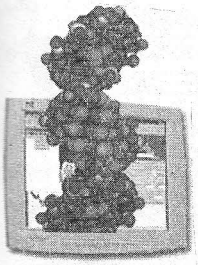


বিকল্প যন্ত্রগণনা

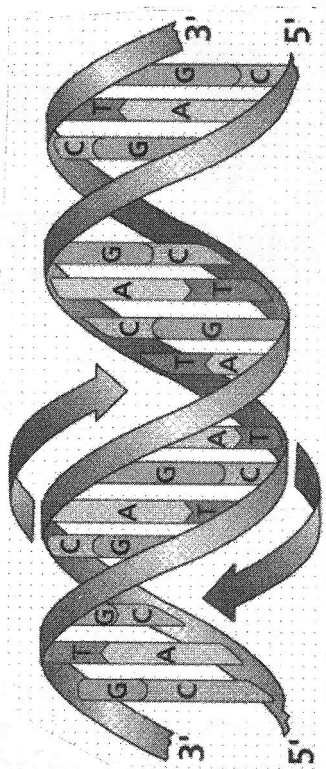
গৌতমকুমার পাল
অধ্যাপক, কম্পিউটার সায়েন্স ও
ইঞ্জিনিয়ারিং বিভাগ, যাদবপুর বিশ্ববিদ্যালয়

ভূমিকা :

যন্ত্রগণক বা কম্পিউটার উদ্ভাবনের পিছনে মানুষের উদ্দেশ্য ছিল আয়াসসাধ্য গণনার কাজ (যেমন বড় বড় গুন ভাগ, বড় বড় সমীকরণের সমাধান ইত্যাদি) সহজে করে ফেলা। আজকের পৃথিবীতে শুধু বৈজ্ঞানিকদের কঠিন সব গণনার জন্যই নয়, কম্পিউটার ব্যবহৃত হচ্ছে সাধারণ মানুষের দৈনন্দিন কাজের সহায়তায়, বাজারে জিনিসপত্র কেনাবেচা থেকে শুরু করে ব্যাঙ্কের হিসাবনিকাশে, রেল বা বিমানের টিকিট বুকিং-এ, এমনকি পেশাদারী দাবা খেলাতেও! তবু এমন কিছু সমস্যা আছে, যার সমাধান কীভাবে করতে হবে তা হয়ত আমরা পুঙ্খানুপুঙ্খভাবে জানি, কিন্তু সমাধান করতে অতি শক্তিশালী কম্পিউটারেরও সময় লেগে যাবে কয়েকশ বছর। উদাহরণস্বরূপ, ধরা যাক 'ভ্রাম্যমান বিক্রেতা' (ট্রাভেলিং সেল্‌স্‌ম্যান)-নামে খ্যাত সমস্যাটিকে। সমস্যাটি এরকম: কয়েকটি শহর পরস্পর রাজপথ দ্বারা যুক্ত। যেকোনও একটি নির্দিষ্ট শহর থেকে যাত্রা শুরু করে সব শহরগুলিকে একবার করে ছুঁয়ে আবার শুরুর শহরে ফিরে আসতে হবে যাতে কোনও শহরে দু'বার না যেতে হয় এবং মোট অতিক্রান্ত দূরত্ব সর্বনিম্ন হয়। আপাতদৃষ্টিতে সমস্যাটি সহজ মনে হলেও শহরের সংখ্যা যত বাড়তে থাকে, গণনাকার্য তার চেয়ে বহু গুন বেশী বাড়তে থাকে। ছয়টি শহরের জন্য যেখানে ৫! = ১২০টি সম্ভাব্য গতিপথ রয়েছে, সেখানে এগারোটি শহরের জন্য রয়েছে ১০! = ৩৬,২৮,৮০০ টি গতিপথ এবং একশত একটি শহরের জন্য সম্ভাব্য গতিপথের সংখ্যাটি লিখতে গেলে ১৫৭টি অঙ্ক (ডিজিট্) লাগবে। তাত্ত্বিক কম্পিউটার সায়েন্সের ভাষায় ভ্রাম্যমান বিক্রেতা একটি এন.পি. সমস্যা এবং এইধরনের প্রচুর এন.পি. সমস্যা রয়েছে যাদের সমাধান নবতম সুপার কম্পিউটারেরও দুঃসাধ্য।

এই ধরনের গণনাপ্রবল (কম্পিউটেশন ইনটেনসিভ) সমস্যার সমাধানকে দ্রুততর করার একটি উপায় কম্পিউটারের গণনাশক্তি বাড়ানোর চেষ্টা করা। আবার গণনাশক্তি বাড়ানোর জন্য দরকার কম্পউটার সার্কিটের এক একটি আই.সি. চিপে আরও বেশী বেশী ট্রানজিস্টর ঠেসে দেওয়া। এই প্রসঙ্গে কম্পিউটার জগতের কিংবদন্তী প্রতিষ্ঠান ইনটেল কর্পোরেশনের অন্যতম প্রতিষ্ঠাতা গর্ডন মুর ১৯৬৫ সালে একটি পরীক্ষামূলক (এম্‌পিরিকাল্) সূত্র প্রচার করেন, যা মুরের সূত্র (মুর্‌স্ ল) নামে খ্যাত। এই সূত্র অনুসারে, আই.সি. চিপের প্রতি বর্গ-ইঞ্চিতে ট্রানজিস্টরের সংখ্যা প্রতি এক বছরে দ্বিগুন হয়। পরবর্তীকালে কিছুটা কমলেও, গড়ে প্রতি আঠারো মাসে দ্বিগুন হিসাবে এই বৃদ্ধির হার এখনও অব্যাহত। এইভাবে চলতে থাকলে ২০৩০ সাল নাগাদ কম্পিউটার সার্কিটের পরিমাপ পারমাণবিক স্কেলে পৌঁছে যাবে। কিন্তু এই স্কেলে বৃহত্তর জগতের (ম্যাক্রোস্কোপিক্) নিয়মগুলি যেমন অপ্রযোজ্য হয়ে পড়বে, তেমনই সার্কিটের মধ্যে তাপীয় ক্রিয়া হবে সাংঘাতিক। ধ্রুপদী যন্ত্রগণনার (ক্লাসিকাল কম্পিউটিং) এই সীমাবদ্ধতার দিকে নজর রেখে বিজ্ঞানীরা প্রয়াসী হয়েছেন বিকল্প যন্ত্রগণনার উদ্ভাবনে - তার মধ্যে বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য হল ডি.এন.এ. কম্পিউটিং এবং কোয়ান্টাম কম্পিউটিং।

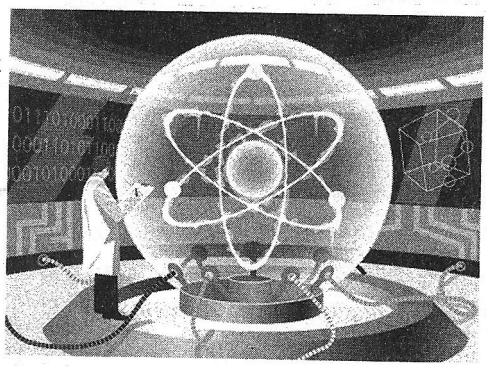
ডি.এন.এ. কম্পিউটিং :



ডিজিটাল কম্পিউটারের ভাষা যেমন ০ (শূন্য), আর ১ (এক) - এই দুটি সংকেত দিয়ে তৈরী, তেমনই জীবের দেহকোষের অন্তর্গত ডি.এন.এ. (ডিওক্সিরাইবো নিউক্লিক অ্যাসিড)-রও একটি ভাষা আছে, যে ভাষায় বর্ণ বা সংকেত-এর সংখ্যা মোট চারটি - এ (অ্যাডিনিন), টি (থাইমিন), জি (গুয়ানিন) এবং সি (সাইটোসিন)। কম্পিউটারের মেমরিতে যেমন প্রোগ্রাম ও ডেটা সঞ্চয় করা থাকে পরপর শূন্য আর এক বসিয়ে, ডি.এন.এ.-র মধ্যেও সেরকম এ,টি,জি,সি পরপর সাজানো থাকে (দুটি পরস্পরকে প্যাঁচানো সিঁড়ির মতো তন্তুতে), যাদের সংকেত প্রোটিন সংশ্লেষের জন্য প্রয়োজনীয় অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলিকে চিহ্নিত করে। কম্পিউটারের সি.পি.ইউ.-তে যেমন যোগ, বিয়োগ, গুন, ভাগ, অ্যান্ড, অর, নট, বিট্-সিফ্ট এই ধরনের কাজ করা যায়, বিভিন্ন রাসায়নিক প্রক্রিয়ার দ্বারা (মূলতঃ বিভিন্ন এনজাইমের সঙ্গে বিক্রিয়া ঘটিয়ে) ডি.এন.এ. তন্তুর উপরও সেরকম বিভিন্ন কাজ করা যায়, যেমন- একাধিক তন্তুকে মিশিয়ে দেওয়া (মিক্সিং), পরস্পরকে জড়ানো তন্তু-দুটিকে ছাড়িয়ে দেওয়া (মেল্টিং), একটি তন্তুর হুবহু নকল আর একটি তন্তু তৈরী করা (কপিং), একটি তন্তু থেকে এ,টি,জি,সি-র একটি বিশেষ সমন্বয় (প্যাটার্ন) খুঁজে বার করা (এক্সট্রাক্টিং), আঠা লাগানোর মতো করে দুটি তন্তুকে পর পর জুড়ে দেওয়া (পেস্টিং) ইত্যাদি। এই তুলনামূলক আলোচনা থেকে একটা জিনিস পরিষ্কার যে যদি কোনও ভাবে উপরোক্ত রাসায়নিক প্রক্রিয়াগুলিকে নিয়ন্ত্রন করা যায়, তাহলে ডি.এন.এ.-কে দিয়ে সহজেই কম্পিউটারের কাজ করানো যেতে পারে।

১৯৯৪ সালে ইউনিভার্সিটি অফ সাউদার্ন ক্যালিফোর্নিয়ার কম্পিউটার সায়েন্সের অধ্যাপক লিওনার্ড অ্যাড্‌ল্‌ম্যান (যিনি আবার আর.এস.এ. নামক পাবলিক কী ক্রিপটোগ্রাফির অন্যতম উদ্ভাবক) সর্বপ্রথম ডি.এন.এ.কে দিয়ে কম্পিউটারের কাজ করাতে সফল হন। 'ভ্রাম্যমান বিক্রেতা'র অনুরূপ একটি সমস্যার সমাধান বের করেন তিনি। সমস্যাটি ছিল মূলতঃ সাতটি শহরের মধ্যে যেকোনও একটি শহর থেকে শুরু করে প্রত্যেক শহরকে ছুঁয়ে অবশেষে একটি প্রান্তিক শহরে যাওয়া সর্বনিম্ন দূরত্ব অতিক্রম করে। তিনি এক-একটি শহরকে চিহ্নিত করেন এ,টি,জি,সি-এর এক একটি সমন্বয় দিয়ে (ধরা যাক কলকাতা হল ATAGC, দুর্গাপুর হল GACCT)। তাহলে একটি পথ যে যে শহরকে ছুঁয়ে যাচ্ছে, তাদের সংকেতকে পরপর জুড়ে দিলে যে লম্বা সংকেত পাওয়া যাবে - সেটিই হবে ওই পথের সংকেত। রাসায়নিক প্রক্রিয়ার দ্বারা এরকম বিভিন্ন পথ সৃষ্টি করতে করতে এক সময় অভীষ্ট পথটি খুঁজে পাওয়া সম্ভব।

অ্যাড্‌ল্‌ম্যান-এর যুগান্তকারী সাফল্যের পর ডি.এন.এ. কম্পিউটিং নিয়ে গবেষণা ছড়িয়ে পড়ে দিগ্বিদিকে এবং এই অগ্রগতি আজও অব্যাহত। ডি.এন.এ. কম্পিউটিং মূলতঃ দুটি কারণে আকর্ষণীয়। প্রথমত, এর তথ্য-ঘনত্ব (ডেটা ডেনসিটি)। পরপর দুটি নিউক্লিওটাইডের (এ,টি,জি, বা সি) মধ্যে দূরত্ব 0.35 ন্যানোমিটারের মতো, যা কিনা প্রতি ইঞ্চিতে ১৮ মিলিয়ন বিট্-এর সমতুল! আর দ্বিতীয় কারণটি হল একসঙ্গে বহু গণনা করার ক্ষমতা (প্যারালাল কম্পিউটিং)। ডিজিটাল কম্পিউটারের সি.পি.ইউ. কোনও এক মুহূর্তে কেবল একটি প্রোগ্রামই চালাতে পারে এবং একটি গণনাই করতে পারে, কিন্তু ডি.এন.এ. কম্পিউটিং-এর ক্ষেত্রে টেস্ট টিউবের মধ্যে একটি এনজাইম অনুর প্রতিলিপিগুলি বহু ডি.এন.এ. তন্তুর উপর যুগপৎ কাজ করতে পারে। এই দুটি গুণের উপর ভিত্তি করে ডি.এন.এ. কম্পিউটিং যে আগামী দিনে আরও ব্যাপ্তি ও জনপ্রিয়তা লাভ করবে, এতে কোনও সন্দেহ নেই।



কোয়ান্টাম কম্পিউটিং :

বৃহত্তর (ম্যাক্রোস্কোপিক্) জগৎ যেমন নিউটনের বলবিদ্যা (মেকানিক্স) মেনে চলে, আনুবীক্ষণিক (মাইক্রোস্কোপিক্) জগৎ তেমনই মেনে চলে কোয়ান্টাম বলবিদ্যা। এই বলবিদ্যায় যেকোনও বস্তুকণার অবস্থার (স্টেট) বর্ননা একটি বিশেষ ভেক্টর রাশি দ্বারা করা হয়, যাকে বলে তরঙ্গ-অপেক্ষক (ওয়েভ ফাংশন)। মজার ব্যাপার হল যে, কোনও বস্তুকণা একটি নির্দিষ্ট সময়ে একটি স্টেটেই না থেকে একাধিক স্টেটের মিশ্রণেও (সুপারপজিশন) থাকতে পারে। সেক্ষেত্রে

কোন কোন স্টেট কী কী অনুপাতে মিশ্রিত আছে তা নির্দিষ্ট হয় প্রত্যেক স্টেটের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট একটি জটিল সহগের (কমপ্লেক্স কোএফিশিয়েন্ট) দ্বারা, যার বর্গ ওই স্টেটে থাকার সম্ভাব্যতা (প্রোবাবিলিটি) সূচিত করে।

কোয়ান্টাম কম্পিউটিং-এর ক্ষেত্রে দুটি স্টেট-বিশিষ্ট কোনও বস্তুকণাকে ব্যবহার করা হয় শূন্য বা এক বোঝানোর জন্য। যেমন, ফোটন কণার ক্ষেত্রে অনুভূমিক মেরুকরণ (হরাইজন্টাল পোলারাইজেশন) এবং উলম্ব মেরুকরণ (ভারটিকাল পোলারাইজেশন), ইলেকট্রনের ক্ষেত্রে ঊর্ধ্ব ঘূর্ণন (আপ্ স্পিন) এবং অধঃঘূর্ণন (ডাউন স্পিন) প্রভৃতি। ডিজিটাল কম্পিউটারে যেমন শূন্য আর এক-কে বাইনারি ডিজিট্ বা বিট্ বলা হয়, কোয়ান্টাম কম্পিউটারে তেমনই অনুরূপ দুই স্টেটকে বলা হয় কিউবিট্ বা কোয়ান্টাম বিট্। লক্ষ্যণীয়, ডিজিটাল কম্পিউটারের ক্ষুদ্রতম গণনাংশ কোনও মুহূর্তে হয় শূন্য অথবা এক - এই দুটির যেকোনও একটি অবস্থায় থাকে; কোয়ান্টাম কম্পিউটারে কিন্তু কোনও কিউবিট্ শূন্য, এক অথবা তাদের মিশ্রণেও থাকতে পারে (পূর্বোক্ত জটিল সহগের অনুপাতে)। এই নীতির জন্যই কোয়ান্টাম কম্পিউটার অনেক স্টেট-এর গণনা যুগপৎ করতে পারে এবং কোনও নির্দিষ্ট সমস্যার অনেক সম্ভাব্য সমাধান একসঙ্গে বিবেচনা করতে পারে (যেমন, ভ্রাম্যমান বিক্রেতার বিভিন্ন সম্ভাব্য পথ)।

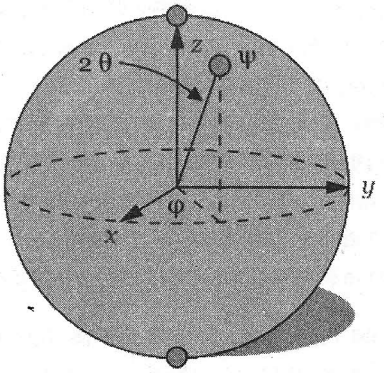
কোয়ান্টাম কম্পিউটারের অন্তবর্তী গণনায় বহু স্টেটের মিশ্রণ থাকলেও, গণনার শেষে যখন আমরা উত্তরটি পর্যবেক্ষণ করব, তখন কিন্তু যেকোনও একটি উত্তরই দেখতে পাব। এই অনির্দিষ্টতা (আন্সারটেনটি) দূর করার উপায় হল একই সমস্যার উপর কোয়ান্টাম কম্পিউটারকে অনেকবার চালানো। সেক্ষেত্রে, সম্ভাব্যতার তত্ত্ব (প্রোবাবিলিটি থিওরি) অনুযায়ী, সর্বাধিকবার প্রাপ্ত উত্তরটিই হবে সমস্যাটির সমাধান।

১৯৮১ সালে পদার্থবিজ্ঞানী রিচার্ড পি. ফেইনম্যান এম.আই.টি. (ম্যাসাচুসেট্স্ ইনস্টিটিউট অফ টেকনোলজি)-তে প্রদত্ত একটি বক্তৃতায় সর্বপ্রথম কোয়ান্টাম কম্পিউটারের প্রসঙ্গ উত্থাপন করেন। সেই থেকে আজ পর্যন্ত কোয়ান্টাম কম্পিউটার নিয়ে বহু গবেষণা হলেও তা মূলতঃ তাত্ত্বিক স্তরেই সীমাবদ্ধ। তবে ভবিষ্যতের কথা কে বলতে পারে? হয়ত খুব শীঘ্রই একটি বাস্তব কোয়ান্টাম কম্পিউটার তৈরী করা সম্ভব হবে। কম্পিউটার জগতের বাসিন্দা হিসেবে অন্ততঃ আমরা এ আশা করতেই পারি।

Basic states: $|0\rangle$ and $|1\rangle$.

A *pure qubit state* $|\varphi\rangle$ = A non-zero linear superposition of the two basis states
$= \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$, where the coefficients α and β are complex numbers.
The probability of outcome $|0\rangle$ is $|\alpha|^2$ and the probability of outcome $|1\rangle$ is $|\beta|^2$.
Since the probabilities must sum to 1, we must have: $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$.

Geometrically, the *state space* of a single *qubit register* can be represented as the *Bloch sphere*:



In this representation, $|\varphi\rangle = \cos\theta|0\rangle + e^{i\phi}\sin\theta|1\rangle$.
Any point $(x, y, z) \equiv (\sin 2\theta\cos\phi, \sin 2\theta\sin\phi, \cos 2\theta)$.
$|0\rangle$ is mapped into $(0,0,1)$ and $|1\rangle$ is mapped into $(0,0,-1)$.