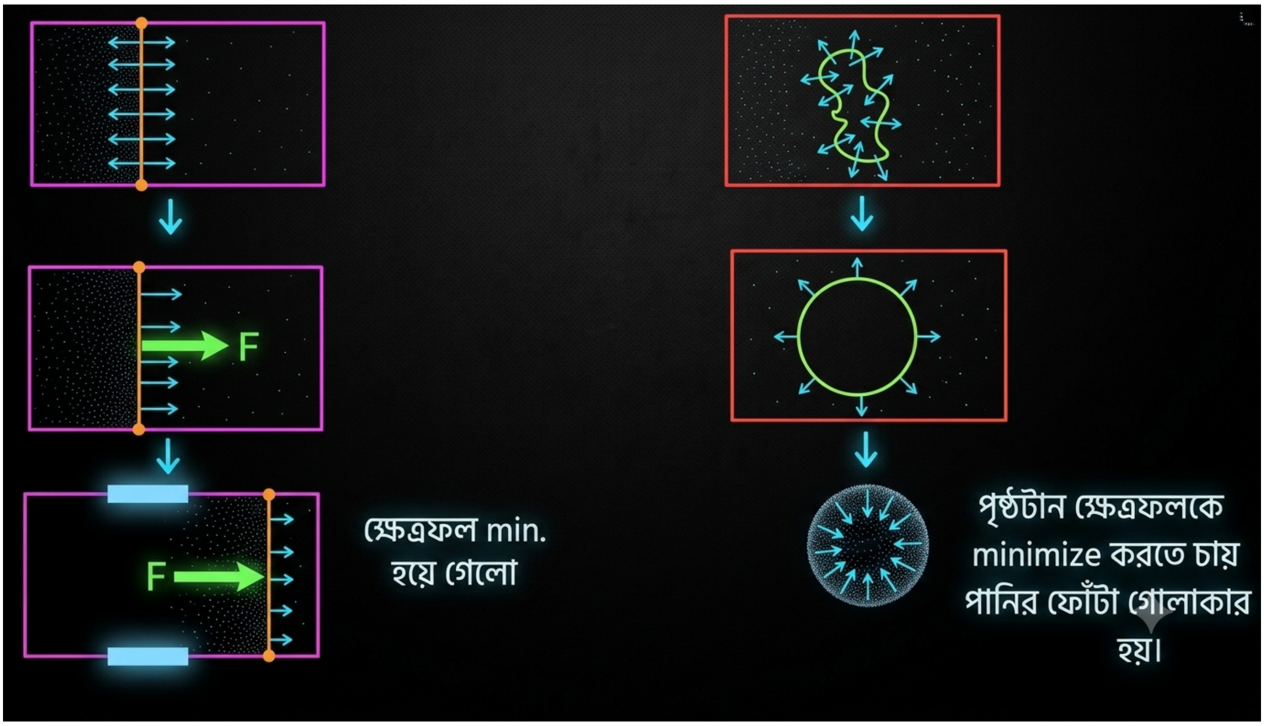
অধ্যায়: পদার্থের গাঠনিক ধর্ম

বিষয়: পৃষ্ঠটান (Surface Tension)

পৃষ্ঠটান কী?



চিত্র 1: পৃষ্ঠটানের পরীক্ষামূলক প্রমাণ ও ক্ষেত্রফল হ্রাসের চিত্র

পৃষ্ঠটান বোঝার জন্য একটি সহজ পরীক্ষা করা যাক।

পরীক্ষা ১: তারের ফ্রেম ও সাবানের পর্দা

প্রথমে একটি আয়তাকার তারের ফ্রেম নাও। এরপর খুবই হালকা একটি চিকন তারকে ফ্রেমের ভেতরে এমনভাবে লাগাও, যাতে সেটি সহজে এদিক-সেদিক সরে যেতে পারে। এবার পুরো ফ্রেমটিকে সাবান-পানিতে ডুবিয়ে আবার তুলে আনো। দেখবে, ফ্রেমের দুই পাশে সাবান-পানির একটি পাতলা পর্দা (Thin Film) তৈরি হয়েছে।

এখন যেকোনো এক পাশের সাবানের পর্দাটিকে আঙুল দিয়ে স্পর্শ করো। স্পর্শ করার সঙ্গে সঙ্গে সেই পাশের পর্দাটি ফেটে যাবে। তখন লক্ষ্য করবে, মাঝখানের হালকা চিকন তারটি আর আগের অবস্থানে থাকবে না; বরং দ্রুত অপর পাশের দিকে সরে যাবে।

কারণ: যে পাশে এখনও সাবানের পাতলা পর্দা রয়েছে, সেই পর্দাটি তার পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল কমিয়ে আনতে চায়। ফলে পর্দাটি চিকন তারটির ওপর একটি টান বল প্রয়োগ করে এবং তারটি সেদিকে সরে যায়। কিন্তু শুরুতে যখন দুই পাশেই সাবানের পর্দা ছিল, তখন দুই পাশ থেকেই সমান পৃষ্ঠটান বল ক্রিয়া করছিল। তাই লব্ধি বল শূন্য ছিল এবং তারটি স্থির অবস্থায় ছিল। এক পাশের পর্দা ফেটে যাওয়ার পর অন্য পাশের পৃষ্ঠটান বল একাই ক্রিয়া করে, ফলে তারটি সেই দিকে সরে যায়।

মূল সিদ্ধান্ত

এখান থেকে বোঝা যায়, তরলের এমন একটি ধর্ম রয়েছে যার কারণে তরল তার মুক্ত পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফলকে সর্বনিম্ন রাখতে চায়। এই ধর্মই হলো পৃষ্ঠটান।

সংজ্ঞা: পৃষ্ঠটান বল ও পৃষ্ঠটান

পৃষ্ঠটান বল (Surface Tension Force): তরলের মুক্ত পৃষ্ঠে একক দৈর্ঘ্যের ওপর ক্রিয়াশীল স্পর্শকীয় বলকে পৃষ্ঠটান বল বলে।

পৃষ্ঠটান (Surface Tension): আর পৃষ্ঠটান হলো, এই একক দৈর্ঘ্যের ওপর ক্রিয়াশীল পৃষ্ঠটান বলের মান।

আরেকটি পরীক্ষার মাধ্যমে পৃষ্ঠটান

একটি আয়তাকার তারের ফ্রেম নিয়ে সেটিকে সাবান-পানিতে ডুবিয়ে তুলে আনলে একটি পাতলা সাবানের পর্দা তৈরি হবে। এবার একটি সুতা প্রথমে সাবান-পানিতে ভিজিয়ে সেই পর্দার ওপর আলতো করে রাখো। (সুতা ভেজানো না থাকলে পর্দা সঙ্গে সঙ্গে ফেটে যাবে, তাই অবশ্যই আগে সুতাটি ভিজিয়ে নিতে হবে।)

এবার সুতার ভেতরের অংশে আলতো করে স্পর্শ করলে ভেতরের সাবানের পর্দাটি ফেটে যাবে। তখন দেখবে, সুতাটি নিজে থেকেই টানটান হয়ে প্রায় বৃত্তাকার আকৃতি ধারণ করেছে।

কারণ: শুরুতে সুতার ভেতরে ও বাইরে—উভয় পাশেই সাবানের পর্দা ছিল। ফলে দুই দিক থেকেই

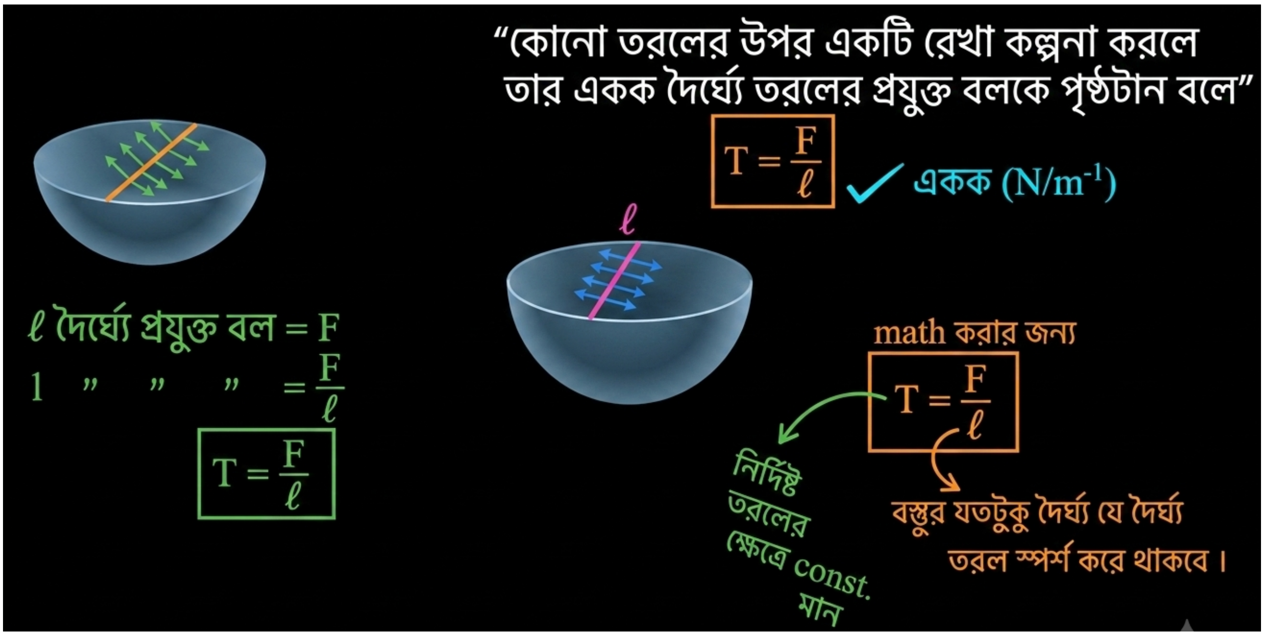
সমান পৃষ্ঠটান বল ক্রিয়া করছিল এবং লব্ধি বল শূন্য হওয়ায় সুতা আগের অবস্থায় ছিল।
কিন্তু ভেতরের পর্দাটি ফেটে যাওয়ার পর ভেতরের দিকের পৃষ্ঠটান বল আর থাকে না। তখন কেবল বাইরের পর্দার পৃষ্ঠটান বল ক্রিয়া করে। এই বল সুতাটিকে টেনে এমন একটি আকৃতি দেয়, যাতে বাইরের সাবানের পর্দার ক্ষেত্রফল সর্বনিম্ন হয়। তাই সুতা বৃত্তাকার হয়ে যায়।

পানির ফোঁটা গোলাকার হয় কেন?

পানির ফোঁটা গোলাকার হওয়ার কারণও পৃষ্ঠটান।
একই আয়তন বা একই ভরের তরলকে বিভিন্ন আকৃতিতে রাখা যায়, যেমন—ঘনক, সিলিন্ডার, শঙ্কু বা গোলক। কিন্তু এদের মধ্যে গোলকের পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল সবচেয়ে কম।
যেহেতু পৃষ্ঠটানের ধর্ম হলো তরলের মুক্ত পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফলকে সর্বনিম্ন রাখা, তাই পানির ফোঁটা স্বাভাবিকভাবেই গোলাকার আকৃতি ধারণ করে। এ কারণে বৃষ্টির ফোঁটা, শিশিরবিন্দু এবং ছোট ছোট পানির ফোঁটা সাধারণত গোলাকার দেখা যায়।

সারসংক্ষেপ: সুতরাং বলা যায়, পৃষ্ঠটান সবসময় তরলের মুক্ত পৃষ্ঠকে সংকুচিত করে তার ক্ষেত্রফলকে সর্বনিম্ন রাখতে চায়। এই কারণেই পানির ফোঁটা গোলাকার হয় এবং সাবানের পাতলা পর্দা টানটান অবস্থায় থাকে।

পৃষ্ঠটানের পরিমাপ ও সূত্র



চিত্র 2: পৃষ্ঠটান পরিমাপের পরীক্ষামূলক চিত্র

পৃষ্ঠটানকে সাধারণত T দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

সুচ ভাসানোর পরীক্ষা

পৃষ্ঠটান বোঝার জন্য আরেকটি সহজ পরীক্ষা করা যাক।

ধরো, একটি পাত্রে পানি নেওয়া হলো। এবার পানির উপর একটি চিকন ধাতব তার বা একটি সুচ ভাসানো হবে। কিন্তু সরাসরি সুচ পানিতে ফেললে এটি সহজে ভেসে থাকবে না; বরং ডুবে যেতে পারে। তাই প্রথমে একটি টিস্যু পেপারের উপর সুচটি রেখে সেটিকে পানির পৃষ্ঠে আলতো করে রাখা হয়। কিছুক্ষণ পর টিস্যু পেপারটি পানি শোষণ করে ভারী হয়ে নিচে ডুবে যায়, কিন্তু সুচটি পানির পৃষ্ঠে ভাসতে থাকে।

এখন লক্ষ্য করো, সুচটির চারপাশে পানি রয়েছে। অর্থাৎ যে অংশে তরল স্পর্শ করে আছে, সেই অংশে তরলের পৃষ্ঠটান বল কাজ করছে। পানির পৃষ্ঠটান সুচটিকে টেনে ধরে রাখে।

পৃষ্ঠটানের সংজ্ঞা

তরলের পৃষ্ঠে কোনো একটি রেখা কল্পনা করলে, সেই রেখার দুই পাশের তরল পৃষ্ঠটান বলের মাধ্যমে রেখাটিকে নিজের দিকে টানতে চায়। এই পৃষ্ঠটানজনিত টান বলই হলো পৃষ্ঠটান বল।
পৃষ্ঠটানের সংজ্ঞা: কোনো তরলের মুক্ত পৃষ্ঠে কল্পিত কোনো রেখার একক দৈর্ঘ্যের উপর লম্বভাবে ক্রিয়াশীল পৃষ্ঠটানজনিত বলকে পৃষ্ঠটান বলে।

পৃষ্ঠটানের সূত্র

ধরা যাক, একটি রেখার দৈর্ঘ্য L এবং এই রেখার উপর প্রযুক্ত পৃষ্ঠটান বল F।
তাহলে,

$$T = \frac{F}{L}$$

অর্থাৎ,

$$\text{পৃষ্ঠটান} = \frac{\text{প্রযুক্ত বল}}{\text{রেখার দৈর্ঘ্য}}$$

পৃষ্ঠটানের একক

পৃষ্ঠটানের সূত্র,

$$T = \frac{F}{L}$$

এখানে,

- F = বলের একক = নিউটন (N)
- L = দৈর্ঘ্যের একক = মিটার (m)

সুতরাং,

$$\text{পৃষ্ঠটানের একক} = \text{নিউটন/মিটার (N/m)}$$

সূত্রের ব্যাখ্যা ও L-এর অর্থ

পৃষ্ঠটানের সূত্রের ব্যাখ্যা:
ধরো, পানির উপর একটি L দৈর্ঘ্যের রেখা কল্পনা করা হলো। তরলের ধর্ম হলো তার পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফলকে সর্বনিম্ন রাখা। তাই রেখার দুই পাশের তরল পৃষ্ঠটান বলের মাধ্যমে রেখাটিকে নিজের দিকে টানবে। যদি L দৈর্ঘ্যের রেখার উপর F বল প্রযুক্ত হয়, তাহলে একক দৈর্ঘ্যের উপর প্রযুক্ত বল হবে—

$$T = \frac{F}{L}$$

এটাই পৃষ্ঠটানের মান।

গুরুত্বপূর্ণ: L-এর অর্থ

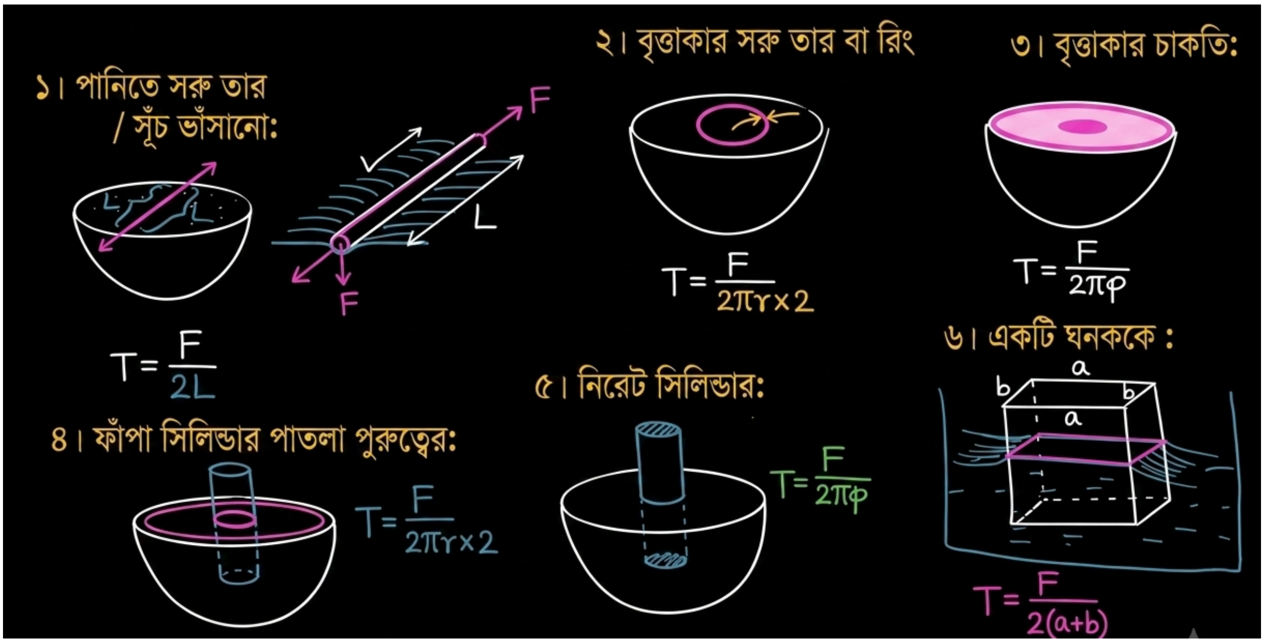
এখানে L-এর অর্থ খুব গুরুত্বপূর্ণ।
L হলো কোনো বস্তুর সেই দৈর্ঘ্য, যে দৈর্ঘ্য পর্যন্ত তরল বস্তুকে স্পর্শ করে থাকে।

$$\boxed{L = \text{তরল স্পর্শ করা দৈর্ঘ্য}}$$

$$L \neq \text{ডুবে থাকা দৈর্ঘ্য}$$

অর্থাৎ কোনো বস্তু যতটুকু অংশ তরলের সংস্পর্শে থাকে, শুধুমাত্র সেই অংশের দৈর্ঘ্যই পৃষ্ঠটানের সূত্রে L হিসেবে নেওয়া হয়।

পৃষ্ঠটানের সূত্রে L-এর মান নির্ণয়



চিত্র 3: বিভিন্ন আকৃতির জন্য পৃষ্ঠটানের সূত্রে L-এর মান

পৃষ্ঠটানের সূত্রে L-এর মান নির্ণয় করতে হলে প্রথমে বুঝতে হবে—L হলো সেই দৈর্ঘ্য, যতটুকু দৈর্ঘ্য তরল বস্তুকে স্পর্শ করে থাকে। নিচে বিভিন্ন ক্ষেত্রে L-এর মান নির্ণয় করা হলো।

১. পানিতে সরু তার বা সুচ ভাসানো

প্রথমে মনে কর, পানিতে একটি সরু তার বা একটি সুচ ভাসানো হলো।
একটি পাত্রে পানি নেওয়া হলো। এরপর এর মধ্যে একটি সুচ ভাসানো হলো। এই ক্ষেত্রে আমরা যদি পৃষ্ঠটানের সূত্র লিখি,

$$T = \frac{F}{L}$$

এখানে L-এর মান কত হবে সেটা বুঝতে হবে।
ধরো, এই সুচের দৈর্ঘ্য হচ্ছে L (বড় হাতের L)। ভালো করে সুচটাকে লক্ষ্য করো।
এখন দেখো, সুচের এক পাশের যে দৈর্ঘ্য, সেই দৈর্ঘ্য তরল স্পর্শ করে আছে। অর্থাৎ এক পাশে L দৈর্ঘ্য তরল স্পর্শ করছে। আবার অপর পাশেও L দৈর্ঘ্য তরল স্পর্শ করে আছে।

তাই উপর থেকে তাকালে দেখা যাবে, সুচের দুই পাশেই পানির সংস্পর্শ রয়েছে। এক পাশের পানি এই L দৈর্ঘ্য বরাবর সুচের উপর বল প্রয়োগ করছে এবং অপর পাশের পানিও L দৈর্ঘ্য বরাবর বল প্রয়োগ করছে।
অতএব, মোট যে দৈর্ঘ্যে তরল স্পর্শ করে আছে,

$$L + L = 2L$$

এই বিষয়টি ভালোভাবে বুঝতে হবে।
এখন বিষয়টিকে একটু বড় করে চিন্তা করি। সুচ বা তার যখন পানির পৃষ্ঠে ভাসে, তখন পানির পৃষ্ঠটি একটি টানটান পর্দার মতো আচরণ করে। সুচ যেখানে ভাসে, সেখানে পানির পৃষ্ঠ একটু নিচের দিকে বেঁকে যায়।
এখন দেখো, সুচের দুই পাশেই পানি আছে। তাহলে দুই পাশেই পৃষ্ঠটান বল কাজ করছে। এক পাশের পানি পৃষ্ঠটান বল দিয়ে একদিকে টানছে এবং অন্য পাশের পানিও পৃষ্ঠটান বল দিয়ে বিপরীত দিকে টানছে।
তাহলে দুই পাশে মোট স্পর্শ করা দৈর্ঘ্য হবে,

$$L = 2L \quad \text{(মোট স্পর্শ করা দৈর্ঘ্য)}$$

অতএব,

$$T = \frac{F}{2L}$$

সতর্কতা

অনেকে ভুল করে মনে করে নিচের অংশও তো পানির সাথে স্পর্শ করছে, তাহলে সেটাও L হবে। কিন্তু নিচের অংশটি দৈর্ঘ্য নয়, এটি একটি ক্ষেত্রফল। এটি পানির নিচে ডুবে আছে। পৃষ্ঠটানের ক্ষেত্রে শুধু সেই দৈর্ঘ্য নিতে হবে, যে দৈর্ঘ্য তরলের মুক্ত পৃষ্ঠকে স্পর্শ করে আছে।

২. বৃত্তাকার সরু তার বা রিং

এবার ধরো, একটি বৃত্তাকার সরু তার বা রিং পানিতে ভাসানো হলো।
একটি পাত্রে পানি নিয়ে তার মধ্যে একটি বৃত্তাকার সরু তার বা রিং ভাসানো হলো। ধরা যাক, রিংটির

ব্যাসার্ধ r

এখন দেখো, রিংটির ভিতরেও পানি আছে এবং বাইরেও পানি আছে।

উপর থেকে তাকালে দেখা যাবে, ভিতরের দিকের দৈর্ঘ্যও পানির সংস্পর্শে আছে এবং বাইরের দিকের দৈর্ঘ্যও পানির সংস্পর্শে আছে।

তাই মোট স্পর্শ করা দৈর্ঘ্য হবে,

$$L = 2\pi r + 2\pi r = 4\pi r$$

অতএব,

$$T = \frac{F}{4\pi r}$$

অর্থাৎ,

$$T = \frac{F}{2\pi r \times 2}$$

৩. বৃত্তাকার চাকতি

এবার একটি বৃত্তাকার চাকতি পানিতে ভাসানো হলো।

একটি পাত্রে পানি নিয়ে একটি বৃত্তাকার চাকতি ভাসানো হলো। এই চাকতির ভিতরে পানি নেই। তাই পানি শুধু চাকতির বাইরের অংশকে স্পর্শ করছে।

এখানে ভিতরের ও বাইরের দুই পাশ নেই। শুধু বাইরের অংশ পানির সংস্পর্শে আছে।

তাই স্পর্শ করা দৈর্ঘ্য হবে,

$$L = 2\pi r$$

অতএব,

$$T = \frac{F}{2\pi r}$$

৪. ফাঁপা পাতলা সিলিন্ডার

এবার ধরা যাক, একটি পাতলা পুরুত্বের ফাঁপা সিলিন্ডার পানিতে নিমজ্জিত করা হলো।
মনে রাখতে হবে, পৃষ্ঠটান শুধু ভাসমান বস্তুর ক্ষেত্রেই কাজ করে না, তরল স্পর্শ করলেই কাজ করে।
এখন ফাঁপা সিলিন্ডারটি পানিতে ডুবানো হলো। দেখো, ভিতরেও পানি আছে এবং বাইরেও পানি আছে।
তাই উপর থেকে তাকালে দেখা যাবে, ভিতরের অংশ এবং বাইরের অংশ—দুই অংশই পানির সংস্পর্শে আছে।
ভিতরের দৈর্ঘ্য = $2\pi r$
বাইরের দৈর্ঘ্য = $2\pi r$
তাহলে মোট স্পর্শ করা দৈর্ঘ্য,

$$L = 2\pi r + 2\pi r = 4\pi r$$

অতএব,

$$T = \frac{F}{4\pi r} = \frac{F}{2\pi r \times 2}$$

৫. নিরেট সিলিন্ডার

এবার একটি নিরেট সিলিন্ডারকে পানিতে ডুবানো হলো।
নিরেট সিলিন্ডারের ভিতরে পানি ঢুকতে পারবে না। তাই পানি শুধু বাইরের অংশকে স্পর্শ করবে।
অতএব, শুধুমাত্র বাইরের দৈর্ঘ্য নিতে হবে।
বাইরের পরিধি,

$$L = 2\pi r$$

অতএব,

$$T = \frac{F}{2\pi r}$$

৬. ঘনক

এবার একটি ঘনককে পানিতে নিমজ্জিত করা হলো।

ধরা যাক, ঘনকের দৈর্ঘ্য a এবং প্রস্থ b।

এখন পানির পৃষ্ঠের দিকে লক্ষ্য করো। পানির সংস্পর্শে যে অংশটি আছে, শুধু সেই অংশের দৈর্ঘ্য নিতে হবে।

উপর থেকে দেখলে দেখা যাবে,

এক পাশের দৈর্ঘ্য = a

অপর পাশের দৈর্ঘ্য = b

আবার অপর দুই পাশেও, a এবং b দৈর্ঘ্য পানির সংস্পর্শে আছে।

তাহলে মোট স্পর্শ করা দৈর্ঘ্য,

$$L = a + b + a + b = 2(a + b)$$

অতএব,

$$T = \frac{F}{2(a + b)}$$

সারসংক্ষেপ: বিভিন্ন ক্ষেত্রে L-এর মান

ক্রম	বস্তুর আকৃতি	স্পর্শ করা দৈর্ঘ্য (L)
১.	সরু তার / সুচ	$2L$
২.	বৃত্তাকার রিং	$4\pi r$
৩.	বৃত্তাকার চাকতি	$2\pi r$
৪.	ফাঁপা সিলিন্ডার	$4\pi r$
৫.	নিরেট সিলিন্ডার	$2\pi r$
৬.	ঘনক	$2(a + b)$