সরঞ্জারিকভাবে একটি হিপপথে এনে আয়নায়ন প্রকোচ্ছে ফেলা হয়। আলফাকণা এই উদয়াটিকের মধ্য দিয়ে স্থানান্তর যায় তখনই একটি আয়নোচ্ছাস সৃষ্টি হয় এবং এর তত্ত্ব মারকের ভিত্তি একটি বিভব-ব্যাত্যাপ সৃষ্টি করে। ইলেক্ট্রনিক বর্তনীর সাহায্যে বহুগুণে বিনিত এই ব্যাত্যাপ পরিমাপ করে আলফা গণনা করা হয়। এভাবেই উৎস ও উদয়াটিকের মধ্যে দূরত্বের অপেক্ষক হিসাবে গণনার হার নির্ণয় করা হয়।

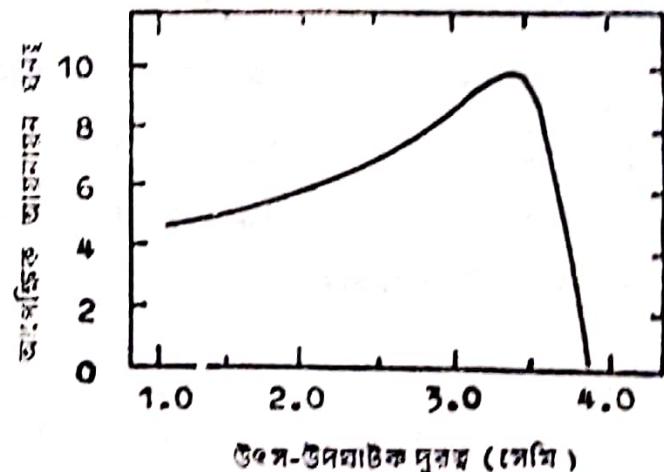
১৯৩৮ সালে হলোওয়ে ও লিভিংস্টন(M.G.Holloway and M. S. Livingston) Po^{210} নির্গত আলফাকণাগুলির গড় দৌড়-দূরত্ব পরিমাপ করেন। তাঁদের পরীক্ষালব্ধ ফল ৭-৩ নং চিত্রে দেখানো হলো।

লেখ থেকে এটি স্পষ্ট যে উৎস হতে 3.70 সেমি দূরত্ব পর্যন্ত আলফা সংখ্যা ধ্রুব থাকে—তারপর ক্রমশঃ কমতে থাকে এবং 3.75 সেমি দূরত্ব হতে অতি প্রত হ্লাস পেতে থাকে। 3.88 সেমি দূরত্বে কণা সংখ্যা 2% এ পৌছে, তারপর

হ্লাসরুদ্ধির হার কিছুটা অন্ধ হয় এবং 4 সেমি দূরত্বের মধ্যেই গণনার পরিমাণ শূন্য হয়ে যায়। 3.88 সেমি দূরত্বে যেখানে এসে লেখটি সহসা বেঁকে যায় সেই বিন্দুতে যদি একটি স্পর্শক টানা যায় তবে তা 3.897 সেমি দূরত্বে x -অক্ষকে ছেদ করবে। এই ছেদবিন্দুর দূরত্বকে ‘দূরবিন্যন্ত দৌড়দূরত্ব’ (extrapolated range, R_0) বলা হয়ে থাকে।



চিত্র ৭-২



চিত্র ৭-৩ : কণা সংখ্যা বনাম দূরত্ব লেখ।

চিত্রে খ মেখটি 'অবকল দৌড়দূরত্বের' (differential range) লেখ। এর দ্বারা কণাগুলির আপেক্ষিক সংখ্যা (যা কোন একটি নির্দিষ্ট দূরত্ব এসে থেমে গেছে) বনাম উল্লেখিত দূরত্বের লেখ বুঝায়। আরেকটি দরকারী রাশ যার প্রায়ই উল্লেখ করা হয় তা হলো 'গড় দৌড়দূরত্ব' (mean range, \bar{R})। এটি হলো এমন দূরত্ব যাতে অধিক সংখ্যক কণার গতিপথের দৈর্ঘ এর চেয়ে কম এবং অপর অধিকের দৈর্ঘ এর চেয়ে বেশী হয়। Po^{210} আলফাকণার জন্য বাতাসে, $\bar{R} = 3.84$ সেমি।

খ-লেখ থেকে এটি সহজেই বুঝা যায় যে সব আলফাকণার দৌড়দূরত্ব সমান নয়, তাদের এই মান 'গড় পরিমাণের' উভয় দিকে বিস্তৃত থাকে। একে কণাগুলির 'দলচ্যুতি' (straggling) বলা হয়ে থাকে। কণাসংঘর্ষের অক্রম প্রকৃতির (random nature) ফলশুতিতেই দলচ্যুতি ঘটে। আমরা জানি যে প্রধানতঃ আয়নায়নের দ্বারা আলফাকণার শক্তি ক্ষয় হয়। আর এই আয়নায়ন নির্ভর করে গমনপথে কণাটি কিভাবে এবং কতটি পরমাণুর সাথে সংঘর্ষ ঘটায় তার উপর। অক্রম প্রকৃতির জন্য সমপথ অতিক্রম কালে কোন কোন কণা কম সংখ্যক সংঘর্ষের সম্মুখীন হয় আর কোন কোনটি অপেক্ষাকৃত বেশী সংখ্যক সংঘর্ষ ঘটায়। এই কারণে প্রাথমিক শক্তি অভিন্ন হওয়া সত্ত্বেও বিভিন্ন আলফাকণা কোন মাধ্যমে বিভিন্ন দূরত্ব অতিক্রম করে এবং এভাবেই 'দলচ্যুতি' ঘটে।

কতটুকু দলচ্যুতি হচ্ছে তা সাধারণতঃ অর্ধবিস্তার (half width, α) দ্বারা বোঝানো হয়ে থাকে। α হচ্ছে অবকল দৌড় দূরত্ব লেখের চরম y -মানের e -গুণ উচ্চতায় দৌড় দূরত্বের অর্ধবিস্তার পরিমাণ। অবকল দৌড় দূরত্বকে নিম্নাঞ্চল সমীকরণের সাহায্যে উপস্থাপিত করা যায় :

$$y = (\pi^{1/2} \alpha)^{-1} e^{-\frac{(\bar{R} - R)^2}{\alpha^2}} \quad (1)$$

এখানে y এমন যে $y dR$ দ্বারা উৎস থেকে R ও $R + dR$ দূরত্বের মধ্যে থেমে যাওয়া আলফাকণা তগাংশের পরিমাণ বুঝায়।

\bar{R} ও R_0 এর মধ্যকার সম্পর্ক সহজেই লেখা যায় :

$$R_0 - \bar{R} = \frac{1}{2} \pi^{1/2} \alpha \quad (2)$$

উদাহরণস্বরূপ, Po^{210} নির্গত আলফাকণার ($E_{\alpha} = 5.303$ এভিএভি) জন্য $R = 3.842 \pm 0.006$ সেমি। α -এর পরীক্ষালক মান 0.062 বাবহার করে আমরা পাই, $R_e = 3.897$ সেমি। সাধারণতঃ 15°C তাপমাত্রা ও 760 মিমি পারদের চাপে বাতাসের মধ্যে এসব দূরত্ব মাপা হয়।

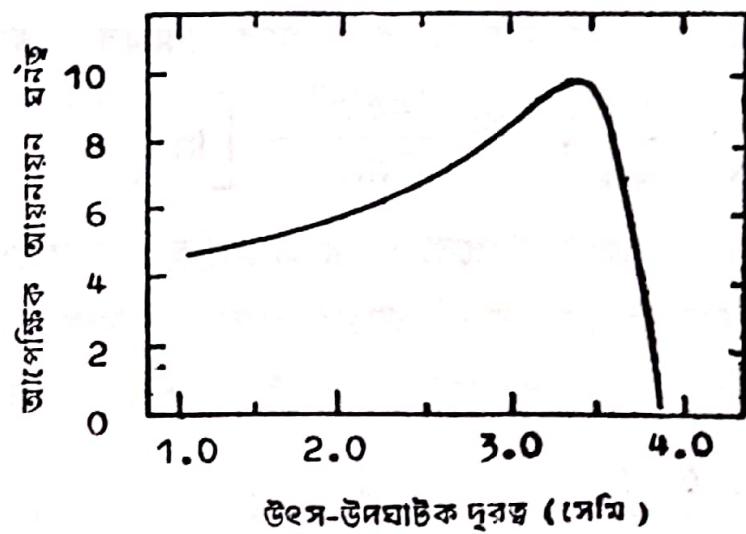
৭.৩ আপেক্ষিক আয়নায়ন ঘনত্ব ও মন্দন ক্ষমতা (Specific ionization and stopping power) :

আলফাকণা দ্বারা সৃষ্টি আয়নায়নের পরিমাপ করা যায়, এটি দৌড়-দূরত্ব ও শক্তির সাথে সম্পর্কিত। একটি পরমাণুর আয়নায়নের ফলে একটি আয়ন-জোড়া (ইলেকট্রন ও পজিটিভ আয়ন) সৃষ্টি হয়। আয়নায়নের প্রাথম্য (intensity) সাধারণতঃ ‘আপেক্ষিক আয়নায়ন ঘনত্ব’ দ্বারা প্রকাশ করা হয়ে থাকে। প্রতি মিলিমিটার গমনপথে উৎপন্ন আয়ন-জোড়ার সংখ্যাকে ‘আপেক্ষিক আয়নায়ন ঘনত্ব’ বলা হয়। এর পরিমাণ সর্বাধিক হয় কণার দৌড়-দূরত্বের শেষ সীমার দিকে, কারণ তখন কণাগুলির গতিবেগ অত্যন্ত কমে যায়, ফলে এগুলি দীর্ঘ সময় ধরে পরমাণু সন্ধিকটে অবস্থান করতে পারে এবং তাতে আয়নায়নের সম্ভাবনা বৃদ্ধি পায়।

মেঘপ্রকোষ্ঠ বা ফটোগ্রাফীর অবদ্রবের মধ্যে আলফাকণার গতিপথ পরীক্ষা করে আপেক্ষিক আয়নায়ন নির্ণয় করা যায়। Po^{210} থেকে প্রাপ্ত বাতাসের মধ্যে আলফাকণার গতিপথের উপর একটি পরীক্ষালক ফল ৭-৮ চিত্রে দেখানো হলো :

আলফাকণা তার গতিপথের প্রথম দিকে প্রতি মিলিমিটারে 2200 আয়নজোড়া সৃষ্টি করে। তারপর আলফাশক্তি হ্রাসের সাথে সাথে আয়নায়ন বাড়তে থাকে। প্রথম দিকে আন্তে আন্তে বাড়ে এবং প্রায় এক সেমি দূরত্বে 2700 আয়নজোড়া সৃষ্টি করে। তারপর এটা দ্রুত বাড়তে থাকে। এবং 3.4 সেমি চিত্র ৭-৮ : মেঘ প্রকোষ্ঠে একটি আলফাকণ ।

দূরত্বে প্রতি মিলিমিটারে প্রায় 7000 আয়নজোড়া সৃষ্টি করে। উল্লেখ্য যে গতি-পথের একেবারে শেষ প্রান্তের দিকে আয়নায়ন দ্রুত কমে যায়। এর কারণ হলো গতিপথের শেষ প্রান্তে



সৃষ্টি আপেক্ষিক আয়নায়ন ঘনত্ব।

আলফাকণার আধানের ($Z=2$) পরিবর্তন হয়। ৯০% দৌড়-দূরত্ব পর্যন্ত আধান ঠিকই থাকে। কিন্তু ঘন ঘন সংঘর্ষের মধ্যে হঠাৎ করে ইলেক্ট্রন শোষণের ফলে আলফাকণার ক্রিয়াশীল আধান কমতে থাকে এবং শেষ পর্যন্ত নিরপেক্ষ হিলিয়াম পরমাণুতে পরিণত হয় ফলে আর কোন আয়নায়ন সম্ভব হয় না।

শোষকের মন্দন ক্ষমতা, $\left(-\frac{dE}{dx} \right)$ এর সাথে আলফাকণার আপেক্ষিক আয়নায়ন ঘনত্ব, I_r এর সম্পর্ক নিম্নোক্তরূপে উপস্থাপিত করা যায়,

$$-\frac{dE}{dx} = \omega I_r \quad (3)$$

দূরত্বহীন সাথে E হাস পায় বলে বিয়োগটিক ব্যবহার করা হয়েছে।

৭.৪ দৌড়-দূরত্ব-শক্তি সম্পর্ক :

কোয়ান্টাম বলবিদ্যা আবিস্কৃত হওয়ার অনেক আগে ১৯১৩ সালে সর্ব-প্রথম বোর (N. Bohr) দৌড়-দূরত্ব ও শক্তির মধ্যে একটি সম্বন্ধ বের করেন। পরবর্তীকালে ১৯৩০ সালে বেথে (H. Bethe) কোয়ান্টাম বলবিদ্যার সাহায্যে এদের মধ্যে একটি স্থূল (approximate) সম্বন্ধ দেন। পরে ১৯৩৩ সালে ব্লখ (Bloch) সাধারণ প্রয়োগের নিমিত্ত অধিকতর সঠিক একটি সম্পর্ক নির্ণয় করেন। তবে অপেক্ষাকৃত সহজ বেথে-সুত্রই এখানে আলোচনা করা হবে।

মনে করা যাক, ' ze ' নিউক্লীয় আধান বিশিষ্ট একটি কণা শোষকের (আধান, ze) মধ্যে v গতিবেগে চলমান। শোষকের কার্যকর আয়নায়ন বিভব, I এবং পরমাণু ঘনত্ব N হলে, বেথের সূত্রানুসারে 'মন্দনক্ষমতা'কে লেখা যায়

$$\left(-\frac{dE}{dx} \right)_{Col} = \frac{4\pi e^4 z^2 N Z}{mv^2} \left[\ln \left(\frac{2mv^2}{I} \right) - \ln \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right) - \frac{v^2}{c^2} \right] \quad (8)$$

সূত্রটিতে প্রয়োজনীয় আপেক্ষিকতা সংশোধন করে লেখা হয়েছে। m হচ্ছে ইলেক্ট্রনের ভর। উল্লেখযোগ্য যে কণার ভর এই সূত্রটিতে নেই। বিভিন্ন শোষকের জন্য 'গড় কার্যকর আয়নায়ন বিভবের' মান নীচে দেওয়া হলো :

<u>শোষক</u>	<u>I (ইভি)</u>	<u>শোষক</u>	<u>I (ইভি)</u>
হাইড্রোজেন	15.6	তামা	276
বাতাস	80.5	সৌসা	705
কার্বন	76.4	ইউরেনিয়াম	811
এলুমিনিয়াম	150		

V<<C হলে সমীক্ষণ (8) কে মেখা যায়

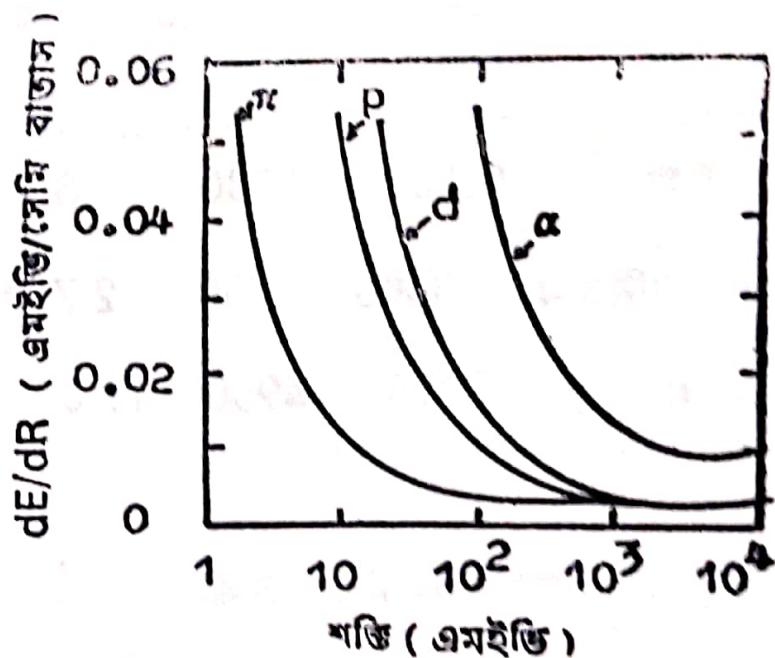
$$\left(-\frac{dE}{dX} \right)_{col} = \frac{4\pi e^4 z^2 N Z}{mv^2} \ln \left(\frac{2mv^2}{I} \right) \quad (5)$$

এক্ষেত্রে $\ln \left(\frac{2mv^2}{I} \right)$ এর মান খুবই ধীরে পরিবর্তিত হয়।

অতএব দেখা যাচ্ছে, $\left(-\frac{dE}{dX} \right)_{col} \propto \frac{1}{v^2}$ অর্থাৎ v হ্রাস পেলে $\left(-\frac{dE}{dX} \right)_{col}$ বৃদ্ধি পায়। পরীক্ষায় যে একই জিনিষ পরিমিণিত হয়, তা আগেই আলোচনা করা হয়েছে।

উচ্চতর গতিবেগে সমীকরণের তৃতীয় ও চতুর্থ রাশি আর উপেক্ষা করা চলে না। ৭-৫ চিত্রে দেখা যায় যে অধিক গতিবেগে $\frac{dE}{dX}$ প্রশস্ত নূনতম মানে পৌছানোর পর অধিকতর গতিবেগে পুনরায় অল্পপরিমাণে বৃদ্ধি পেতে থাকে।

৫ নং সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে মন্দন ক্ষমতা গতিবেগের সাথে পরিবর্তিত হয়। আদশ শোষকের মন্দন ক্ষমতার তুলনায় যদি কোন শোষকের মন্দনমুক্তা প্রকাশ করা হয় তবে তা হবে গতিবেগ নিরপেক্ষ। 15°C তাপমাত্রায় এবং 760 মিমি পারদচাপে বাতাসকে এই আদর্শ (standard) ধরা হয়। উক্ত রাশিকে ‘আপেক্ষিক মন্দনক্ষমতা’ বলা হয় এবং এর সংজ্ঞা নিম্নোক্তভাবে দেওয়া যায় :



চিত্র ৭-৫ : বাতাসে মন্দন ক্ষমতা

$$S_r = \text{আপেক্ষিক মন্দন ক্ষমতা} = \frac{\text{বাতাসে আলফাকণার দৌড়-দূরত্ব}}{\text{শোষকে আলফাকণার দৌড়-দূরত্ব}} \quad (6)$$

মন্দন ক্ষমতাকে অনেক সময় ‘সমতুল-পুরুষ’ (equivalent thickness) ঘারাও প্রকাশ করা হয়ে থাকে। এর সংজ্ঞা নিম্নোক্তভাবে দেওয়া হয় :

$$\text{সমতুল-পুরুষ} (\text{মি.গ্রাম}/\text{সেমি}^2) = \text{দৌড়-দূরত্ব} \times \text{ঘনত্ব} \times 1000 \quad (7)$$

অতএব এই রাশি দ্বারা আলফাকণা শোষন করার জন্য ‘প্রতিবর্গায়তনে শোষকের ডর’ বা পুরুষ বুঝায়।

এক সেমি বাতাসের মন্দনক্ষমতার সমতুল্য কোন শোষক বা মাধ্যমের পুরুত্বকে এভাবে প্রকাশ করা যায় :

$$S = \frac{\text{ঘনত্ব} \times 1000}{\text{আপেক্ষিক মন্দনক্ষমতা}}$$

২ নং সারণীতে কয়েকটি বহুল ব্যবহৃত শোষকের মন্দনক্ষমতা ও অন্যান্য রাশির মান দেওয়া হলো :

সারণী-২

(Po^{214} - নির্গত আলফাকণা; R_e (বাতাস) = 6.953 সেমি)

এক সেমি

পদার্থ	R_e (সেমি)	S_r	ঘনত্ব (গ্রাম/সেমি ³)	সমতুল-পুরুত্ব (মিগ্রাম/সেমি ²)	বাতাসের মন্দন ক্ষমতাতুল্য পুরুত্ব (মিগ্রাম/সেমি ²)
মাইকা	0.0036	1930	2.8	10.1	1.45
এলুমিনিয়াম	.00406	1700	2.7	11.0	1.5
সোনা	.0014	4950	19.33	27.1	3.89

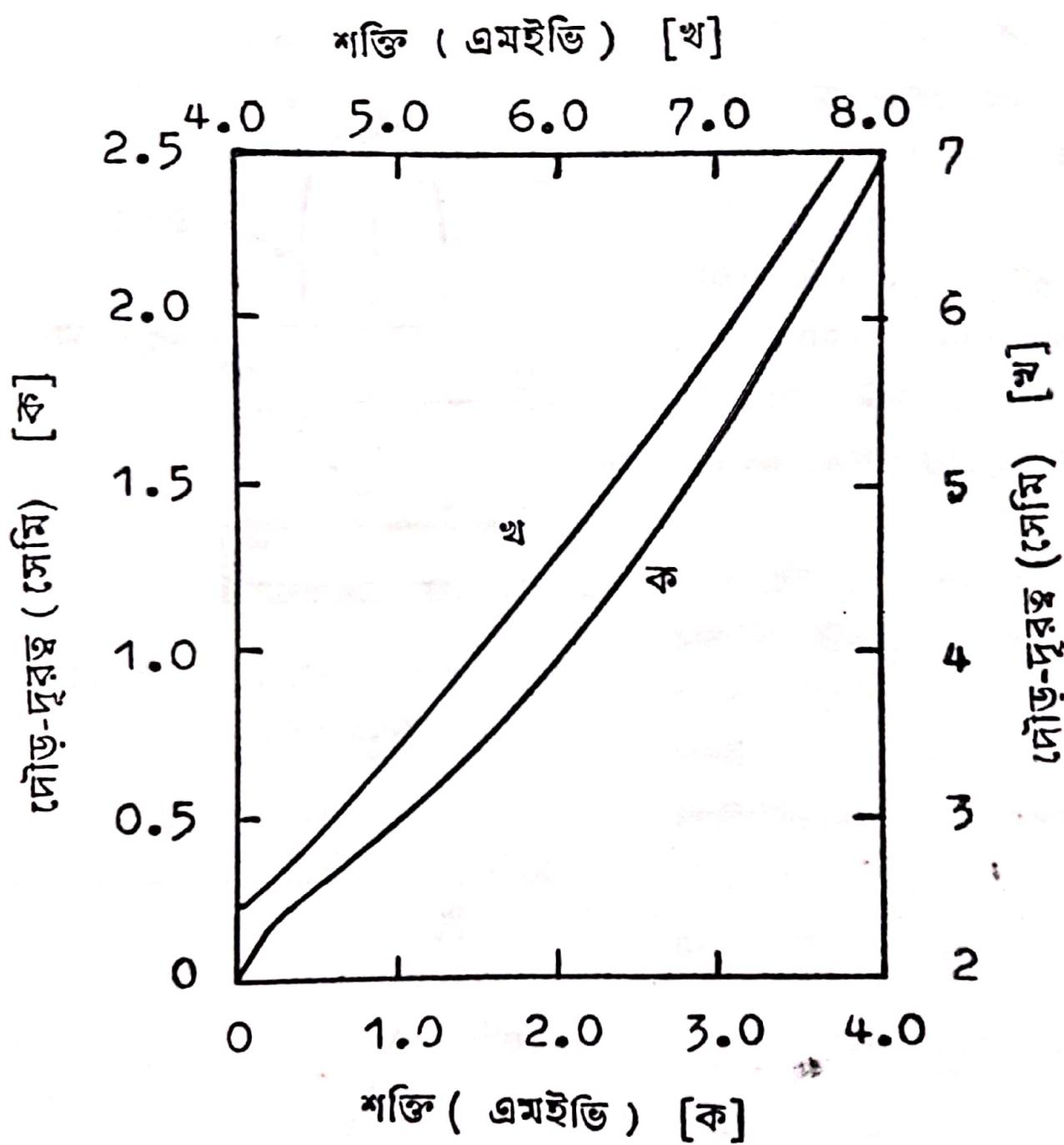
৭.৫ দৌড়দূরত্ব-শক্তি লেখ :

শক্তির সাথে সাথে দৌড়-দূরত্ব রুদ্ধি পায়। পরীক্ষালব্ধ ফলাফল বিশ্লেষণ করে দেখা যায় যে, বাতাসের ভিতর যে সব আলফাকণার গড় দৌড়দূরত্ব 3 থেকে 7 সেন্টিমিটারের মধ্যে থাকে সেগুলির জন্য গড় দৌড়দূরত্ব ও শক্তির পারস্পরিক সম্বন্ধকে নিম্নোক্তভাবে প্রকাশ করা যায় :

$$\bar{R} = 0.318 E^{3/2} \quad (8)$$

এখানে \bar{R} হচ্ছে 15°C তাপমাত্রা ও 760 মিমি পারদ-চাপে বাতাসের ভিতর আলফাকণার গড় দৌড়-দূরত্ব এবং শক্তি E -কে এমহিভিতে প্রকাশ করা হয়েছে। এই সূত্রটি মোটামুটি নিম্নোক্তভাবে পালিত হয়।

সাধারণতঃ পরীক্ষালক শক্তি ও গড় দৌড়-দূরত্বের মধ্যে একটি লেখ আঁকা হয়” (চিত্র ৭-৬)। অজ্ঞাতশক্তির কোন আলফাকণার দৌড়দূরত্ব পরীক্ষার সাহায্যে মেপে এই লেখ থেকে তার শক্তি নির্ণয় করা যায়।



চিত্র ৭-৬ : আলফাকণার গড় দৌড়দূরত্ব-শক্তি লেখ।

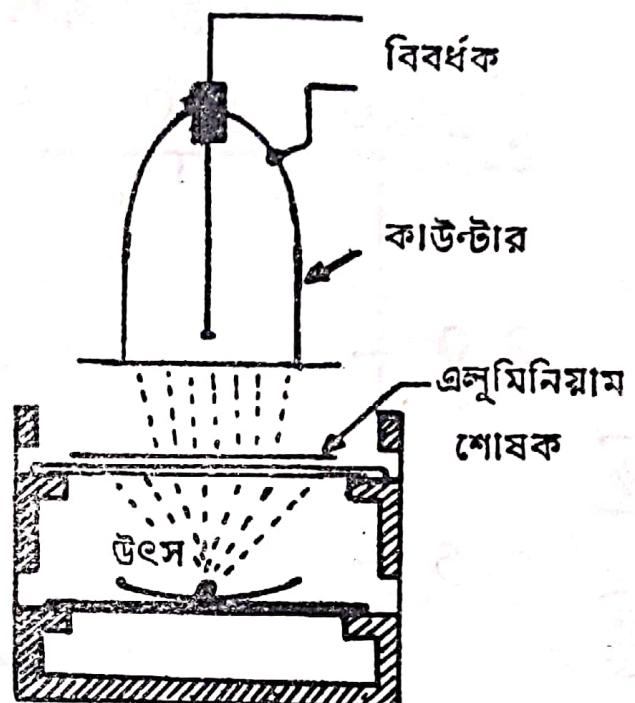
মাধ্যম : 15°C তাপমাত্রা ও 760 মিমি পারদচাপে বাতাস।

৭.৬ বিটাকণা

কম্পিউটে শোষণ :

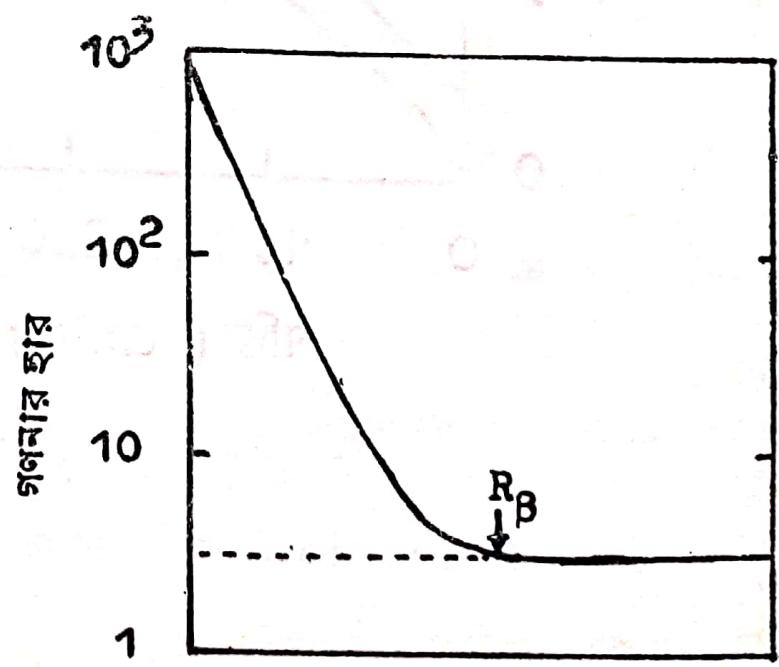
আলফাকণার তুলনায় বিটাকণা অনেক বেশী অন্তর্ভেদনী এবং এর শোষণ পরিমাপনের পদ্ধতিও আলাদা। মানক (standard) চাপ ও তাপমাত্রায় একটি

৩-গ্রেইন্টি আলফাকণার দৌড়-দূরত্ব প্রায় 2.8 সেমি এবং গমনপথের প্রতি মিমি দৈর্ঘ্যে এই কণা চার হাজার আয়নজোড়া সৃষ্টি করে। সেই তুলনায় একটি 3-গ্রেইন্টি'র বিটাকণার বাতাসে দৌড়-দূরত্ব 1000 সেমি এবং গমন পথের প্রতি মিমি দৈর্ঘ্যে এটি মাত্র চারটি আয়নজোড়া উৎপন্ন করে। এই কারণে বিটাকণার জন্য মাধ্যম হিসাবে বাতাসের পরিবর্তে কঠিন কোন পদার্থের শোষক ব্যবহাত হয়। সচরাচর এলুমিনিয়ামের পাত শোষক হিসাবে ব্যবহাত হয়।



চিত্র ৭-৭ : বিটাকণার শোষণ পর্যবেক্ষণের আয়োজন।

বিটাকণার শোষণ পর্যবেক্ষণের জন্য একটি পরীক্ষার আয়োজন ৭-৭ চিত্রে দেখানো হলো। তেজস্ক্রিয় বিটা-উৎস ও অতি পাতলা জানালাবিশিষ্ট একটি গাইগার-মূল্যার কাউন্টারের মধ্যে শোষকপাত রাখা হয় এবং শোষক - পুরুত্বের অপেক্ষক হিসাবে গণনার হার মাপা হয়। অবিচ্ছিন্ন শক্রি'র বর্ণালী সৃষ্টিকারী বিটাকণা শোষণের প্রকৃতি ৭-৮ চিত্রে দেওয়া হয়েছে। চিত্রে গণনার হার লগ-মাপনীতে নির্দেশ করা হয়েছে। শোষণের প্রকৃতি



শোষকের পুরুত্ব (গ্রাম / সেমি²)

চিত্র ৭-৮ : বিটাকণার শোষণ লেখ।

ନିଷ୍ଠାତ୍ ସୁରୋ ଶାହୀମ୍ ପ୍ରକାଶ କରା ଯାଏ ।

$$A(x) = A_0 e^{-\mu x} \quad (9)$$

ଏଥାନେ A_0 ହେଲେ ଶୋଯଗିଛିଲା (ଶୋଯକେର ଅନୁପର୍ଦ୍ଧିତି) ଅବଶ୍ୟାର ପମନାର ହାର ଏବଂ $A(x)$ ଶୋଯକେର ଅନ୍ୟତରେ x ଦୂରତ୍ବ ଅତିକ୍ରମ କରାର ପର ପମନାର ହାର ।
ii) ହେଲେ ଶୋଯଗ-ସହାୟ ।

ଲେଖ ଥେବେ ଦେଖା ଯାଏ ଯେ ପମନାର ହାର ଏକେବାରେ ଶୁଣ୍ୟ ହୁଏ ନା, ଏମନିକି ଶୋଯକେର ପୂର୍ବ ଅତ୍ୟଧିକ ବେଶୀ ହେଉଥାଏ ସହେତୁ । ଏହି ଅବଶ୍ୟାର ପମନାର ହାର ପ୍ରାଚୀନ ଏବଂ ଏକିବେଳେ ବେଶୀ ହେଉଥାଏ ପରିପରା (constant background) । ଏହି ପରିପରା ବହିରାଜତ ନାନା ଫରନେର ବିକିରଣେର ପତ୍ରାବେ ପୃଷ୍ଠି ହୁଏ ଏବଂ ପରୀକ୍ଷା ମାଣ ବିଟାଙ୍ଗରେ ସାଥେ ଏକ କୋନ ସମ୍ପର୍କ ନେଇ । ଆରୋ ଅଞ୍ଚଳୀୟ ବେ ଏକେବାରେ ଶେଷେର ଦିକେ ଏକେ ଶୋଯଗେର ଲେଖଟି ସରଳରେଖା (ଲଗ-ପମନାର) ଥେବେ ବିଚ୍ଛାନ ହୁଏ । ଯେ ବିନ୍ଦୁତେ ଲେଖଟି ପରିପରାର ସାଥେ ନିପିତ ହୁଏ ତାକେ ବିଟାକଣାର ଦୌଡ଼ଦୂରତ୍ବ ବା ସୀମା (R_f) ବଲା ହୁଏ । ଶୋଯକେର ମଧ୍ୟ ସର୍ବୋଚ୍ଚ ପତ୍ରିର ବିଟାକଣା ସତତୀ ଦୂରତ୍ବ ଅତିକ୍ରମ କରେ ସୋଟିଇ ହେଲେ ଏହି ଦୂରତ୍ବ, R_B ।

ଆଲକାକଣାର ଦୌଡ଼ଦୂରଦ୍ଵେର ମତ R_f ଏକ କୋନ ସୁନିଦିଷ୍ଟ ମାନ ନେଇ । କାରନ୍ତିମ- ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ବଲା ଯାଏ ଯେ ; (1) ତେଜଶ୍ଚିନ୍ମା ଫଳେ ନିଉକ୍ଲାଯ ବିଟାକଣାଶଳିର ଶକ୍ତି ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ- ଭାବେ ବିତରିତ ; ଅପରିପରି ଏକବଣୀ ବା ନିଦିଷ୍ଟ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ (monoenergetic) ହେଉଥାଏ ଏକମ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନଭାବେ ବିତରିତ ନାହିଁ । (2) ଆଲକାକଣାର ତୁଳନାଯି ଅତ୍ୟଧିକ କମତରେର ବିଟାକଣା ସଂଘର୍ଷର ଫଳେ ସହଜେଇ ଅଧିକ ପରିମାଣେ ଦିକ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରନ୍ତେ ପାରେ । (3) ଏକଟି ବିଟାକଣା ତାର ଶକ୍ତିର ଏକ ବଡ଼ ଅଂଶ କୋନ ଏକଟି ପରମାଣୁ- ଇଲେକ୍ଟ୍ରନେର ସାଥେ ସଂଘର୍ଷେ ଫଳ କରେ ଫେଲାତେ ପାରେ । ଏହି କାରଣେ ଆଲକାକଣାର ତୁଳନାଯି ଏଥାନେ ଦଳଚୂତିର ପରିମାଣର ଖୁବ ବେଶୀ । ଏହାର କୋନ ମାଧ୍ୟମେ ସମଶକ୍ତିସମ୍ପନ୍ନ ବିଭିନ୍ନ ବିଟାକଣା ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଦୂରତ୍ବ ଅତିକ୍ରମ କରେ । କଲେ ଆଲକା- କଣାର ନ୍ୟାଯ ଏଦେର କ୍ଷେତ୍ରେ ଦୌଡ଼-ଦୂରଦ୍ଵେର ସଂଜ୍ଞା ଅତତୀ ସୁପ୍ରତିଭାବେ ଦେଓଯା ଯାଏ ନା ।

୭.୭ ଆୟନାଯନ ଶକ୍ତି ହୁସ ତତ୍ତ୍ଵ

ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ଧନତାତ୍ତ୍ଵ କଣାର ତୁଳନାଯି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନେର ଆରନାଯନ ଶକ୍ତିହୁସ ପଦ୍ଧତି ଅନେକଟା ଜାତିର । କାରଣ ଏଥାନେ ଆୟନାଯନେ ମିକ୍ରିପ୍ଲି (projectile) ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ଶାତବହ (target) ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକେ ଆଲାଦା କରା ମୁଶକିଲା । ଅଭିନ୍ନ କଣା

হওয়ার দরুন এখানে কোয়ান্টাম বলবিদ্যার ‘বিনিময় ক্রিয়া’ (exchange effect) বিবেচনা করতে হয়। নিষ্কিপ্ত কণা পজিট্রন হলে এ অসুবিধা দেখা দেয়না।

এখানে শুধু ইলেকট্রনের সংঘর্ষজনিত শক্তি হ্রাসের তাত্ত্বিক সম্পর্ক দেওয়া হলো :

(ক) ইলেকট্রনের গতিশক্তি, $E \ll mc^2$ (m = ইলেকট্রনের স্থিরভর) :

$$\left(-\frac{dE}{dx} \right)_{col} = \frac{4\pi e^4 N Z}{mv^2} \left[\ln \left(\frac{mv^2}{2I} \right) + 0.15 \right] \quad (10)$$

(খ) ইলেকট্রনের গতিশক্তি, $E \gg mc^2$:

$$\left(-\frac{dE}{dx} \right)_{col} = \frac{2\pi e^4 N Z}{mc^2} \left[\ln \left(\frac{E^3}{2mc^2 I^2} \right) + \frac{1}{8} \right] \quad (11)$$

সমীকরণ দুটির সাহায্যে পরীক্ষালৈ ফলাফল সন্তোষজনকভাবে ব্যাখ্যা করা যায়।

৭.৮ বিকিরণজনিত শক্তি হ্রাস :

আমরা জানি কোন আহিত কণার ছরণ ঘটলে তারজন্য রশ্মির বিকিরণ হয়। এক্ষেত্রে বিকিরণের হার ছরণের বর্গের সমানুপাতিক। কোন নিউক্লিয়াসের পাশ অতিক্রম করার সময় (কুলস্ব বলের দরুন) ইলেকট্রনের ছরণ ঘটে। এর ফলে এক ধরণের রশ্মি বিকিরিত হয় এবং একে ‘ব্ৰেম্স্টাহ্লাং’ (Bremsstrahlung) বা ‘ছরণ বিকিরণ’ বলা হয়। এই রশ্মি বিকিরণের দ্বারা ইলেকট্রনের শক্তির অপচয় ঘটে। শুধু যে নিউক্লিয়াসের কুলস্ব বলের প্রভাবেই এই প্রক্রিয়া ঘটবে তা নয় বরং পরমাণু-ইলেকট্রন দ্বারাও এটা সংঘটিত হতে পারে।

এক্স-রশ্মির যন্ত্র থেকে ব্ৰেম্স্টাহ্লাং প্রক্রিয়ার মাধ্যমেই এক্স-রশ্মির অবিচ্ছিন্ন বৰ্ণালী উৎপন্ন হয়।

তত্ত্ব :

১৯৩৪ সালে সাউটার (F. Sauter) ও প্রায় একই সাথে বেথে ও হাইটলার (H. A. Beche and W. Heitler) প্রথম ব্ৰেম্স্টাহ্লাং প্রক্রিয়ার তাত্ত্বিক

সূত্র বের করেন। প্রারম্ভিক গতিশক্তি E বিশিষ্ট ইলেকট্রনের কোন মাধ্যমে
প্রতি একক দৈর্ঘ্যের গমনপথের জন্য বিকিরিত শক্তির সূত্র :

$$\left(-\frac{dE}{dx} \right)_{rad} = \left[4Z(Z+5) \frac{e^4 NE}{137m^2 c^4} \right] \left[\ln(183Z^{-1/3}) + \frac{1}{8} \right] \quad (12)$$

এখানে Z হচ্ছে Z এর সাথে পরিবর্তনশীল একটি রাশি—এর মান 1.4
(হাইড্রোজেন) থেকে 1.14 (ইউরেনিয়াম)।

সূত্রটি উচ্চগতিশক্তির ($E \gg mc^2$) ইলেকট্রনের বেঙায় প্রযোজ্য।
অল্পশক্তির ($E \ll mc^2$) ইলেকট্রনের জন্য এ ধরনের বিকিরণ ধর্তব্যের
মধ্যে পড়ে না।

১২ নং সূত্রকে স্থূলভাবে লেখা যায় :

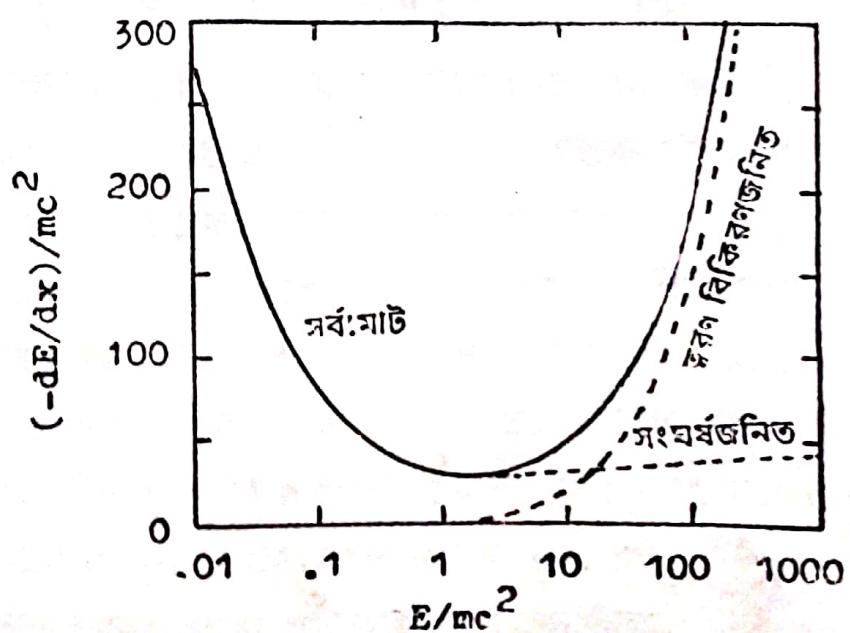
$$\left(-\frac{dE}{dx} \right)_{rad} \propto Zm^{-2}$$

অতএব মেসন, প্রোটন, ভারীকণা প্রভৃতির জন্য ব্রেম্সট্রাহ্নাং ক্ষয়ের
পরিমাণ অতি নগন্য।

কোন একটি মাধ্যমের ভিতর একটি আহিতকণার শক্তিক্ষয়ের হার হবে
এর সংঘর্ষ আয়নায়ন এবং ত্বরণ বিকিরণ জনিত শক্তিক্ষয়ের হারের যোগফলের
সমান। অতএব মোট শক্তিক্ষয়ের হারকে লেখা যায় :

$$\left(-\frac{dE}{dx} \right)_T = \left(-\frac{dE}{dx} \right)_{col} + \left(-\frac{dE}{dx} \right)_{rad} \quad (13)$$

৭-৯ নং চিত্রে সৌসার মধ্যে
ইলেকট্রনের শক্তিক্ষয়ের তাত্ত্বিক
পরিমাণ দেখানো হলো। অধিক
শক্তিতে মোট শক্তিক্ষয়ের হার
যে অতি দ্রুত বৃদ্ধি পায় তার
মূল কারণ হলো বিকিরণ জনিত
শক্তিক্ষয় যা Z^2 এর সমানু-
পাতী। উল্লেখ্য, আয়নায়নের
দ্বারা শক্তিক্ষয়ের হার Z -এর
সমানুপাতী।



চিত্র ৭-৯ :

দৌড়-দূরত্ব-শক্তি সম্পর্ক :

বিটাকণার জন্য দৌড়-দূরত্ব ও চরমশক্তির (endpoint energy) মধ্যেকার
সম্পর্ক নিম্নান্তভাবে প্রকাশ করা যায় :

(ক) চরমশক্তি, $E_0 < 2.5$ এমইভি :

$$R = 412 E_0^n ; \quad n = 1.265 - 0.095 \ln E_0 \quad (১৪)$$

(খ) $E_0 > 2.5$ এমইভি :

$$R = 530 E_0 - 106 \quad (১৫)$$

সূত্রগুলি এন্থমিনিয়াম শোষকে পরিচালিত পরীক্ষামূলক ফলাফলের ভিত্তিতে
পাওয়া গেছে। উভয়সূত্রে E_0 কে এমইভি ও R-কে মিলিএভি সেক্সি² এ প্রকাশ
করা হয়েছে। শোষণ পরিমাপনের সাহায্যে প্রাপ্ত দৌড়-দূরত্ব R-কে ব্যবহার
করে বিটাকণার শক্তি নির্ধারণ করা সম্ভব।

৭.৯ পদার্থের সাথে গামারশিম পরিক্রিয়া (Interaction of gamma rays with matter) :

পদার্থের ভিতর গামারশিম প্রধানতঃ নিম্নভাবে শোষিত হয় :

(ক) আলোকতাড়িত শোষণ

(খ) কম্পটন বিক্ষেপণ

(গ) ইলেকট্রন-পজিট্রন জোড়া বা জুটি সৃষ্টি।

এই সবক'টি প্রক্রিয়াতেই ফোটনের শক্তি আংশিকভাবে অথবা সম্পূর্ণরাপে
ইলেকট্রনে স্থানান্তরিত হয়। পদার্থের উপর আপত্তি হলে গামারশিম ফোটন
আকস্মিকভাবে কোন এক প্রক্রিয়া বা ঘটনার সম্মুখীন হয় এবং তাতেই সেটি
নিশ্চিহ্ন হয়ে যায় অথবা বৃহৎ কোণে বিক্ষিপ্ত হয়। অক্ষীকৃত (collimated)
গামারশিম হতে একটি ফোটন বিক্ষিপ্ত হওয়ার অর্থ এই যে, সেই রশিম হতে
সেটি হারিয়ে যায় ফলে শোষকের অপরপ্রান্তে রক্ষিত উদ্ঘাটকে তা পর্যবেক্ষণ
করা সম্ভব হয় না। অতএব বিক্ষেপণকেও শোষণ হিসাবে ধরা যায়।
আমরা পূর্ববর্তী অনুচ্ছেদ কয়েছিলেন দেখেছি যে, আহিতকণা ধীরে ধীরে পর্যায়বৃত্তমে
একইসাথে অনেকগুলি পরমাণুর সাথে পরিক্রিয়া করে গতি হারায়। পক্ষান্তরে
একটি ফোটনের শোষণ হস্তান্ত করে একটি ঘটনার মাধ্যমে হয়। আহিতকণার
দৌড়-পাঞ্চা হতে যেমন তার শক্তি জানা যায় ফোটনের ক্ষেত্রে তেমনটি জানা যায়

না কারণ ফোটনের ক্ষেত্রে শক্তি এবং দৌড়-পান্নার মধ্যে কোন সম্পর্ক নেই।
আকস্মিকতা এবং 'এক ঘটনা প্রক্রিয়া' ফোটন-শোষণের বৈশিষ্ট্য এবং তা
সূচকীয় (exponential) সূত্রের উদ্ভব করে।

~~শোষণ সহগ (coefficient of absorption) :~~

মনে করি একই শক্তির ফোটন রশ্মি এক সেকেন্ডে প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে N হারে একটি লক্ষ্য বস্তুর উপর খাড়াভাবে আপত্তি হচ্ছে। রশ্মি dx পুরুত্ব অতিক্রম কালে ' $-dN$ ' সংখ্যক* বিক্রিয়া করলে, এই সংখ্যা N এবং dx এর সমানুপাতিক হবে। অতএব,

$$-dN = \mu N dx$$

এখানে এই সমানুপাতিক প্রতিক্রিয়াকে শোষণ সহগ বলে। সমাকলনের সাহায্যে আমরা পাই

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = \mu \int_0^x dx$$

$$N = N_0 e^{-\mu x}$$

(১৬)

কিন্তু তীব্রতা, $I = Nh\nu$, যেখানে $h\nu$ একটি ফোটনের শক্তি। অতএব,

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x}$$

(১৭)

পুরুত্ব x কে সেন্টিমিটার অথবা গ্রাম/সেমি² এককে প্রকাশ করা যায়।
যেহেতু μx কে মাত্রাহীন (dimensionless) হতে হবে, μ এর একক সেমি⁻¹
অথবা সেমি²/গ্রাম হয়। কোন কোন ক্ষেত্রে শোষকের পুরুত্বকে পরমাণু/সেমি²
অথবা ইলেকট্রন/সেমি² এককে প্রকাশ করা সুবিধাজনক হয়, এক্ষেত্রে শোষণ
সহগের একক সেমি²/পরমাণু বা সেমি²/ইলেকট্রন উভয়েই হতে পারে।

শোষণ সহগের একক সেমি⁻¹ হলে সেটিকে μ দ্বারা চিহ্নিত করা
হয়। একক সেমি²/গ্রাম হলে রাশিটি $\mu/9$ দ্বারা প্রকাশিত হয়। একক
যথন সেমি²/ইলেকট্রন এবং সেমি²/পরমাণু তখন শোষণের সহগকে যথাক্রমে
 μ এবং $a\mu$ দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

* $dN=dx$ দূরত্ব অতিক্রমের পর ফোটন সংখ্যা—প্রারম্ভিক ফোটন সংখ্যা = নেগেটিভ
সংখ্যা। সুতরাং ' $-dN$ ' একটি পজিটিভ সংখ্যা।

উল্লিখিত সহগগুলির মধ্যে সম্পর্ক নিম্নরূপ :

$$a^{\mu} = Z_e^{\mu} \quad (18)$$

$$\frac{\mu}{\rho} = N \left(\frac{Z}{A} \right) e^{\mu} = \frac{N}{A} a^{\mu} \quad (19)$$

$$\mu = \rho N \left(\frac{Z}{A} \right) e^{\mu} = \frac{\rho N}{A} a^{\mu} \quad (20)$$

এখানে Z পারমাণবিক সংখ্যা A পারমাণবিক ওজন, N এভোগাড়ো সংখ্যা এবং ρ গ্রাম/সেমি³ এককে ঘনত্ব। ২০ নং সমীকরণে $\rho N (Z/A)$ দ্বারা প্রতি ঘন সেমি শোষকে ইলেকট্রনের সংখ্যা বোঝায়। এককের কারণে e^{μ} এবং a^{μ} কে ঘথাক্রমে ‘‘ইলেকট্রন প্রতি প্রস্থচ্ছেদ’’ এবং ‘‘পরমাণু প্রতি প্রস্থচ্ছেদ’’ বলে।

গামা রশ্বন ফোটন গড় মুক্ত পথ λ দ্বারা চিহ্নিত করা যায়। শোষকের মধ্যে একটি পরিক্রিয়া ঘটার আগে ফোটন দ্বারা অতিক্রান্ত গড় দূরত্বকেই λ বলা হয়। এটিকে এভাবে পাওয়া যায়—

$$\lambda = \frac{\int_0^{\infty} x e^{-\mu x} dx}{\int_0^{\infty} e^{-\mu x} dx} = \frac{1}{\mu} \quad (21)$$

দেখা যাচ্ছে এটি রৈখিক শোষণ সহগের বিপরীত। সাধারণ শক্তির গামা-রশ্বন জন্য ধাতুর মধ্যে λ এর মান কয়েক মিমি থেকে শুরু করে এমনকি এক মিটার পর্যন্ত হতে পারে।

রৈখিক শোষণ সহগের একটি খারাপ দিক হল একই শোষক পদার্থের জন্য এর মান ঘনত্বের সাথে পরিবর্তিত হয়। এই কারণে ‘ডর শোষণ সহগ’ μ/ρ কে (১৯ নং সমীকরণ) ব্যাপকতর ভাবে ব্যবহার করা হয়। পদার্থের ভৌত অবস্থার উপর এর মান নির্ভর করে না—পানি তরল বা বাত্পৌষ্য যে অবস্থাতেই থাকুক না কেন এর মান ফ্র্যান্ড থাকে। একটি যৌগিক পদার্থের বা মৌলিক পদার্থের মিশ্রণের জন্য

$$\left(\frac{\mu}{\rho} \right)_c = \sum_i \omega_i \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_i \quad (22)$$

এখানে গুণক $\frac{I}{I_0}$ হচ্ছে যৌগিক পদার্থে বা মিশ্রণে মৌলিক পদার্থ। এর ওজন-ভিত্তিক অংশ।

গামা রশ্মির শোষণকে অর্ধ-পুরুত্ব (half thickness) নামক আরেকটি রাশি দ্বারা প্রকাশ করা যায়। গামা রশ্মির আদি তীব্রতাকে অর্ধেক করে ফেলতে শোষকের যে পুরুত্বের প্রয়োজন হয় তাই অর্ধ-পুরুত্ব। এই রাশিটি বের করতে ১৭ নং সমীকরণের উভয় পক্ষের লাগ নিতে হবে :

$$\ln \left(\frac{I}{I_0} \right) = -\mu x$$

$$\text{যখন } \frac{I}{I_0} = \frac{1}{2},$$

$$\ln \left(\frac{1}{2} \right) = -\mu x_{1/2}$$

$$\text{এবং } x_{1/2} = \frac{0.693}{\mu} \quad (23)$$

এখানে $x_{1/2}$ হচ্ছে অর্ধ-পুরুত্ব।

৭.৯.১ আলোক তাড়িত শোষণ (Photoelectric absorption) :

এই পদ্ধতিতে একটি আপত্তি ফোটন পরমাণুর সাথে এমনভাবে পরিক্রিয়া করে যাতে শক্তির সবটুকু একটি ইলেকট্রনের উপর সঞ্চিত হয় এবং সেই ইলেকট্রন পরমাণু হতে ছুটে বেরিয়ে আসে। মুক্ত ইলেকট্রনের সাথে এই ঘটনা সংঘটিত হয় না, শুধুমাত্র পরমাণুর শেলে আবদ্ধ ইলেকট্রনের সাথে হতে পারে। ফোটনের শক্তি যথেষ্ট থাকলে পরমাণুর সবচেয়ে অন্তঃস্থ শেল অর্থাৎ K শেল হতে ইলেকট্রন উৎক্ষিপ্ত হবার সম্ভাব্যতা থাকে সবচেয়ে বেশী। আপত্তি ফোটনের শক্তি $h\nu$ হলে উৎক্ষিপ্ত ইলেকট্রন বা ফটোইলেকট্রনের (photoelectron) গতিশক্তি

$$E_e = h\nu - E_b \quad (24)$$

এখানে E_b আদি শেলে ইলেকট্রনটির বন্ধন শক্তি। এই পদ্ধতিতে গামা শোষণকারী লক্ষ্যবস্তুর পুরুত্ব খুব কম না হলে পদার্থের ভিতর উৎক্ষিপ্ত ইলেকট্রনের পুনরায় শোষিত হবার সম্ভাবনা বেশী।

অপেক্ষাকৃত কম শক্তির গামারশিয়া প্রধানতঃ উচ্চ পদ্ধতির মাধ্যমে পদার্থের মধ্যে শোষিত হয়। উচ্চ পরমাণবিক সংখ্যা (Z) বিশিষ্ট পদার্থে এই বিক্রিয়ার সম্ভাবতা বেশী। আমরা জানি কোয়ান্টাম বলবিদ্যার সাহায্যে আলোকতাত্ত্বিক বিক্রিয়া সংঘটনের সম্ভাব্যতার সূত্র বের করা হয়েছে। বিভিন্ন শক্তি-অঞ্চলের জন্য বিভিন্ন সূত্র দেয়া হয়েছে এবং এক সূত্র দিয়ে সব শক্তি অঞ্চলের বর্ণনা সম্ভবপর হয় না। ফোটনের শক্তি যদি এত কম হয় যে তা' আপেক্ষিকভাব শুন্য হয় অথচ তার তুলনায় K-শেলে ইলেকট্রনের বন্ধন শক্তিকে নগন্য ধরা যায় সেক্ষেত্রে হল (H. Hall) 'পরমাণু প্রতি শোষণ সহগের' (১৯৩৫) জন্য একটি সম্পর্ক বের করেন। সম্পর্কটি এরূপ

$$a^{\tau} = \phi_0 Z^5 \left(\frac{1}{137} \right)^4 4\sqrt{2} \left(\frac{m_0 c^2}{h\nu} \right)^{7/2} \quad (25)$$

$$\text{এখানে } \phi_0 = \frac{8\pi}{3} \left(\frac{e^2}{m_0 c^2} \right) = 6.651 \times 10^{-25} \text{ সেমি}^2.$$

উপরোক্ত সমীকরণে $m_0 c^2$ ইলেকট্রনের স্থির-ভর শক্তি। সূত্রটি শুধুমাত্র K-ইলেকট্রন উৎক্ষেপণের জন্য প্রযোজ্য।

২৫ নং সমীকরণ হতে আমরা দেখতে পাই, a^{τ} এর মান Z^5 এর সমানুপাতিক এবং $(h\nu)^{7/2}$ এর সাথে ব্যন্তি সমানুপাতিক। অর্থাৎ, নির্দিষ্ট শক্তির ফোটনের জন্য হালকা ধাতুর (যেমন এলুমিনিয়াম) চেয়ে ভারী ধাতুতে (যেমন সৌসা) আলোকতাত্ত্বিক শোষণ অনেক বেশী। আবার শক্তির নির্ভরতা থেকে দেখা যায় এই শোষণ বেশী শক্তির ফোটনের চেয়ে কম শক্তির ফোটনের ক্ষেত্রে বেশী ঘটে থাকে।

আলোকতাত্ত্বিক শোষণের প্রস্থচ্ছেদের সূত্রটি $h\nu \ll m_0 c^2$ এর ক্ষেত্রে প্রয়োজ্য এবং Z-এর সূচক ঠিক পুরোপুরি 5 হয় না। সাধারণভাবে সমীকরণ (২৩) কে নিম্নোক্তভাবে লেখা যায় —

$$a^{\tau} \approx \text{ক্ষেত্র} \times \frac{Z^n}{E^p \gamma} \quad (26)$$

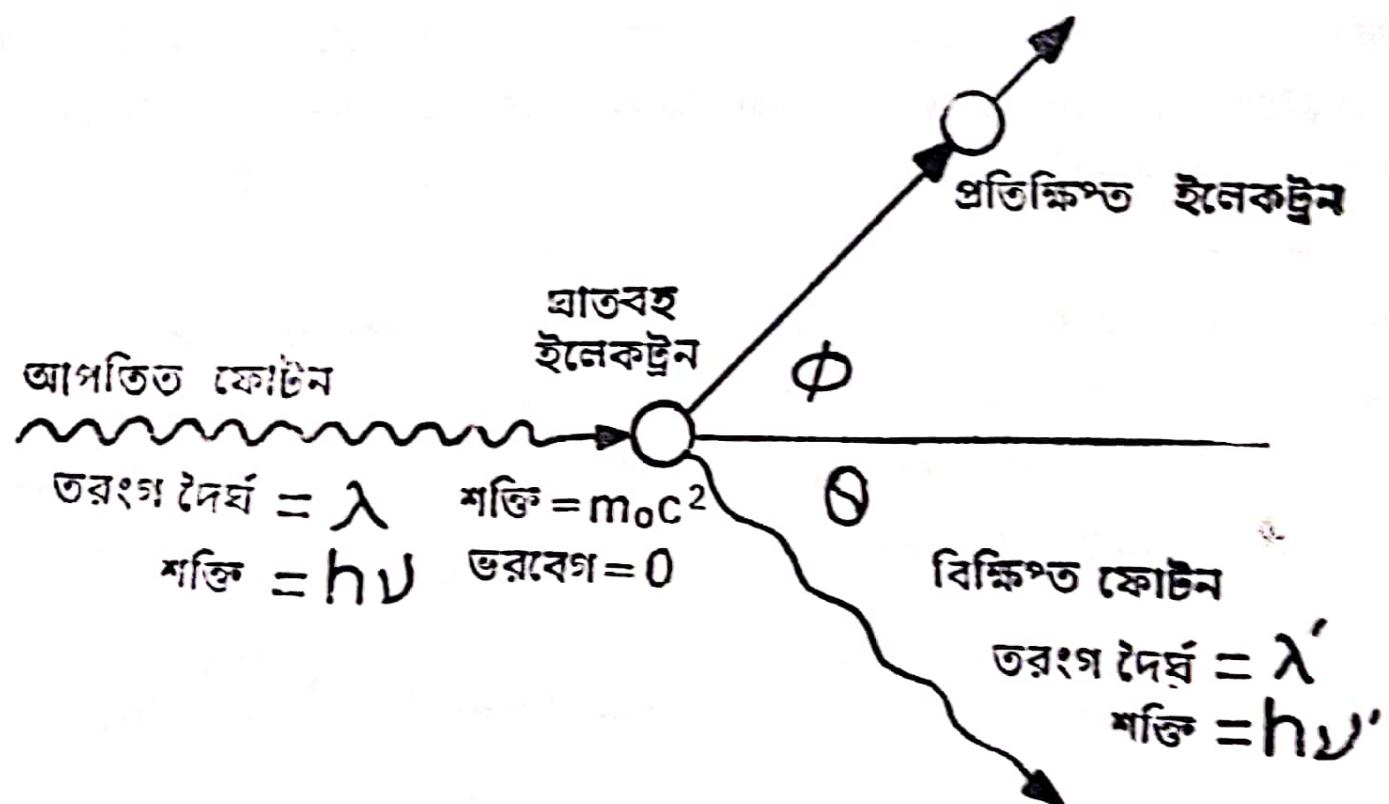
এখানে n-এর মান 4 হতে 5-এর মধ্যে হয়ে থাকে। E_γ এর সূচক p-এর মান কম শক্তির জন্য 7/2 হলেও শক্তি বৃদ্ধির সাথে সাথে এটি কমে শেষ পর্যন্ত 1 এ নেমে আসে। 'সেমি প্রতি শোষণ সহগ' ২০ ও ২৫ নং সমীকরণের সাহায্যে নির্ণয় করা যায় :

$$\tau (\text{সেমি}^{-1}) = \frac{97}{A} a^{\tau} \quad (27)$$

৭.৯.২ কম্পটন বিক্ষেপণ (Compton scattering) :

ফোটনের সাথে একটি মূল্য বা আধামূল্য ইলেকট্রনের বিক্ষেপণকে কম্পটন প্রক্রিয়া বলে। এই পদ্ধতিতে ফোটনটি ইলেকট্রন দ্বারা সম্পূর্ণ শোষিত হয় না কিন্তু সেটি তার গতিপথ থেকে বিক্ষিপ্ত হয় এবং ইলেকট্রনে আংশিক শক্তি স্থানান্তর করে নিজে সমপরিমাণ শক্তি হারিয়ে ফেলে। রশ্মির আদি গতিপথে ফোটনটি আর থাকে না বলে এ প্রক্রিয়াকে কার্ষকরীভাবে ফোটনের শোষণ হিসাবে ধরা যায়। মোটামুটি উচ্চশক্তিতে ফোটনের শক্তি পরমাণুতে আবহ্য ইলেকট্রনের বন্ধন শক্তির চেয়ে অনেক বেশী হওয়ায় ইলেকট্রনকে মুক্ত হিসাবে ধরা যায় এবং তার উপর কম্পটনের সূত্র কার্ষকরী হয়।

৭-১০ নং চিত্রে একটি ফোটন একটি ইলেকট্রনের দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয়ে আদি গতিপথের সাথে ϕ কোণ এবং ইলেকট্রন নিজে আংশিক শক্তি প্রাপ্ত হয়ে একই রেখার সাথে θ কোণ উৎপন্ন করেছে। বিক্ষেপণের পূর্বে ফোটনের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য $= \lambda$ ।



চিত্র ৭-১০ : কম্পটন বিক্ষেপণ

বিক্ষেপণের পরে ফোটনের শক্তি কমে যাওয়ায় তরঙ্গ দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পেয়ে λ' এ পরিণত হলে এটা দেখান সম্ভব যে,

$$\lambda' - \lambda = -\frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \theta) \quad (28)$$

যেহেতু $\lambda = c/v$, সমীকরণ ২৮ নং হতে সহজেই বিক্ষিপ্ত ফোটনের শক্তি
পাওয়া যায়,

$$hv' = \frac{hv}{1 + \frac{hv}{m_0c^2} (1 - \cos \theta)} \quad (29)$$

এখানে v' এবং v যথাক্রমে বিক্ষেপণের পূর্বে ও পরে ফোটনের কম্পনাঙ্ক।
ফোটনের আদি শক্তি হতে অন্ত শক্তি বাদ দিলে প্রতিক্ষিপ্ত ইলেকট্রনের গতিশক্তি
পাওয়া যায় :

$$T = hv - hv'$$

$$= \frac{(1 - \cos \theta) \frac{hv}{m_0c^2}}{1 + \frac{hv}{m_0c^2} (1 - \cos \theta)} \quad (30)$$

ইলেকট্রনের গতিশক্তি সর্বোচ্চ হয় যখন $\cos \theta = -1$ অর্থাৎ, $\theta = 180^\circ$,
এবং ফোটন তখন সরাসরি পেছন দিকে বিক্ষিপ্ত হয়। ফোটন যখন
ইলেকট্রনের গা ঘেঁষে ঠিক সম্মুখ দিকে চলে যায় তখন সে ন্যূনতম শক্তি
হারায় এবং ইলেকট্রন তখন প্রায় শূন্য শক্তি নিয়ে ফোটনের পথের সাথে লম্বভাবে
উৎক্ষিপ্ত হয়।

পদার্থে γ -রশ্মির শক্তি হ্রাস করণে কম্পটন বিক্ষেপণের অবদান জানতে
হলে এ ধরনের বিক্ষেপণ সংষ্টটনের সম্ভাব্যতা নিরূপণ করা প্রয়োজন। ক্লেইন
ও নিশিনা (O. Klein and Y. Nishina) আপেক্ষিক কোয়ান্টাম বলবিদ্যার
সাহায্যে এই সম্ভাব্যতা নির্ণয় করেন। তাঁরা ‘ইলেকট্রন প্রতি শোষণ সহগ’
নিম্নাঞ্চিত্বাবে প্রকাশ করেন :

$$e\sigma = \frac{3}{4} \phi_0 \times \left\{ \frac{1+\alpha}{\alpha^2} \left[\frac{2(1+\alpha)}{1+2\alpha} - \frac{1}{\alpha} \ln(1+2\alpha) \right] + \frac{1}{2\alpha} \ln(1+2\alpha) - \frac{1+3\alpha}{(1+2\alpha)^2} \right\} \quad (31)$$

এখানে, $\alpha = \frac{hv}{mc^2}$ এবং $\phi_0 = \frac{8\pi}{3} \left(\frac{e^2}{m_0c^2} \right)^2$ । আমরা জানি $e\sigma$ কে
 $\rho N (Z/A)$ দ্বারা গুণ করলে ‘সেমি প্রতি কম্পটন শোষণের সহগ’ পাওয়া যায়।
অতএব,

$$\sigma (\text{সেমি}^{-1}) = \rho N \frac{Z}{A} e\sigma \quad (32)$$

সহগ ও শোষনকারীর মধ্যে এক সেন্টিমিটারে একটি ফোটন বিক্ষিপ্ত হবার সম্ভাবতাকে নিরূপণ করে। এছাড়া আপত্তি সমস্ত রশ্মির ক্ষেত্রে প্রতি সেন্টিমিটার শোষক দ্বারা মোট শক্তির অপসারণকেও পরিমাপ করে।

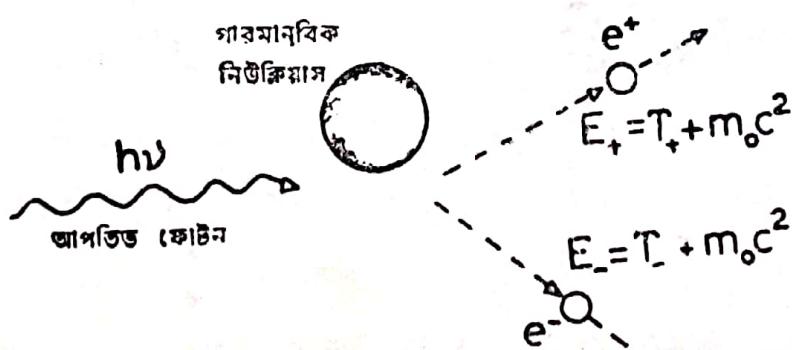
৩১ নং সমীকরণ ছাড়াও কম্পটন প্রক্রিয়ার আরও কয়েকটি প্রয়োজনীয় সম্পর্ক রয়েছে। এদের একটির সাহায্যে বিক্ষিপ্ত ফোটনের কৌণিক বিন্যাস নির্ণয় করা যায়। কোন কোন সময় বিক্ষিপ্ত ফোটনের শক্তি এবং প্রতিক্ষিপ্ত ইলেকট্রনের গতিশক্তি জানা প্রয়োজন হয়। এই দুই ক্ষেত্রে দুই ধরনের সম্ভাব্যতার সূত্র রয়েছে।

৭.৯.৩ ইলেক্ট্রন-পজিট্রন জোড়াসৃষ্টি ও বিনাশ (Electron-positron pair production and annihilation)

জোড়া বা জুটি সৃষ্টি:

তৃতীয় যে পদ্ধতিতে গামারশ্মি পদার্থের মধ্যে শোষিত হয় সেটির নাম জোড়া সৃষ্টি। এই পদ্ধতিতে ফোটনের শক্তি সম্পূর্ণরূপে বস্তুতে পরিণত হয়, ফোটনের বিনাশ ঘটে এবং একজোড়া ইলেক্ট্রন-পজিট্রন সৃষ্টি হয়। ফোটনের আধান শূন্য হওয়ায় আধানের নিত্যতার কারণে বিপরীত আধানের দুটি কণার সৃষ্টি হয়। এই জোড়া সৃজনের জন্য ফোটনের শক্তি কম পক্ষে জোড়াটির ভর-শক্তির সমান হতে হবে; ফোটনের বাঢ়তি কোন শক্তি থাকলে তা কণাটির গতিশক্তি আকারে প্রকাশ পায়।

শূন্য স্থানে জুটি সৃষ্টি হতে পারে না (৯নং সমস্যা দ্রষ্টব্য)। একটি ভারী নিউক্লিয়াসের উপস্থিতি জোড়াসৃষ্টির জন্য প্রয়োজন। ৭-১১ চিত্রে নিউক্লিয়াসের নিকটে একটি জোড়া-সৃষ্টির ঘটনা দেখানো হয়েছে। এখানে



চিত্র ৭-১১ : জোড়াসৃষ্টি পদ্ধতি

নিউক্লিয়াসের বা পরমাণুর সাথে ফোটনটির কোন বিক্রিয়া হয় না। জোড়াসৃষ্টি কালে আপত্তি ফোটনের ভরবেগের অনেকটা নিউক্লিয়াস নিয়ে নেয়। তবে নিউক্লিয়াসের ভর খুব বেশী হওয়ায় তার প্রতিক্রিপ্ত গতিশক্তি, $K = P^2/2M$, ইলেক্ট্রন-পজিট্রন মুগের গতিশক্তির তুলনায় অত্যন্ত নগণ্য। অতএব, নিউক্লিয়াসকে উপেক্ষা করে শক্তির নিত্যতার (কিন্তু ভরবেগের নিত্যতা নয়) সাহায্যে লেখা যায় :

$$E_{\gamma} = h\nu = T_+ + T_- + 2m_0 c^2 \quad (33)$$

এখানে ইলেক্ট্রন ও পজিট্রনের একই পরিমাণ স্থির-ভর $m_0 = 9.11 \times 10^{-31}$ কিগ্রা। T_+ এবং T_- যথাক্রমে পজিট্রন ও ইলেক্ট্রনের গতিশক্তি। গতিশক্তির জন্য প্রাপ্তশক্তি ($E_{\gamma} - 2m_0 c^2$) উৎপন্ন কণাদুটির মধ্যে যে কোনভাবে বিভক্ত হয়। তবে পজিট্রন গড়ে বেশী শক্তি পেয়ে থাকে, এর কারণ সৃষ্টিটি লঁঁশে নিউক্লিয়াস পজিট্রনকে বিকর্ষণ করে ধাক্কা দেয় এবং ইলেক্ট্রনকে আকর্ষণ করে কিছুটা মন্ত্র করে।

জোড়া বিনাশ :

এখানে এই পদ্ধতির কথা দুই কারণে উল্লেখ করা যায়। প্রথমতঃ পদার্থের মধ্যে জোড়াসৃষ্টির পর উৎপন্ন পজিট্রন যে কোন একটি ইলেক্ট্রনের সাথে এই বিক্রিয়া ঘটায়। দ্বিতীয়তঃ এই পদ্ধতি জোড়াসৃষ্টির ঠিক বিপরীত। জোড়া বিনাশে একটি পজিট্রন-ইলেক্ট্রন জোড়া পরস্পরকে বিধ্বংশ করে দুটি বা তিনটি ফোটন উৎপন্ন করে। বিক্রিয়াটিতে শক্তি ও ভরবেগ সংরক্ষণ করতে কমপক্ষে দুটি ফোটন উৎপন্ন হতেই হবে। ৭-১২ চিত্রে একটি জোড়া

$$E_+ = m_0 c^2 + T_+$$

⊕ →

↑

$$E_- = m_0 c^2 + T_-$$

{ } { }

$h\nu_1$

$h\nu_2$

(ক) জোড়া বিনাশের পূর্বে

(খ) জোড়া বিনাশের পরে

চিত্র ৭-১২ : ইলেক্ট্রন-পজিট্রন জোড়া বিনাশ।

বিনাশ দেখানো হয়েছে। জোড়া বিনাশ শূন্য স্থানে ঘটতে পারে এবং এতে শক্তি ও ডরবেগ এই দুই সূচাই প্রযোজ্য হয়। বিক্রিয়াটি এবং সংশ্লিষ্ট সমীকরণগুলি নিচে দেওয়া হলো :

$$e^- + e^+ \rightarrow \gamma + \gamma \quad (\text{অথবা } \gamma + \gamma + \gamma)$$

$$E_{\text{আদি}} = E_{\text{চূড়ান্ত}} \quad \text{অর্থাৎ, } 2m_0c^2 + T_+ + T_- = h\nu_1 + h\nu_2 \quad (38)$$

$$P_{\text{আদি}} = P_{\text{চূড়ান্ত}} \quad \text{অর্থাৎ, } m_+ v_+ + m_- v_- = \vec{h}k_1 + \vec{h}k_2 \quad (39)$$

এখানে \vec{k} হচ্ছে ফোটনের প্রবাহ দিকরাশি (propagation vector), $|\vec{k}| = 2\pi/\lambda$, λ ফোটনের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য।

জোড়া সৃষ্টি ও বিনাশের তত্ত্ব :

১৯২৮ সালে ডিরাক (P.A.M. Dirac) আপেক্ষিকতা তরঙ্গ সমীকরণ বের করেন। এই সমীকরণের সমাধান থেকে এই সিদ্ধান্তে উপনীত হওয়া যায় যে, প্রত্যোক কণার প্রতি-কণা (antiparticle) রয়েছে।

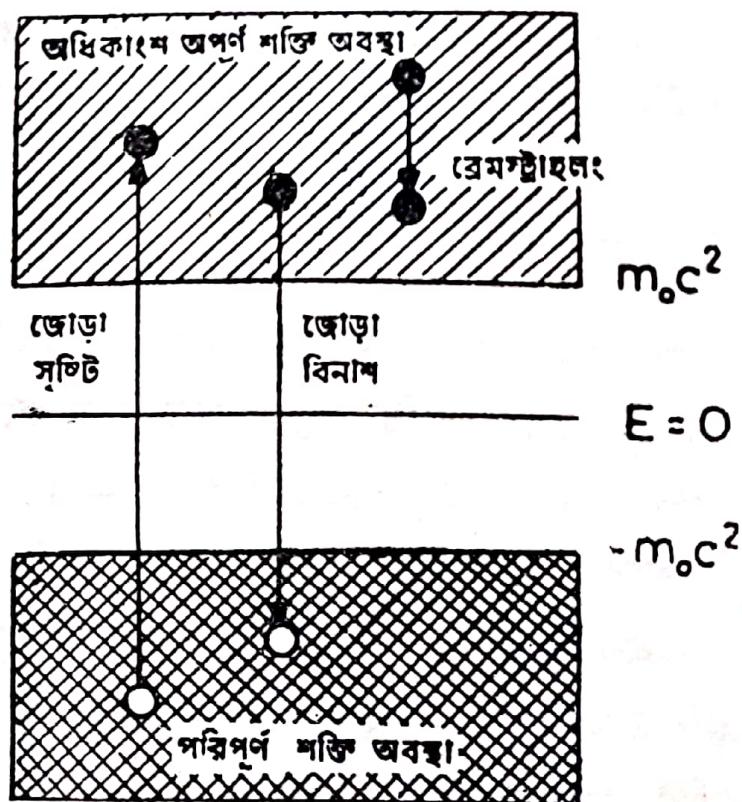
ডিরাকের তত্ত্ব অনুসারে ইলেকট্রন খণ্ডাক শক্তি অবস্থায় থাকতে পারে। আপেক্ষিকতা শক্তি সমীকরণের ধনাত্মক ও ঋণাত্মক দুটি মূল হচ্ছে :

$$E = \pm \sqrt{m_0^2 c^4 + p^2 c^2} \quad (40)$$

ডিরাকের মতে কণার ধনাত্মক ও ঋণাত্মক দুই সমাধানই সত্ত্ব। ধনাত্মক সমাধান অনুসারে ইলেকট্রনের মোট শক্তি $m_0 c^2$ হতে শুরু করে অসীম মান (∞) পর্যন্ত হতে পারে। ঋণাত্মক মূল অনুসারে সেই শক্তি $-m_0 c^2$ হতে $-\infty$ পর্যন্ত যে কোন মানের হতে পারে। ধনাত্মক অবস্থা থেকে একটি ইলেকট্রন ফোটন বিকিরণ করে ধনাত্মক অবস্থায় যেতে পারে, এবং সেটি ঋণাত্মক অবস্থা থেকে একইভাবে আরও অধিক ঋণাত্মক অবস্থায় গমন করতে পারে। প্রকৃতির সব কিছুই সর্বনিম্ন শক্তি স্তরে থাকার প্রবণতার জন্য বিশ্বের সকল ইলেক্ট্রনের শেষ পর্যন্ত $E = -\infty$ শক্তি অর্জন করার কথা। কিন্তু প্রকৃতিতে ইলেকট্রনের এ ধরণের শক্তি প্রাপ্তির কোন লক্ষণ দেখা যায় না। ডিরাক প্রস্তাব করেন যে,

সাধারণভাবে ইলেকট্রনের সকল ঋণাত্মক শক্তি-স্তরগুলি পরিপূর্ণ। সেজন্য পাউলির পরিবর্জন নীতি অনুসারে ধনাত্মক অবস্থা হতে কোন ইলেকট্রন ঋণাত্মক অবস্থায় যেতে পারে না। ডিরাক আরও প্রস্তাব করেন, ঋণাত্মক শক্তির ‘ইলেকট্রন-সমুদ্র’—প্রত্যক্ষভাবে পর্যবেক্ষণ করা যায় না।

ধনাত্মক শক্তি অবস্থায় ইলেকট্রন নিরীক্ষণ করা যায়। এগুলি যখন $+m_0c^2$ অবস্থায় থাকে তখন তাদের গতিশক্তি শূন্য এবং উচ্চতর যে কোন অবস্থার ইলেকট্রনকে গতিশীল ইলেকট্রন বোবায়। ধনাত্মক শক্তি স্তরের অধিকাংশই ফাঁকা থাকে। এজন্য ঋণাত্মক শক্তি অবস্থার কোন ইলেকট্রনকে কোনভাবে ঘর্থেষ্ট শক্তি সরবরাহ করলে এটি ধনাত্মক শক্তি অবস্থায় উন্নীত হতে পারে এবং একে পর্যবেক্ষণ করা যায়। এই ঘটনাকে ৭-১৩ চিত্রে দেখানো হয়েছে। ঋণাত্মক শক্তির ইলেকট্রন-সমুদ্রের মধ্যে কোন ইলেকট্রনের অনুপস্থিতি একটি গর্ত (hole) সৃষ্টি করে। ঋণাত্মক ইলেকট্রনের সমুদ্রে ঋণাত্মক ভর ও ঋণাত্মক গতিশক্তির ইলেকট্রনের শূন্যতা বা গর্তকে ধনাত্মক ভর ও ঋণাত্মক গতি শক্তির কণার মত মনে হয়। এই কণাটির আধান ইলেকট্রনের বিপরীত অর্থাৎ



চিত্র ৭-১৩ : ডিরাকের তত্ত্ব অনুসারে জোড়া সৃষ্টি ও জোড়া বিনাশ।

ধনাত্মক। তাহলে দেখা যাচ্ছে একটি গর্তের ধর্মাবলী সবই ইলেকট্রনের মত শুধু এর আধান $+e$ । ১৯৩২ সালে ভূ-পৃষ্ঠে নড়োরশ্বির মধ্যে এই ধরণের কণার অস্তিত্ব প্রথম প্রমাণিত হয়। এ কণার নাম পজিট্রন এবং তা ইলেকট্রনের প্রতি-কণা। ৭-১৩ চিত্র হতে এটি স্পষ্ট যে একটি ইলেকট্রন-পজিট্রন জোড়া সৃষ্টি করতে কমপক্ষে $2m_0c^2$ পরিমাণ শক্তির প্রয়োজন হয়। বাড়তি শক্তি জোড়ার গতিশক্তিরাপে আবির্ভূত হয়। স্পষ্টতাঃ ই গতিশীল ইলেকট্রন ও পজিট্রনের অবস্থার শক্তি-দূরত্ব $2m_0c^2$ এর বেশী যে কোন মানের হতে পারে। $2m_0c^2$ এর চেয়ে বেশী শক্তি সম্পন্ন ফোটন কোন ইলেকট্রনকে খণ্ডাত্মক শক্তি অবস্থা হতে ধনাত্মক শক্তি অবস্থায় উন্নীত করতে পারে এবং পরিগামে জোড়া সৃষ্টি হয়ে থাকে। খণ্ডাত্মক শক্তি অবস্থায় কোন গর্ত থাকলে ধনাত্মক শক্তি অবস্থার একটি ইলেকট্রন দুই বা ততোধিক ফোটন বিকিরণ করে সেই গর্ত পূরণ করতে পারে। এর ফলে একটি ইলেকট্রন যেমন খণ্ডাত্মক শক্তির ইলেকট্রন-সমূহে বিলীন হয়ে গেল, তেমনি গর্তটির অস্তিত্ব আর থাকল না। পর্যবেক্ষকের নিকট মনে হবে, একটি ইলেকট্রন একটি পজিট্রনের সাথে মিলিত হলো এবং জোড়াটি অদৃশ্য হয়ে গেল। সাথে সাথে সৃষ্টি হলো দুই বা ততোধিক ফোটন। এই ঘটনাটিই জোড়া বিনাশ।

এখানে ৭-১৩ নং চিত্রের সাহায্যে একটি প্রাসঙ্গিক পদ্ধতির উল্লেখ করা যায়। এর নাম ব্রেমস্ট্রাইলাং। আগেই বলা হয়েছে, এই প্রক্রিয়ায় যখন কোন ইলেকট্রন একটি পরমাণুর নিউক্লিয়াসের নিকটবর্তী পথ দিয়ে গমন করে তখন সেটির বেগ হ্রাসপ্রাপ্ত হয় এবং এক্স-রশ্বির বিকিরণ ঘটে। চিত্রে ধনাত্মক শক্তি অবস্থার একটি ইলেকট্রনকে উচ্চতর অবস্থা হতে একই অঞ্চলে নিম্নতর অবস্থায় গমন করতে দেখান হয়েছে।

জোড়া সৃষ্টির সম্ভাব্যতা :

এই সম্ভাব্যতা নির্ণয়ের সূত্রটি খুব জটিল। তবে মাঝারি শক্তি অঞ্চল, $2m_0c^2 \ll h\nu \ll 137 m_0c^2 Z^{-1/3}$ এর জন্য “নিউক্লিয়াস প্রতি (প্রকারান্তরে, পরমাণু প্রতি) জোড়া সৃষ্টির প্রস্তুত্বে” নিম্নোক্তভাবে প্রকাশ করা যায় :

$$k = \frac{Z^2}{137} \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m_0 c^2} \right)^2 \left(\frac{28}{9} \ln \frac{2h\nu}{m_0 c^2} - \frac{218}{27} \right) \quad (৩৭)$$

পুর্বের মতই 'সেন্টিমিটার প্রতি শোষণের সহগ'

$$k = -\frac{\rho N}{A} \alpha k \quad (38)$$

৭-১০ সামগ্রিক গামা-রশ্মি শোষণের সহগ :

উপরে উল্লেখিত তিনি প্রকার শোষণ সহগের সমষ্টিকে 'সামগ্রিক শোষণের রৈখিক সহগ' (total linear coefficient of absorption) বলা হয়।

পরমাণু প্রতি মোট শোষণের সহগ,

$$\alpha^{\mu} = \alpha^{\tau} + \alpha^{\sigma} + \alpha k \quad (39)$$

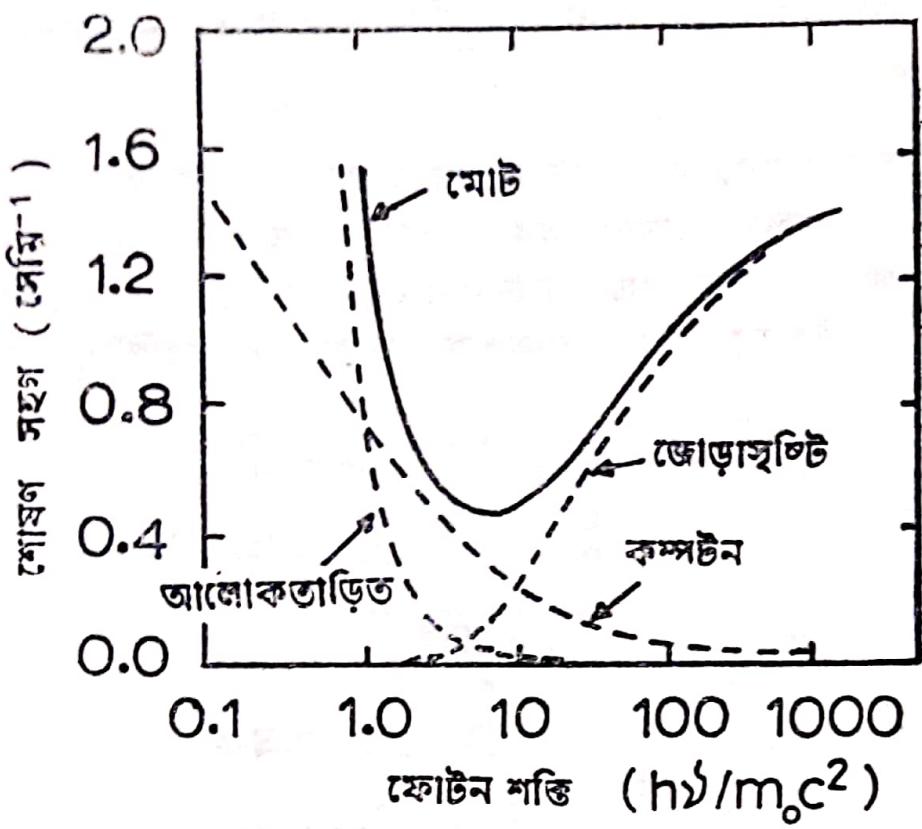
ভর শোষণের সহগ,

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{N}{a} (\alpha^{\tau} + \alpha^{\sigma} + \alpha k) \quad (40)$$

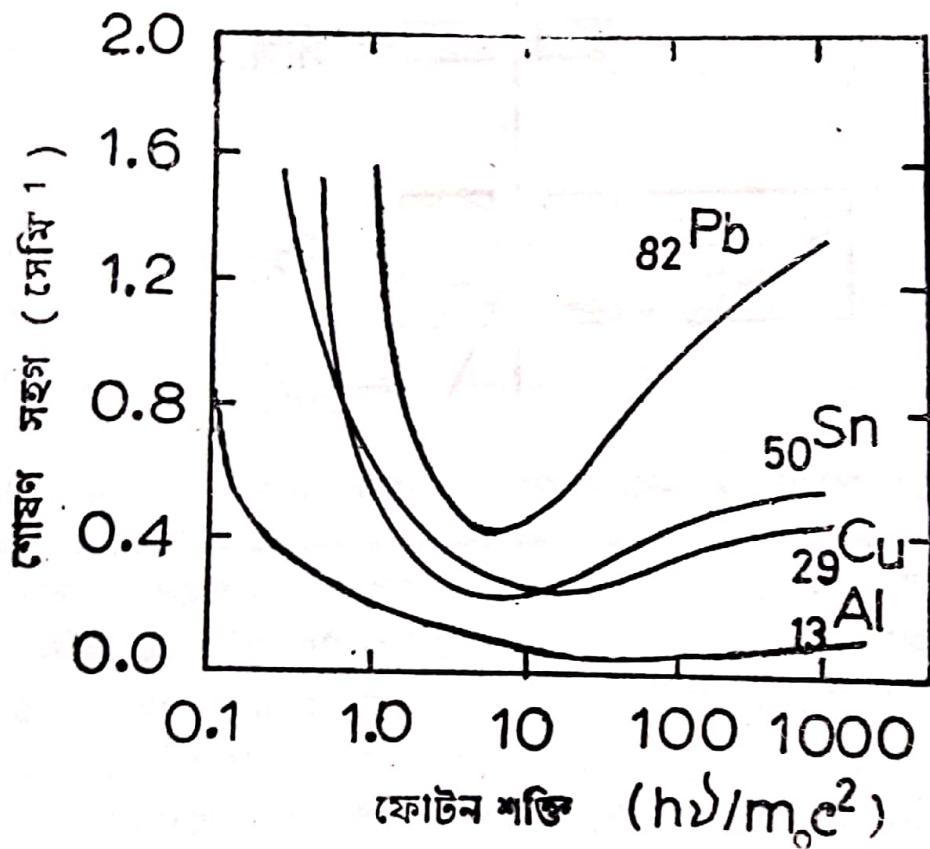
মোট শোষণের রৈখিক সহগ,

$$\mu = \frac{\rho N}{A} (\alpha^{\tau} + \alpha^{\sigma} + \alpha k) \quad (41)$$

৭-১৪ নং চিত্রে সীসা বা জেডের জন্য মোট এবং আংশিক শোষণ সহগের তত্ত্বাত্মক দেখানো হয়েছে। লেখচিত্রগুলি হতে গামা শোষণের সাধারণ বৈশিষ্ট্যগুলি সুস্পষ্ট। খুব অল্প শক্তিতে আলোকতাত্ত্বিক শোষণের প্রাধান্য রয়েছে, কিন্তু শক্তি রুদ্ধির সাথে সাথে তা' প্রতি কমে গেছে। এই শোষণ হ্রাস পাওয়ার সাথে সাথে কম্পটন প্রক্রিয়ার গুরুত্ব রুদ্ধি পেতে থাকে, এবং প্রায় 0.5 এমইভিতে প্রক্রিয়া দুটির হার সমান হয়ে যায়। 1 এমইভিতে কিছু কম শক্তিতে শোষণের প্রায় পুরোটা কম্পটন পদ্ধতিতে হয়। জোড়া-সৃষ্টি শুরু হয় প্রায় 1 এমইভিতে শক্তি হতে এবং শক্তি রুদ্ধির সাথে সাথে অন্য প্রক্রিয়া দুটির সম্ভাবনা কমে যায়। উচ্চ শক্তিতে শোষণের প্রায় সম্পূর্ণটা জোড়া-সৃষ্টির মাধ্যমে হয়ে থাকে। লেখচিত্রের সাধারণ বৈশিষ্ট্য বিভিন্ন মৌলিক পদার্থের জন্য একই রকম হলেও কোন প্রক্রিয়া কর শক্তিতে বেশী কার্যকরী তা' বিভিন্ন রকম। ৭-১৫ নং চিত্রে এলুমিনিয়াম, তামা, টিন ও সীসার জন্য শক্তি রুদ্ধির সাথে শোষণ সহগের পরিবর্তন দেখানো হয়েছে।



চিত্র ৭-১৪ : সীসার জন্য মোট ও আংশিক শোষণ সহগ।



চিত্র ৭-১৫ : এলুমিনিয়াম, তামা, টিন ও সীসার জন্য মোট শোষণের সহগ।

৭.১১ পরীক্ষালক্ষ ফলাফল ও তত্ত্বাত্মক ফলের তুলনা :

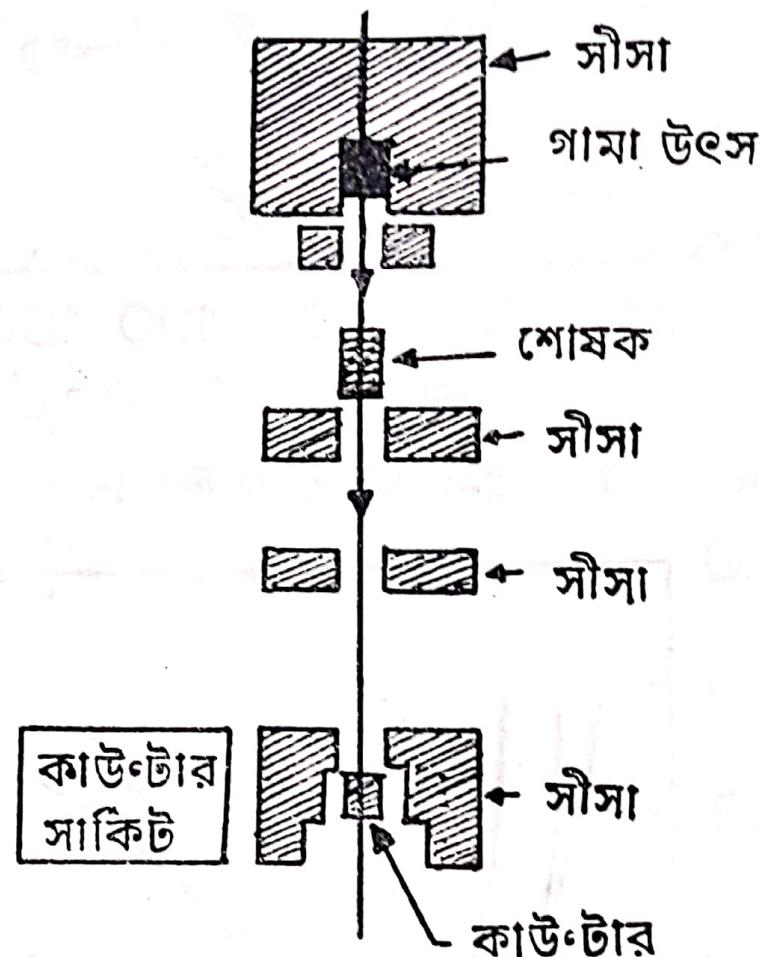
শোষণের পরীক্ষার জন্য কতকগুলি ব্যবস্থাপনার প্রয়োজন হয়। যেমন-

- (১) গামা রশ্মির একই ধরনের শক্তি,

(২) অক্ষীকৃত (collimated) রশ্মি এবং ক্ষুদ্র ঘন কোণ,

(৩) পাতলা শোষক।

৭-১৬ চিত্রে এ ধরনের একটি পরীক্ষার আয়োজন দেখান হয়েছে। সীসা পরিবেষ্টিত প্রকোষ্ঠে গামারশ্মির উৎস রক্ষিত। সীসাখণ্ডের সাহায্যে গামারশ্মিকে অক্ষীকরণের যথোপযুক্ত ব্যবস্থা করা হয়েছে। এছাড়া গামারশ্মির পর্যবেক্ষণের কাউন্টার সীসা-আবরক দ্বারা পরিবেষ্টিত যাতে বাইরের



চিত্র ৭-১৬ : সামগ্রিক γ -রশ্মি শোষণ-সহগ নির্ণয়-পরীক্ষার ব্যবস্থাপনা।

গামা কিংবা ইলেকট্রন রশ্মি এতে প্রবেশ করতে না পারে। অনুরূপ কারণে কাউন্টারও সীসা দ্বারা পরিবেষ্টিত। এই পরীক্ষায় গামা রশ্মি হতে শোষণ অথবা বিক্ষেপণের মাধ্যমে ফোটনের সংখ্যা কমে যায়। বিক্ষেপিত ফোটনগুলি রশ্মির আদিপথ থেকে বিচ্যুত হয় এবং কাউন্টারে পৌঁছে না। অতএব বিক্ষেপিত ফোটন শোষিত ফোটনের মতই রশ্মি হতে হারিয়ে যায়। শোষক ফলকের (slab) শোষণ বা বিক্ষেপণের সম্মিলিত প্রভাব রশ্মির তীব্রতা হ্রাসের পরিমাণের সাহায্যে মাপা যায়।

কার্বন হতে শুরু করে সীসা পর্যন্ত বহু সংখ্যক মৌলিক পদার্থ নিয়ে পরীক্ষা করে দেখা গেছে শোষণ সহগের তত্ত্বাত্মক মান পরীক্ষালব্ধ মানের সাথে সুস্রবর্ডাবে মেলে। ১নং সারণীতে কয়েকটি মৌলিক পদার্থে বিভিন্ন শক্তির

সারণী ১

পরীক্ষানব্ধ ও তত্ত্বায় শোষণ সহগ

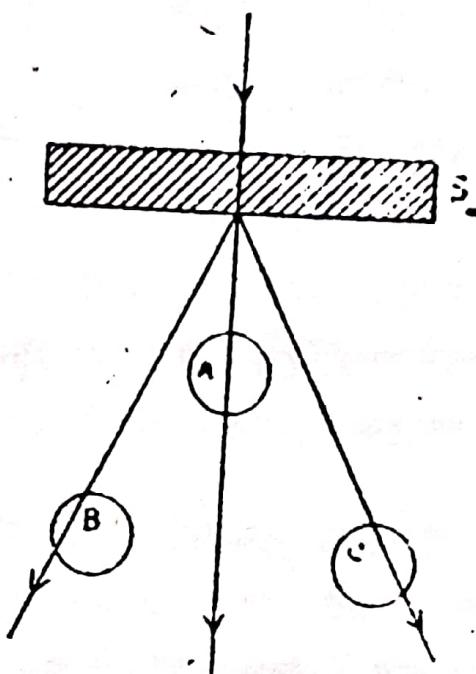
উৎস	শোষক	পরীক্ষানব্ধ শোষণ সহগ, $\mu \text{ সেমি}^{-1}$	তত্ত্বায় শোষণ সহগ, $\mu \text{ সেমি}^{-1}$
Mn^{54} (0.835 এমইভি)	Al	0.1823 \pm 0.0003	0.1820
	Cu	0.5782 \pm 0.0013	0.5718
	Sn	0.4683 \pm 0.0014	0.4628
	Ta	1.210 \pm 0.004	1.228
	Pb	0.9368 \pm 0.0041	0.9256
Zn^{65} (1.14 এমইভি)	Al	0.1571 \pm 0.0022	0.1559
	Cu	0.4832 \pm 0.0070	0.4914
	Sn	0.3923 \pm 0.0054	0.3858
	Ta	0.9127 \pm 0.0100	0.9536
	Pb	0.7068 \pm 0.0051	0.7057
Na^{24} (2.76 এমইভি)	Al	0.0956 \pm 0.0026	0.1001
	Cu	0.3164 \pm 0.0080	0.3273
	Sn	0.2668 \pm 0.0045	0.2692
	Ta	0.6433 \pm 0.0055	0.6467
	Pb	0.4776 \pm 0.0045	0.4644

গামারশিমির সামগ্রিক শোষণ সহগ দেখান হয়েছে। আংশিক শোষণ সহগ নিয়ে পরীক্ষণ অপেক্ষাকৃত কঠিন হলেও তা করা হয়েছে। স্বভাবতঃই অপেক্ষাকৃত কম মৌলিক পদার্থের জন্যই এধরনের পরীক্ষণ চালানো হয়েছে। এসব ক্ষেত্রেও পরীক্ষা ও তত্ত্বের মধ্যে ঘথেষ্ট মিল পরিলক্ষিত হয়েছে।

১১। নভোরশ্যুর বর্ষণ (Cosmic Ray Shower)

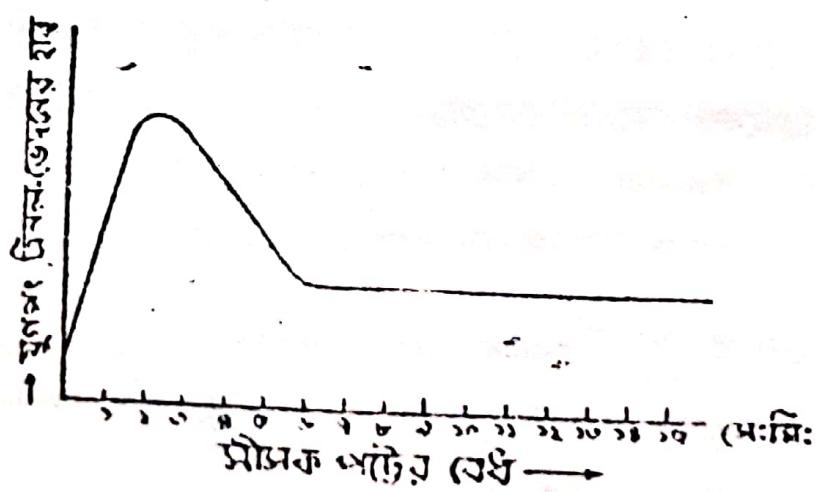
বহু পরীক্ষার মাধ্যমে প্রমাণিত হইল যে, নভোরশ্যুর অধিকাংশই তড়িৎবৃক্ষ বেগবান কণিকা। তাই জড়পদার্থের সহিত এটি রশ্যুর সংস্করের কলে কিছুপ পরিবর্তন ঘটিতে পারে সে সম্পর্কে বৈজ্ঞানিকরা গবেষণা শুরু করিলেন। প্রথমে রসি তিনাটি গাইগার-মূলার গণককে ত্রিলন-ভেদন-গণকক্রপে আনুভূমিক অবস্থার প্রস্পর সমান্তরালভাবে স্থাপন করিয়া ব্যবহার করেন। নিম্নে ১৫৯ সংখ্যক চিত্রে ব্যবস্থাটি দেখান হইয়াছে।

এই ব্যবস্থায় তিনটি পৃথক তড়িৎযুক্ত কণিকা তিনটি গণক-গন A, B ও C-কে যুগপৎ ভেদ না করিলে যন্ত্রে কোনপ্রকার ক্রিয়া হইবে না। ইহার সাহায্যে রসি লক্ষ্য করেন, প্রথমতঃ, গণক-গনগুলির উপর কোন আবরক না থাকিলে যুগপৎ



চিত্র—১৫৯: রসির যুগপৎ ত্রিনল-ভেদন গণক যন্ত্র

ত্রিনল ভেদনের হার খুব অন্ত হয়, কিন্তু উপরে S চিহ্নিত সীসকপট স্থাপন করিলে উক্ত হার অনেক বৃদ্ধি পায়। পটের বেধ ক্রমশঃ বৰ্ধিত করিলে এই হারও ক্রমশঃ বৃদ্ধিপ্রাপ্ত হয়। ১.৫ হইতে ২ সেন্টিমিটার বেধের মধ্যে ত্রিনল-ভেদনের হার সর্বোচ্চ মানে উন্নীত হয়। ইহার পর বেধ আরও বৰ্ধিত করিলে ঐ হার কনিতে থাকে এবং ৪ হইতে ৬ সেন্টিমিটারের মধ্যে উহা সর্বোচ্চ লক্ষিত হারের



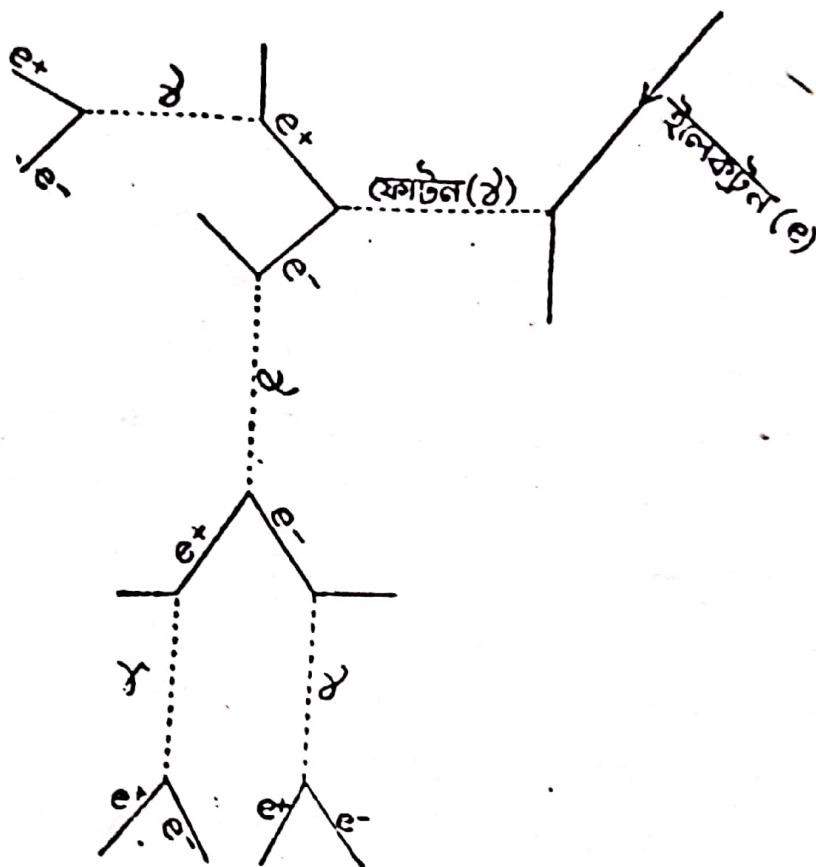
চিত্র—১৬০: বিডিয় বেধবিশিষ্ট সীসকপটে যুগপৎ কণি ক্ষাত্রের উৎপাদনের হার থায় অর্ধেক হইয়া থায়। ইহার পর বেধ বৰ্ধিত করিলেও যুগপৎ ভেদনহার প্রায় অপরিবর্তিত থাকে। সীসকপটের বিডিয় বেধের সহিত যুগপৎ ত্রিনল ভেদনের হার পরিবর্তন ১৬০ সংখ্যক চিত্রে দশিত হইয়াছে।

এইরূপ লক্ষ্য করিয়া রসি সিদ্ধান্ত করেন যে, আবরক তেদনের সময়ে অতি-
ভেদী রশ্মি কোন গীসক পরমাণুর সহিত সংঘর্ষের ফলে তিনটি বা ততোধিক
বেগবান তড়িৎ্যুক্ত কণিকার স্থষ্টি করে। এই নবম্বৃট কণিকাগুলি বিভিন্ন দিকে
ধাবিত হওয়ার ফলে তাহাদের দ্বারা গণক-গল তিনটিতে যুগপৎ তেদন ঘটিয়া
থাকে। এইরূপে উৎপন্ন ট্রাইবিক ড্রতগামী কণিকার সমষ্টিকে ‘নভোরশ্মি বর্ষণ’
(Cosmic Ray Shower) বলা হয়।

কিন্তব্বে এই প্রকার বর্ষণের স্থষ্টি হয় সে সম্বন্ধে ভারতীয় বিজ্ঞানী ভাবা (H. G. Bhabha) ও ইংরাজ বিজ্ঞানী হাইটলার (Heitler) এক তত্ত্ব প্রদান
করিয়াছেন। তাহাদের তত্ত্বাটি আইনস্টাইনের একটি মূল্যবান তত্ত্বের উপর ভিত্তি
করিয়া গঠিত। আইনস্টাইন তাহার আপেক্ষিকবাদে শক্তি ও জড়পদার্থের মধ্যে
স্বাতন্ত্র্য বিলোপ করিয়াছেন। তাই জড়পদার্থ ও শক্তি পরম্পর রূপান্তরিত হইতে
পারে। যদি নির্দিষ্ট ভরের পদার্থ শক্তি বা বিকিরণে রূপান্তরিত হয় তাহা হইলে
বিকিরণশক্তির পরিমাণ আলোকের বেগের বর্গফলের সহিত ঐ ভরের গুণফলের
সমান হইবে ($E=mc^2$)। এই নিয়মে একটি ইলেকট্রনের সমুদয় ভর বিকিরণে
পরিণত হইলে ঐ শক্তি প্রায় ৫ লক্ষ ইলেকট্রন ভোল্ট হইবে। অনুরূপভাবে
প্রায় ১০ লক্ষ ইলেকট্রন ভোল্ট বা ততোধিক শক্তির বিকিরণ পদার্থে পরিণত
হইলে একটি ইলেকট্রন ও একটি পজিট্রন উৎপন্ন হইতে পারে। ভাবা ও
হাইটলার পরিকল্পনা করেন যে, নভোরশ্মির মধ্যে যেগুলি ড্রতগামী ইলেকট্রনের
সমষ্টি তাহাদের সহিত জড়পদার্থের সংঘর্ষ হইলে প্রত্যেকটি ইলেকট্রন প্রথমে
বিকিরণে পরিণত হয় এবং বিকিরণ (ফোটন) তড়িৎ নিরপেক্ষ হওয়ার জন্য উহা
হইতে যুগপৎ একটি ইলেকট্রন ও পজিট্রন উৎপন্ন হয় ($\gamma \rightarrow e^+ + e^-$)। বিকিরণ
হইতে উৎপন্ন এই ইলেকট্রন ও পজিট্রন পদার্থ তেদনকালে পুনরায় প্রত্যেকে
বিকিরণে পরিণত হয় এবং সেই নবম্বৃট বিকিরণ হইতে পুনরায় ইলেকট্রন-
পজিট্রন বুঝোর স্থষ্টি হয়। এই প্রণালীতে উচ্চ শক্তিবিশিষ্ট একটি ইলেকট্রন
হইতে বহু সংখ্যক ইলেকট্রন ও পজিট্রনের স্থষ্টি হইতে পারে। ১৬১ সংখ্যক
চিত্রে এই প্রণালীতে নভোরশ্মির ক্রিপ্ত সংখ্যা বৃদ্ধি ঘটিয়া থাকে তাহা বলিত
হইয়াছে।

এই প্রক্রিয়াকে নভোরশ্মির ‘প্রপাত-বর্ষণ’ (Cascade Shower) বলা হয়।
নেষ্ঠ-কক্ষে নভোরশ্মির এই প্রপাত-বর্ষণের বহু আলোকচিত্র ধৃহণ করা হইয়াছে।
ঐ সমস্ত আলোকচিত্র হইতে প্রমাণিত হয় যে, নভোরশ্মির এই প্রকার বর্ষণে
ইলেকট্রন ও পজিট্রনের স্থষ্টি হইয়া থাকে।

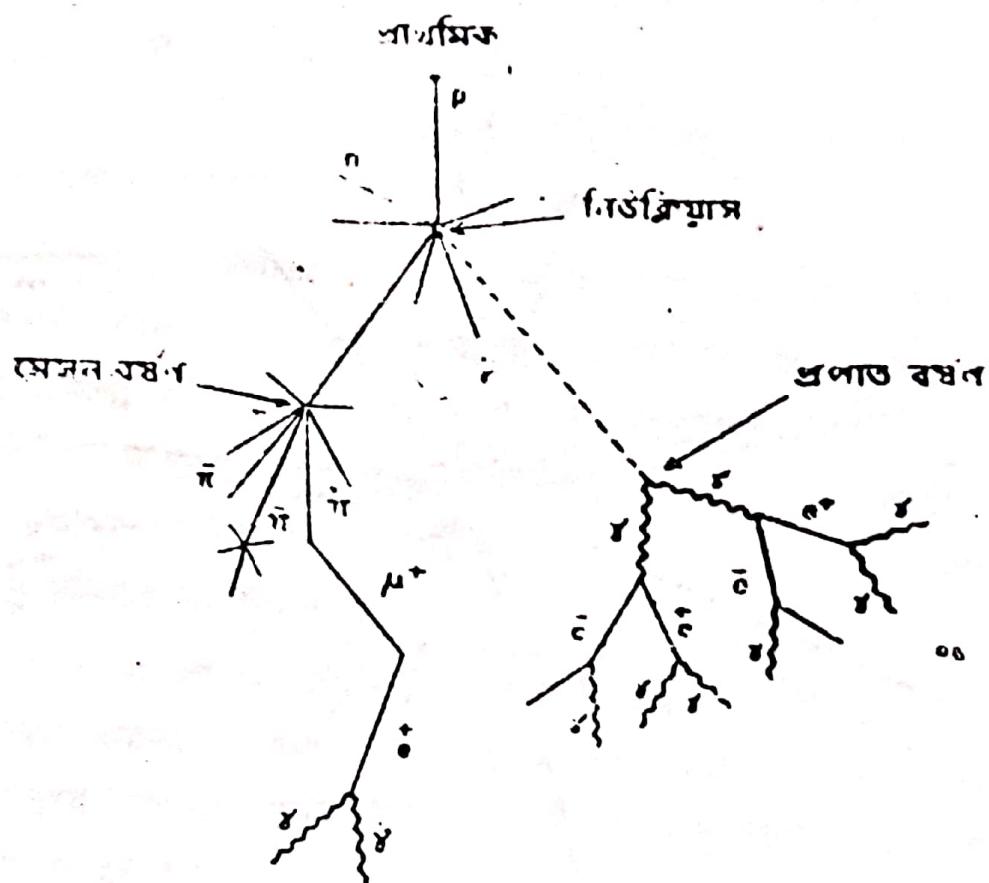
প্রপাত-বর্ষণ ছাড়াও নভোরশ্পির আরও কয়েক প্রকার বর্ষণ পরিলক্ষিত হয় । ফরাসী বৈজ্ঞানিক অজে (Auger) ১৯৩৮ খ্রীস্টাব্দে প্রথম লক্ষ্য করেন যে, কোন কোন প্রপাত-বর্ষণ বহুদূর পর্যন্ত বারংবার ঘটে এবং প্রত্যেকবার অসংখ্য ইলেকট্রন ও



চিত্র—১৬১ : নভোরশ্পির বর্ষণ প্রণালী

পজিট্রন উৎপন্ন হয়। যদি দুইটি মেষ-কক্ষের একটিকে অপরাটির অন্তরালে কিছুদূরে স্থাপন করা হয় এবং করেকটি গণক-নল দ্বারা উহাদিগকে এইরূপভাবে ক্রিয়াশীল করা যায় যে, যখনই উভয় মেষকক্ষে যুগপৎ ইলেকট্রন অথবা পজিট্রন প্রবেশ করিবে তৎক্ষণাত উভয় মেষ-কক্ষেই মেষ উৎপন্ন হইবে ও তাহার আলোকচিত্র অসংখ্যভাবে গৃহীত হইবে, তাহা হইলে এইরূপে গৃহীত আলোকচিত্রে অনেক সময় উভয় মেষকক্ষেই বহু সংখ্যক ইলেকট্রন ও পজিট্রনের গমনপথের চিহ্ন দেখা যায়। উভয় কক্ষে যুগপৎ প্রবিষ্ট এই ইলেকট্রন ও পজিট্রনগুলি মেষ-কক্ষের বহিঃস্ব বায়ুতে উৎপন্ন বিরাট বর্ষণের অংশমাত্র। বায়ুতে উৎপন্ন বিরাট এই বর্ষণকে বলা হয় ‘বিস্তীর্ণ বায়ুবর্ষণ’ (Extensive Air Shower)। এই বর্ষণ প্রায় ৩০০ মিটার পর্যন্ত বিস্তৃত হয় এবং উৎপন্ন কণিকার সংখ্যা ঘনকেরও অধিক হইয়া থাকে।

আবাব কতকগুলি বর্ষণে 'মেসন'-কণিকার সঙ্গান পাওয়া গিয়াছে। বর্ষণের আলোকচিত্র গ্রহণ করিয়া দেখা গিয়াছে যে, ইলেকট্রন ও পজিট্রন ছাড়াও মেসন-কণিকা উৎপন্ন হয়। বর্ষণে উৎপন্ন মেসন-কণিকা সংখ্যায় খুব বেশী হয় না;

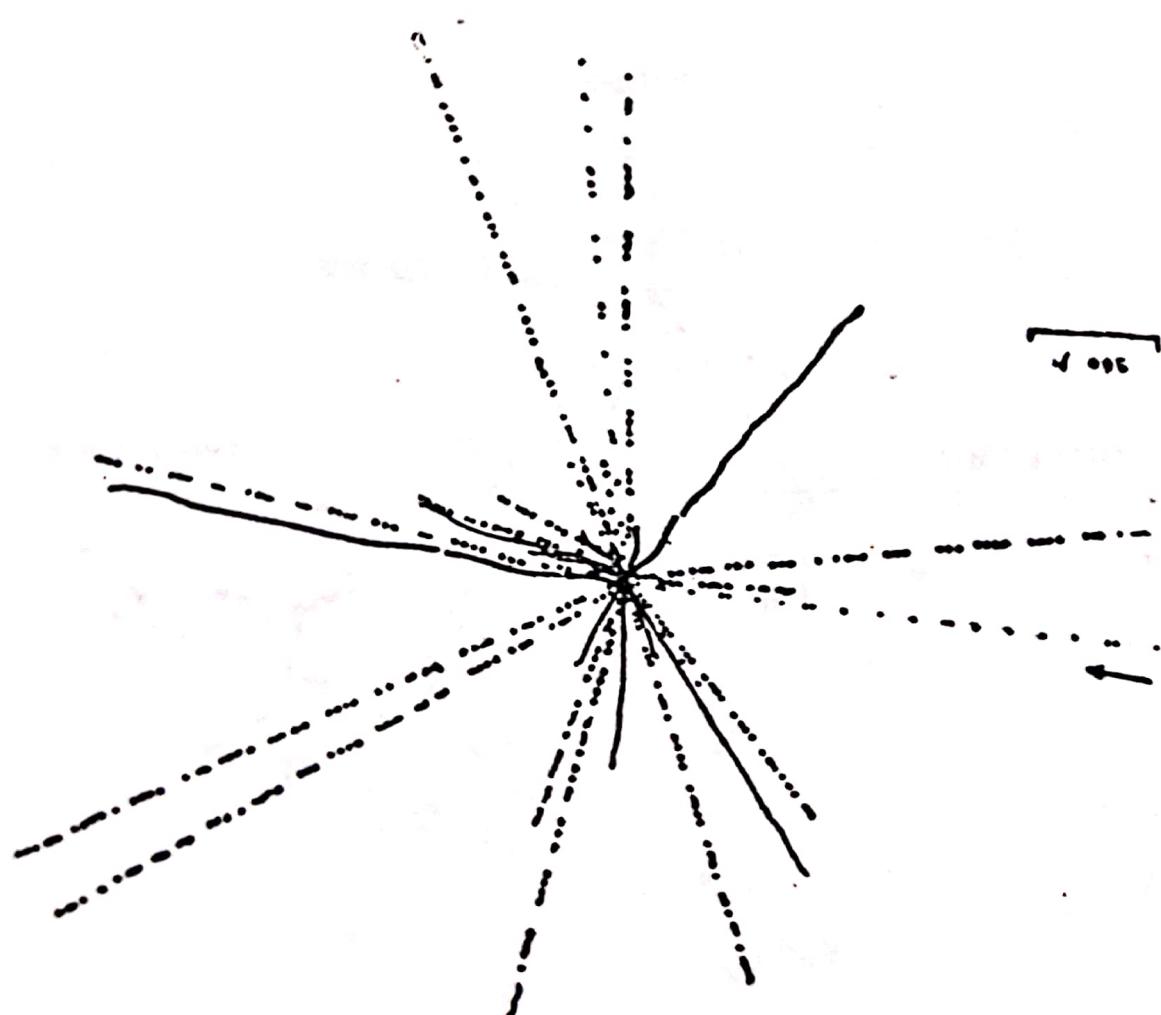


চিত্র—১৬২ : মেসন ও প্রপাত-বর্ষণ

দুই হইতে সাতটি পর্যন্ত হইয়া থাকে। ড্রতগামী প্রোটন অথবা নিউট্রন পদার্থ ভেদনকালে উপর্যুপরি কয়েকটি মেসন উৎপন্ন করিয়া এই 'মেসন বর্ষণের' স্ফটি করে (চিত্রসংখ্যা ১৬২)।

কতকগুলি বর্ষণে দেখা গিয়াছে যে, জড়পদার্থের প্রায় একটি বিলু হইতে যুগপৎ বহু সংখ্যক মেসন ও ইলেকট্রন উৎপন্ন হইয়া চতুর্দিকে ছিটকাইয়া পড়ে। মেষ-কক্ষে এই প্রকার বিশেষাবলৈর বহু আলোকচিত্র গ্রহণ করা হইয়াছে। প্রপাত-বর্ষণে উৎপন্ন ইলেকট্রন ও পজিট্রনগুলি বর্ষণেৰ্পাদক ইলেকট্রন যে অভিন্নত্বে দ্বাবমান হয় তাহার বিপরীত দিকে ধাবিত হয় না। কিন্তু কক্ষগুলি বর্ষণের আলোকচিত্র লইয়া দেখা গিয়াছে যে সৌমক্ষণ্যের উপরের দিক হইতে আগত রশ্মি দ্বারা উৎপন্ন বর্ষণের মধ্যে কক্ষগুলি কণিকা সৌমক্ষণ্যের উপরের দিকেও ধাবিত হয়। ইহাকে 'নভোরশ্মি বিশেষাবলৈ' (Cosmic Ray Explosion)

বলা হয় (চিত্রঃ ১৬৩)। অড়পদার্থের পরমাণুর সহিত ক্রতগামী নভোরশ্মি-কণিকার সংঘর্ষের ফলে পরমাণুর নিউক্লিয়াসট বিভাজিত হইয়া এই থকার বিস্ফোরণের স্থষ্টি করে।

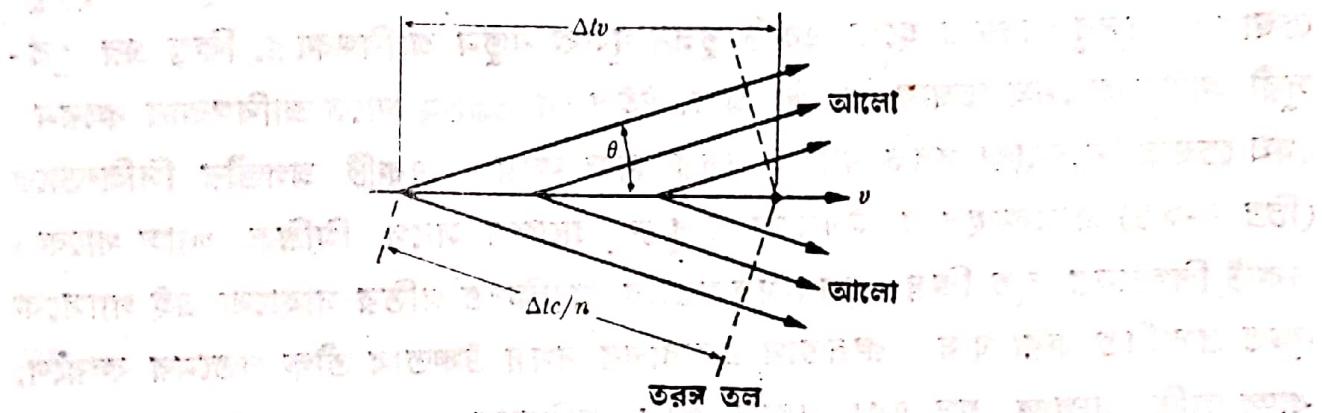


চিত্র—১৬৩: নভোরশ্মি-বিফোরণ

৭-১০ উচ্চশক্তি বিকিরণের জন্য বিশেষ ডিটেকটর

উদ্ঘাটন সমস্যার আলোকে অবশ্য নিম্নশক্তি বিকিরণ এবং উচ্চশক্তি বিকিরণের মধ্যে কোন মৌলিক পার্থক্য নেই। উপরে বর্ণিত অধিকাংশ কৌশলই

উচ্চশক্তিতে প্রয়োগ করা হয় অর্থাৎ মৌল কণিকা গবেষণা এবং নভোরশ্মি গবেষণায়। অবশ্য উচ্চশক্তি গবেষণার জন্য অল্প কয়েকটি উদ্ঘাটন কৌশল উত্তোলন করা হয়েছে, যেহেতু আমরা ঐ শুলো মৌল কণিকার অধ্যায়ে কেবলতে চাই, এগুলোকে এখানে সংক্ষেপে আলোচনা করব।



চিত্র ৭-২৫ : v বেগে চলমান একটি কণিকার গমনপথ বরাবর পোলারায়িত পরমাণু থেকে চ্যারেনকভ বিকিরণের নিঃসরণ। হাইগেন নীতি দ্বারা তরঙ্গ মুখের নির্ধান।

(ক) চ্যারেনকভ কাউন্টার কোন স্বচ্ছ কঠিন বা তরল পদার্থে আলোর বেগ হচ্ছে $v = \frac{c}{n}$, এখানে n হচ্ছে প্রতিসরণাংক। যদি কোন আহিত কণিকা এই মাধ্যমের মধ্য দিয়ে v রেগে চলে অর্থাৎ ঐ মাধ্যমে আলোর যে বেগ তার চেয়ে বেশী বেগে চলে, তাহলে পাঞ্চবিংশ আহিত কণিকা দ্বারা ক্ষণেকের জন্য তড়িৎ-গতভাবে পোলারায়িত পরমাণু থেকে আলো নিঃস্ত হয়। এটি এমন একটি পদ্ধতি, যেখানে পরমাণুর তড়িৎ ক্ষেত্রের বিচলন একটি অস্থায়ী দ্বিপোল মোমেন্ট উৎপন্ন করে যা পরে তাড়িত চৌম্বক তরঙ্গ নিঃসৃত করে। যখন বেগ $v = \frac{c}{n}$ অতিক্রম করে শুধু তখনই এই জাতীয় আলো নিঃসৃত হওয়ার কারণ হচ্ছে একমাত্র এই ক্ষেত্রেই গমনপথ বরাবর সকল পরমাণু থেকে আলো সংস্ত হতে পারে।

৭-২৫ চিত্র দেখাচ্ছে কণিকার পথ বরাবর বিভিন্ন বিলু থেকে নিঃসৃত মৌল তরঙ্গ থেকে হাইগেন নীতির ব্যবহার দ্বারা তরঙ্গ মুখ তৈরী করা যায়। কোন প্রদত্ত বেগ v এর জন্য θ কোণসহ আলো শঁকুতে নিঃসৃত হয়। $\cos \theta = \frac{c}{nv}$ থেকে কোণ θ পাওয়া যায়।

চ্যারেনকভ বিকিরণের একটি বেশ বড় আয়তনের অংশ বর্ণালীর দৃশ্যমান অংশে প্রদত্ত হয়, যা সম্মুক্ষিত ফটোগুণিতক নমের উচ্চতম সুবেদিতা এলাকা অনুষঙ্গ করে। বিভিন্ন প্রকারের চ্যারেনকভ ডিটেক্টর নিয়িত হয়েছে, যেগুলোতে শুধু একটি বিশেষ অভিমুখে নিঃসৃত আলো রেকর্ড করা হয়। ডিটেক্টরটি

তাহলে একটি বেগ-সুবেদী কৌশল। স্পষ্টতঃ এটি শুধু $\frac{v}{c} > \frac{1}{n}$
কণিকার জন্য ব্যবহার করা যেতে পারে।

৩.১০ সেরেনকভ বিকিরণ

Cherenkov radiation

সেরেনকভ বিকিরণ হলো, কোন অচ্ছ মাধ্যমের গতের দিয়ে আলোর চেয়ে বেশি গতিতে চলমান উচ্চশক্তি চার্জযুক্ত কণিকার বীম ঘারা নিঃসৃত ভঙ্গিত টোকোয়িয় বিকিরণ। সেরেনকভ কাউন্টার বা ডিটেক্টরে সেরেনকভ বিকিরণ ব্যবহৃত হয়।

সর্বপ্রথম ১৯৩৪ সালে সেরেনকভ পানিতে একটি তেজক্রিয় পরীক্ষার প্রস্তুতির সময় চারপাশে একটি বিবর্ণ নীল আলো দেখেন। এই নীল আভা কোন ফুরোসেন্ট ঘটনা নয় মর্মে সেরেনকভ নিশ্চিত হন। সোভিয়েত পদার্থবিজ্ঞানী পা঵েল সেরেনকভ (Pavel Cherenkov 1904-1990) লেবেডেভ ইনসিটিউটে সেগেই ভ্যাভিলভের (Sergey Vavilov) তত্ত্বাবধানে এটি আবিষ্কার করেন। প্রাথমিকভাবে এটি ভ্যাভিলভ-সেরেনকভ (Vavilov-Cherenkov) রেডিয়েশন নামে পরিচিতি লাভ করলেও সেরেনকভের নামেই এর নামকরণ হয়েছিল। তার এই আবিষ্কারের স্মৃকৃতি হিসেবে ১৯৫৮ সালে পদার্থবিদ্যায় নোবেল পুরস্কারে ভূষিত হন।



Pavel Cherenkov
(1904-1990)

সেরেনকভ বিকিরণের ব্যবহার (Uses of Cherenkov radiation) :

১. লেবেলযুক্ত অণুজীব সনাক্তকরণ (Detection of labelled biomolecules);
২. রেডিওআইসোটোপ মেডিকেল ইমেজিং এবং বহিঃ রশ্মি রেডিওথেরাপি (Medical imaging of radioisotopes and external beam radiotherapy);
৩. পারমাণবিক চুল্লি (Nuclear reactors);
৪. জ্যোতির্বিজ্ঞান গবেষণা (Astrophysics experiments) এবং
৫. কণা পদার্থবিদ্যা গবেষণা (Particle physics experiments)।

নিম্নে বিস্তারিত আলোচনা করা হলো।

১। লেবেলযুক্ত অণুজীব সনাক্তকরণ (Detection of labelled biomolecules) :

সেরেনকভ বিকিরণটি অণুজীব সনাক্তকরণের সুবিধার্থে ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হয়। ফসফরাস -৩২ এর মতো তেজক্রিয় পরমাণুগুলো অণুজীবগুলোকে এনজাইমেটিক এবং সিছেটিক উপায়ে সহজেই ক্লপান্তরিত করে জৈবিক

পথগুলি সুস্পষ্ট করে। এতে অণুজীবের সাথে মিথক্রিয়ার ফলে তাদের সম্পন্ন এবং বিযুক্তির হার নির্ণয় ও সনাক্তকরণের মাধ্যমে খুব সহজেই লেবেলিং করা যায়।

২। রেডিওআইসোটোপস মেডিকেল ইমেজিং এবং রেডিওথেরাপি (Medical imaging of radioisotopes and radiotherapy) :

সাম্প্রতিককালে সেরেনকভ বিকিরণ শরীরের অভ্যন্তরীণ পদার্থের চিত্র (Medical imaging) প্রদর্শনে ব্যবহৃত হচ্ছে। এই আলোক সংকেত অনকোলজিতে ব্যবহার করার কারণে চিকিৎসাবিজ্ঞানে ব্যাপক উন্নতি সাধিত হয়েছে। শরীরের অভ্যন্তরে ইনজেকশন রেডিওফার্মাটিক্যালসের মতো বা বহিঃ রশ্মি রেডিওথেরাপি (external beam radiotherapy) থেকে শরীরে বিকিরণ নির্ণয় এবং সনাক্ত করতে সেরেনকভ লাইটের প্রতি প্রচল্প আগ্রহের সৃষ্টি করেছে। রেডিওআইসোটোপ (Radioisotope) যেমন-পজিট্রন নিঃসরণ 18 এফ এবং 13 এন (the positron emitters 18F and 13N) বা বিটা নিঃসরণ 32P বা ৯০Y (beta emitters 32P or 90Y) এর পরিমাপযোগ্য চেরেনকভ নির্গমন এবং আইসোটোপস 18 এফ এবং 13 এন মানুষের অনকোলজি চিকিৎসায় ব্যবহৃত হচ্ছে। বাহ্যিক রশ্মি বিকিরণ থেরাপিটি ৬ মেগা থেকে ১৮ মেগা রেঞ্জের ক্ষেত্রে ব্যবহৃত ফোটন রশ্মি শক্তির স্তরের কারণে চিকিৎসা করা টিসুগুলিতে প্রচুর পরিমাণে সেরেনকভ আলো নিঃসরণ করে দেখানো হয়েছে। এই উচ্চ শক্তির এক্স-রে দ্বারা প্রেরিত মাধ্যমিক ইলেক্ট্রনগুলির ফলে সেরেনকভ আলোর নির্গমন ঘটে, যেখানে সনাক্ত করা সংকেত টিসুর ভিতর ও বাহির পৃষ্ঠের উপর চিত্রিত(imaged) করা যেতে পারে।

৩। পারমাণবিক চুল্লি (Nuclear reactors) :

সেরেনকভ রেডিয়েশন উচ্চ-শক্তিযুক্ত চার্জিত কণা সনাক্ত করতে ব্যবহৃত হয়। পুল ধরণের পারমাণবিক চুল্লিগুলিতে বিটা কণা (high energy electrons) ফিশন ক্ষয় হিসাবে নিঃসরিত হয়। চেইন বিক্রিয়া বন্ধ হওয়ার পরে আভা অব্যাহত থাকে, স্বল্প-জীবনকালীন পণ্য ক্ষয় হওয়ার সাথে সাথে স্নান হয়ে যায়। একইভাবে, সেরেনকভ রেডিয়েশন ব্যয় করা জ্বালানী রডগুলির অবশিষ্ট তেজক্রিয়তার বৈশিষ্ট্য চিহ্নিত করতে পারে। এই ঘটনাটি পারমাণবিক সুরক্ষার উদ্দেশ্যে ব্যয় করা জ্বালানী পুলগুলিতে ব্যয়িত পারমাণবিক জ্বালানীর উপস্থিতি যাচাই করতে ব্যবহৃত হয়।

৪। জ্যোতির্বিজ্ঞানের গবেষণা (Astrophysics experiments) :

যখন একটি উচ্চ-শক্তি (TeV) গামা ফোটন বা মহাজাগতিক রশ্মি পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলের সাথে মিথক্রিয়া করে, তখন এটি প্রাচুর বেগ সহ একটি ইলেক্ট্রন-পজিট্রন জোড়া তৈরি করতে পারে। এই চার্জযুক্ত কণা দ্বারা বায়ুমণ্ডলে নির্গত চেরেনকোভ বিকিরণটি মহাজাগতিক রশ্মি বা গামা রশ্মির দিক এবং শক্তি নির্ধারণ করতে ব্যবহৃত হয়, যা উদাহরণস্বরূপ VERITAS, H.E.S.S., MAGIC, ইত্যাদি পরীক্ষার মাধ্যমে Imaging Atmospheric Cherenkov Technique (IACT) ব্যবহার করা হয়। পৃথিবীতে পৌঁছানো সেই চার্জযুক্ত কণা দ্বারা জলে ভরা ট্যাকে নির্গত সেরেনকভ বিকিরণ এক্সটেন্সিভ বায়ু ঝরনা (air showers) পরীক্ষা HAWC, পিয়ের ওজে অবজারভেটরি (the Pierre Auger Observatory) এবং অন্যান্য প্রকল্পগুলিতে একই লক্ষ্যে ব্যবহৃত হয়। সুপার-কমিউকান্ডে (the Super-Kamiokande), সুদ্ধুরি নিউট্রিনো অবজারভেটরি (the Sudbury Neutrino

Observatory -SNO) এবং আইসকিউবের মতো খুব বড় নিউট্রিনো ডিটেক্টরগুলিতে অনুরূপ পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়। নিউ মেল্লিকোতে অবস্থিত একটি প্রাক্তন সৌর টাওয়ারে একটি নন-ইমেজিং সেরেনকভ অবজারভেটরি হিসাবে কাজ করার জন্য নতুন সংস্কার করা হয়েছিল। অ্যাস্ট্রোফিজিক অবজারভেটরিগুলি অতি উচ্চ শক্তি গামা রশ্মি যেমন সুপারনোভা রিম্যান্ট এবং ব্রেজার নির্গত করে এমন জ্যোতির্বিজ্ঞানের বস্তুগুলির বৈশিষ্ট্য নির্ধারণে বায়ু ঝরনা (air showers) পরিমাপ করতে সেরেনকভ কৌশল ব্যবহার করে।

৫। কণা পদার্থবিদ্যা গবেষণা (Particle physics experiments) :

সেরেনকভ রেডিয়েশন সাধারণত কণা সনাক্তকরণের জন্য পরীক্ষামূলক কণা পদার্থবিজ্ঞানে ব্যবহৃত হয়। সেরেনকভ লাইটের বৈশিষ্ট্য দ্বারা বৈদ্যুতিক চার্জযুক্ত প্রাথমিক কণার বেগটি কোনও নির্দিষ্ট মাধ্যমে প্রকাশ করতে পারে (কেউ তার সীমাবদ্ধতা রাখতে পারে) কণার গতিবেগ স্বতন্ত্রভাবে পরিমাপ করা হয়, কেউ তার গতি এবং গতিবেগ দ্বারা কণার ভর গণনা করতে পারে এবং তাই কণা সনাক্ত। সহজ ধরণের কণা সনাক্তকরণের জন্য সেরেনকভ রেডিয়েশন প্রযুক্তির উপর ভিত্তি করে সূচনশক্তি কাউন্টার (threshold counter) ডিভাইস কাজ করে। যা কোনও চার্জযুক্ত কণার গতিবেগ নির্দিষ্ট মানের চেয়ে কম বা বেশী কিনা অথবা কণাটি নির্দিষ্ট মাধ্যমের মধ্যে সেরেনকভের আলো নিঃসৃত করে কিনা তা পর্যবেক্ষণের মাধ্যমে কণার গতিবেগ জেনে নির্দিষ্ট প্রাপ্তিকের কণাকে আলাদা করতে পারে।

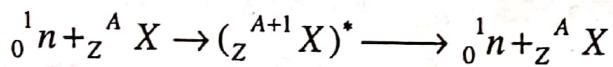
৩.৫ নিউক্লিয়াসের সাথে নিউট্রনের মিথক্রিয়া

Interactions of neutrons with nuclei

মূলত পরমাণুর সাথে কীভাবে নিউট্রন সংঘর্ষ করে তার উপরে নির্ভর করে নিউট্রনের সংঘর্ষের প্রকৃতি বিবেচনা করা অতীব প্রয়োজনীয়। একটি নিউট্রন বিভিন্ন উপায়ে নিউক্লিয়াইর সাথে সংঘর্ষ ঘটাতে পারে। নিউক্লিয়াসের সাথে নিউট্রনের সংঘর্ষকে বা মিথক্রিয়াকে নিউট্রন বিক্রিয়া বলে। প্রধানত নিউট্রন বিক্রিয়া (বা সংঘর্ষের ধরন) দু'ধরনের। যথা : বিক্ষেপণ ও শোষণ।

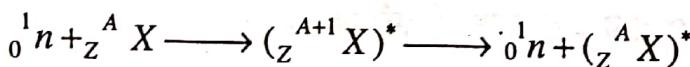
বিক্ষেপণ আবার দু'ধরনের। যথা :

(১) স্থিতিস্থাপক বিক্ষেপণ : সংঘর্ষের পর নিউক্লিয়াসটি তার আইসোটোপিক গঠন বা আন্তঃশক্তি অপরিবর্তিত রাখতে পারে যাকে বলে স্থিতিস্থাপক বিক্ষেপণ। স্থিতিস্থাপক বিক্রিয়ায় নিউক্লিয়াস কর্তৃক নিউট্রন শোষণের ফলে $A+1$ ভর সংখ্যা বিশিষ্ট জটিল নিউক্লিয়াস গঠিত হয়, যা পরে নিউট্রন বিকিরণ করে। কিন্তু চূড়ান্ত নিউক্লিয়াস আদি অবস্থায় ফিরে আসে-



একে অনুনাদ স্থিতিস্থাপক বিক্ষেপণ বলা হয়। একে স্থিতিস্থাপক (n, n) বিক্রিয়া বলে।

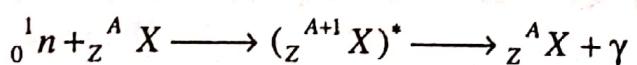
(২) অস্থিতিস্থাপক বিক্ষেপণ : সংঘর্ষের পর নিউক্লিয়াসটি তার গঠন অপরিবর্তিত রাখতে পারে কিন্তু উভেজিত হতে পারে একে বলে অস্থিতিস্থাপক বিক্ষেপণ। এক্ষেত্রে টার্গেট কর্তৃক নিউট্রন শোষণের পর নিউক্লিয়াসটি উভেজিত হয় এবং পরে ধীরগতির নিউট্রন নির্গত করে। অন্যকথায় আপত্তিত নিউট্রনের গতিশক্তির সমস্ত বা কিছুটা টার্গেট নিউক্লিয়াসের উভেজনা শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। অস্থিতিস্থাপক বিক্রিয়ায় নিউক্লিয়াস কর্তৃক নিউট্রন শোষণের ফলে $A+1$ ভর সংখ্যা বিশিষ্ট জটিল নিউক্লিয়াস গঠিত হয়, যা পরে নিউট্রন বিকিরণ করে। কিন্তু চূড়ান্ত নিউক্লিয়াসটি উভেজিত অবস্থায় থাকে :



এই ধরনের বিক্রিয়া অপেক্ষাকৃত উচ্চ শক্তির (১০ KeV এর উপরে) নিউট্রনের জন্য ঘটে থাকে। যেহেতু এক্ষেত্রে আপত্তিত নিউট্রনের প্রায় সমস্ত গতিশক্তি টার্গেট নিউক্লিয়াসকে উভেজিত করতে ব্যয় হয় তাই অস্থিতিস্থাপক বিক্রিয়ায় নিউট্রন প্রচুর শক্তি হারায়। উল্লেখ্য, এক্ষেত্রে শক্তি সংরক্ষিত থাকে না। একে অস্থিতিস্থাপক (n, n) বিক্রিয়া বলে।

(৩) শোষণ বিক্রিয়া : ধীর ও দ্রুতগতির নিউট্রন নিউক্লিয়াস কর্তৃক শোষিত হতে পারে। প্রধানত চার ধরনের নিউট্রন শোষণ বিক্রিয়া রয়েছে। যথা :

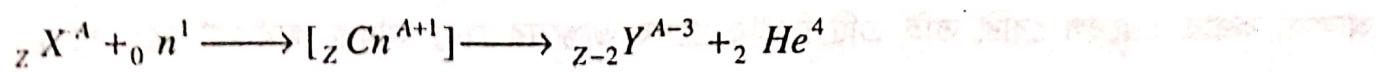
(i) রেডিয়েটিভ আটক বিক্রিয়া : নিউক্লিয়াস কর্তৃক নিউট্রন শোষণের পর গামা রশ্মি বিকিরিত হয় যাকে (n, γ) বিক্রিয়া বা রেডিয়েটিভ আটক বিক্রিয়া বা গামা রশ্মি আটক বলে। আটক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে নিউক্লিয়াস কর্তৃক নিউট্রন শোষণের ফলে $A+1$ ভর সংখ্যা বিশিষ্ট জটিল নিউক্লিয়াস গঠিত হয়, যা পরে উচ্চ শক্তির গামা রশ্মি বিকিরণ করে আদি অবস্থায় ফিরে আসে :



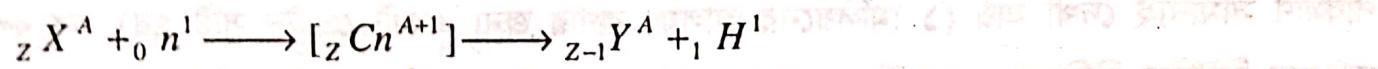
এক্ষেত্রে শক্তির উপর আটক প্রস্তুচেছদের নির্ভরশীলতা অনুনাদ প্রদর্শন করে। একে (n, λ) বিক্রিয়া বলে।

(ii) নিউক্লিয়াস কর্তৃক নিউট্রন শোষণের পর আলফা কণা নির্গত হতে পারে। যাকে (n, α) বিক্রিয়া বলে।

এই বিক্রিয়া রিয়্যাট্র নিয়ন্ত্রণে ব্যবহৃত হয়।

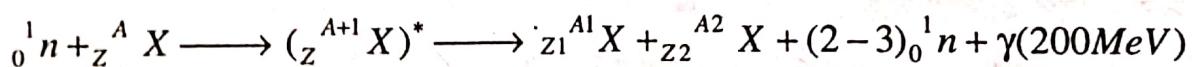


(iii) নিউট্রন নিউক্লিয়াস কর্তৃক শোষণের পর প্রোটন নির্গত হতে পারে একে নিউট্রন-প্রোটন (n, p) বিক্রিয়া বলে।

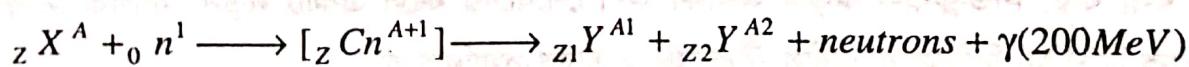


আপত্তি নিউট্রনের শক্তির উপর নির্ভর করে বিভিন্ন রকম শোষণ বিক্রিয়া হতে পারে। যথা : 10 MeV শক্তির নিউট্রনের জন্য $(n, 2n)$ এবং (n, np) বিক্রিয়া পর্যবেক্ষণ করা হয়েছে। আরো উচ্চ শক্তির আপত্তি নিউট্রনের জন্য $(n, 3n)$ $(n, 2np)$ বিক্রিয়া সম্ভব।

(iv) ফিশন বিক্রিয়া : যখন কোনো নিউট্রন কোনো ভারী নিউক্লিয়াসকে আঘাত করে তখন টার্গেট নিউক্লিয়াসটি প্রায় সমভরের দুটি নিউক্লিয়াস ভেঙে যেতে পারে এবং দুই বা ততোধিক নিউট্রন ও উল্লেখযোগ্য পরিমাণে শক্তি নির্গত হয় যাকে বলে ফিশন বিক্রিয়া। নিউক্লিয়ার ফিশন বিক্রিয়ায় নিউক্লিয়াস কর্তৃক নিউট্রন শোষণের ফলে $A+1$ ভর সংখ্যা বিশিষ্ট জটিল নিউক্লিয়াস গঠিত হয়, যা পরে প্রায় সমভরের দুটি হালকা নিউক্লিয়াস ভেঙে যায় এবং গড়ে (২-৩) টি নিউট্রন উৎপন্ন করে :



নিম্নের আকারেও লেখা যায়,

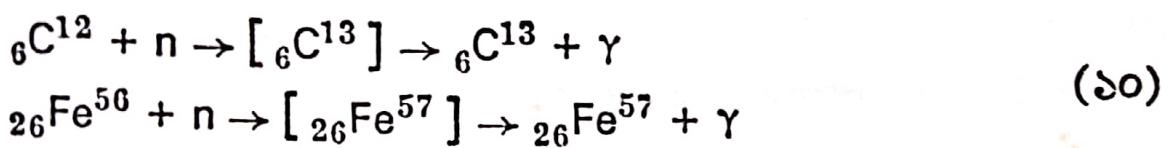


: পদ্ধতি যাই হোক না কেন নিউক্লিয়াসের সাথে নিউট্রনের উপরের বিক্রিয়াগুলো পর্যবেক্ষিত হয়।

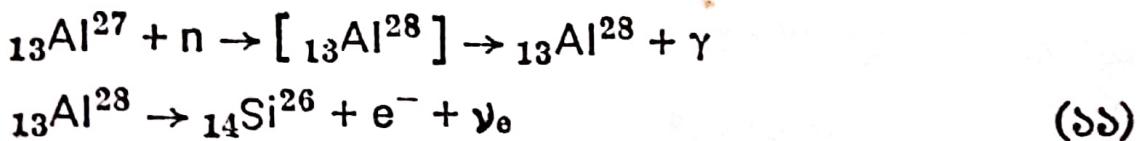
(খ) নিউট্রনের বিক্রিয়া

নিউট্রন তড়িৎ নিরপেক্ষ বলে নিউক্লিয়াসের সাথে তার বিক্রিয়ায় কোন অসুবিধা নেই। কোন কুলম্ব বাধা ছাড়াই নিউট্রন স্বচ্ছভাবে নিউক্লিয়াসের খূব কাছাকাছি চলে গিয়ে নিউক্লিয়াসের বলের আওতার মধ্যে চলে আসে এবং নিউক্লিয়াসের মধ্যে ঢুকে পড়ে। এতে নিউক্লিয়াস উভেজিত হয়—এই উভেজনা শক্তি

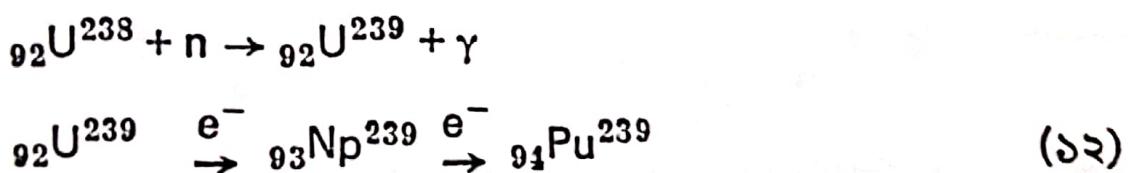
নিউক্লিয়াসে নিউট্রনের বন্ধন শক্তি এবং নিউট্রনের আদি গতিশক্তির (ভর-কেন্দ্র স্থানাংকে) সমষ্টির সমান । বিভিন্ন নিউক্লিয়াসে নিউট্রনের বন্ধন শক্তি $\sim 5-9$ এমইতি হয়ে থাকে । ফলে নিউট্রন ঘত ধীরে এসেই মিলিত হোক না কেন ঘোষিক নিউক্লিয়াস যথেষ্ট উভেজিত হয়ে পড়ে । উভেজিত নিউক্লিয়াস এক অথবা একাধিক গামারশ্মি বিকিরণের মাধ্যমে সরাসরি অথবা মধ্যবর্তী উভেজিত অবস্থার মধ্য দিয়ে সর্ববিশ্ব শক্তিস্তরে চলে আসে । অধিকাংশ মৌলিক পদার্থের আইসোটোপের সাথে এ ধরনের বিকিরণী গ্রাস বা (n, γ) বিক্রিয়া হয়ে থাকে । অবশ্য আইসোটোপ বিশেষে বিক্রিয়াটির প্রস্থচ্ছেদের মান অনেক কম বেশী হয় । নীচে দুটি (n, γ) বিক্রিয়ার উদাহরণ দেয়া হল :



উপরোক্ত উদাহরণে উৎপাদিত নিউক্লিয়াসও ঘাতবহ নিউক্লিয়াসের মত স্থায়ী । অবশ্য একটি বাড়তি নিউট্রনের সংযোজনার মাধ্যমে নিউট্রন—প্রোটনের অনুপাত বেড়ে যায় ব'লে অনেক ক্ষেত্রে উৎপাদিত নিউক্লিয়াস একটি ইলেকট্রন ক্ষয় করে থাকে । যেমন—



উপরের সমীকরণে এলুমিনিয়ামকে প্রথমে একটি নিউট্রন শোষণ এবং পরে ইলেকট্রন ক্ষয় করতে দেখা যাচ্ছে । একটি উল্লেখযোগ্য উদাহরণ হচ্ছে নিউট্রন শোষণের মাধ্যমে U^{238} এর Pu^{239} -এ পরিণত হওয়া :



নিউট্রন নিউক্লিয়াসের সাথে বিক্রিয়া করে প্রোটন, ডিউটেরন, ট্রাইটন, আল্কাকদা প্রভৃতি আহিত কণাও তৈরী করতে পারে । নিউক্লিয়াস হতে আহিত কণা বের হতে হলে প্রথমতঃ কণার বন্ধন শক্তিকে অতিক্রম করতে হবে, বিতীয়তঃ নিউক্লিয়াসের বৈদ্যুতিক বাধা অতিক্রম করতে হবে । তাহলে দেখা যাচ্ছে এজাতীয় বিক্রিয়া ঘটাতে শক্তিশালী নিউট্রন প্রয়োজন । নিউক্লিয়াসের পারমাণবিক সংখ্যা ঘত বেশী হবে কুমুদ বাধা হবে ততবেশী, ফলে ততবেশী শক্তি সম্পন্ন নিউট্রনের প্রয়োজন হবে ।

হাল্কা নিউক্লিয়াসের জন্য কুলস্ব বাধা কম এবং প্রোটনের বন্ধন শক্তি 8 (আট) এমইভি'র কাছাকাছি হওয়ায় কম শক্তির নিউট্রন দিয়ে (n,p) বিক্রিয়া ঘটানো সম্ভব। এমনি একটি বিক্রিয়ার উদাহরণ দেয়া হল :



(n,p) বিক্রিয়ায় একই সাথে একটি নিউট্রন বেড়ে যাওয়ায় এবং একটি প্রোটন কমে যাওয়ায় উৎপাদিত নিউক্লিয়াস নিউট্রন সংখ্যা আনুপাতিক ভাবে বেড়ে যায় এবং তা ইলেক্ট্রন ক্ষয় করে থাকে :

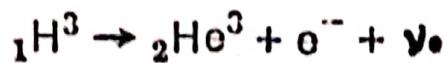


ডিউটেরনের বন্ধন শক্তি 2.22 MeV। নিউক্লিয়াসের মধ্যে প্রতিটি নিউট্রন বা প্রোটনের বন্ধন শক্তি ~ 8 এমইভি। তাহলে নিউক্লিয়াস হতে ডিউটেরন বের করতে 14 এমইভি'র মত শক্তির প্রয়োজন। (n,d) বিক্রিয়া ঘটাতে এজন্য খুব শক্তিশালী নিউট্রন দরকার। তবু এ জাতীয় বিক্রিয়া খুব বিরল। কারণ এমতাবস্থায় শুধু নিউট্রন বা শুধু প্রোটনের বিকিরণের সম্ভাবনাই বেশী থেকে যায়। ইহা ব্যতীত ভিন্ন এক পদ্ধতিতে 90 এমইভি'র নিউট্রন দিয়ে বিভিন্ন ধরনের নিউক্লিয়াসকে আঘাত করে ডিউটেরন তৈরী সম্ভব। এক্ষেত্রে অবশ্য কোন মধ্যবর্তী যৌগিক নিউক্লিয়াসের সৃষ্টি হয় না। দ্রুতগামী নিউট্রন নিউক্লিয়াসের কাছ দিয়ে যাবার সময় নিউক্লিয়াস হতে একটি প্রোটন টেনে নিয়ে ডিউটেরনে পরিণত হয় ও তারপর ছুটে চলে যায়। একে পিকআপ বিক্রিয়া বলে।

আলফাকণার বন্ধন শক্তি খুব বেশী এবং সেজন্য এর ভর আনুপাতিক ভাবে কম। কম ভর বিশিষ্ট কণা সমষ্টির নিঃসরণ নিউক্লিয়াসের জন্য সহজতর। আলফাকণার বন্ধন শক্তি আটাশ এমইভি। পক্ষান্তরে নিউক্লিয়াসের ভিতর প্রতিটি নিউক্লিয়নের বন্ধন শক্তি প্রায় আট এমইভি। সে হিসাবে চার এমইভি শক্তি পেলেই আলফাকণা বেরুতে পারে। কিন্তু 2০ আধানে আছিত হওয়ায় নিউক্লিয়াস হতে বেরবার সময় আলফাকণা বড় কুলস্ব বাধের সম্মুখীন হয়। এ বাধা অতিক্রম করে বেরুতে বেশ শক্তি সম্পন্ন নিউট্রনের প্রয়োজন। অবশ্য ছোট নিউক্লিয়াসের জন্য কুলস্ব বাধা কম হওয়ায় ধীরগামী নিউট্রন দ্বারাই এই বিক্রিয়া সম্ভব :



(n,a) বিক্রিয়ায় নিউট্রন আনুপাতিক ভাবে রুক্ষি পাওয়ায় উৎপাদিত নিউক্লিয়াস সাধারণতঃ ইলেক্ট্রন ক্ষয়কারী হয়ে থাকে :



ভারী নিউক্লিয়াসের ক্ষেত্রে আঞ্চফাকণ বেরবার জন্য কুলম্ব বাধা বেশী থাকায় বেশী শক্তির নিউট্রনের প্রয়োজন হয়। অবশ্য এক্ষেত্রে $(n,2n)$, $(n,3n)$, $(n,p2n)$ ইত্যাদি বিক্রিয়া ঘটে ঘাওয়ার সত্ত্বনাই বেশী।

অতি উচ্চশক্তি সম্পন্ন নিউট্রন মাঝারী আকারের নিউক্লিয়াসকে আঘাত করলে নিউক্লিয়াসটি ডেঙ্গে কয়েক খণ্ডে পরিণত হতে পারে। ভারী নিউক্লিয়াসগুলি এভাবে দুটি মাঝারী আকারের নিউক্লিয়াসে পরিণত হবার নাম ফিশন বা বিভাজন। দ্রুতগামী নিউট্রন U^{238} নিউক্লিয়াসের বিভাজন করতে পারে। ধীরগামী বা দ্রুতগামী যে কোন ধরনের নিউট্রন দ্বারা U^{235} , Pu^{239} , U^{233} এর বিভাজন সম্ভব।