Surface tension

(کشش سطحی)

مقدمه

- هر ماده ای جامد یا مایع از لحاظ هندسی از سطح و بخش حجمی یا درونی تشکیل شده است که هر کدام ویژگی های منحصر به فرد خود را دارد. سطح مواد مختلف از نظر تمایل به چسبندگی و برهم کنش با مواد دیگر، در مقایسه با بخش درونی خود بسیار متفاوت اند.
- کشش سطحی یک پدیده فیزیکی است که طی آن، سطحی از مایع که با گاز در تماس است مانند یک صفحه الاستیک عمل می‌کند. همانطور که اشاره شد، عبارت کشش سطحی عموما برای حالتی به کار می‌رود که سطح مایع با یک گاز مانند هوا در تماس باشد.
- در حالتی که سطح مورد نظر، بین دو سیال قرار داشته باشد (مانند سطح مشترک بین آب و روغن) نیز نیروی کششی مشاهده می‌شود و به این نیروی کششی، «کشش بین سطحی (Interface Tension) گفته می‌شود.

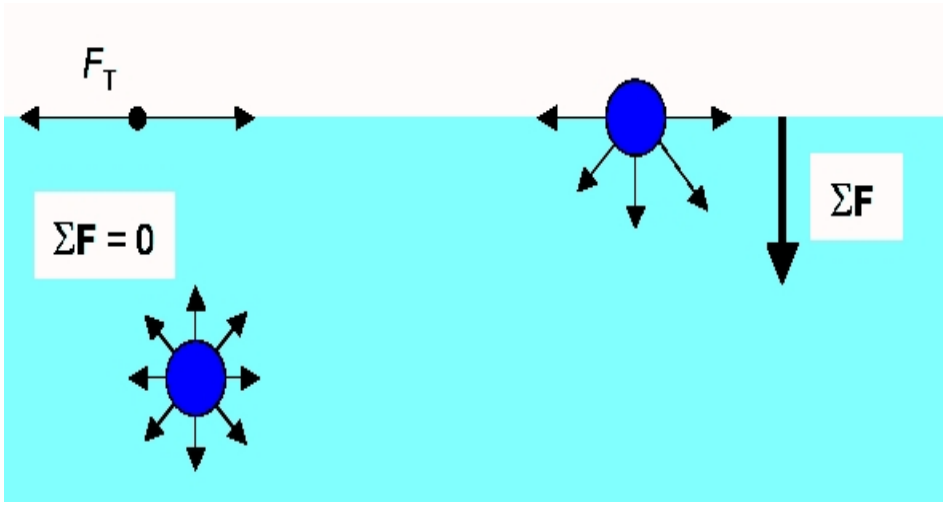
- در دهه های اخیر مطالعه کشش سطحی، نیروهای بین مولکول ها در فصل مشترک سطح تماس فازها و جذب سطحی عوامل فعال سطحی را در سطح مایعات روشن کرده است . موادی مثل تخم مرغ، کره، شیر، جوهر، سفال و رنگ که از دیرباز بشر با آن ها سر و کار داشته، امروزه با مطالعه کشش سطحی بهتر درک می شوند و قابلیت بهبود دارند . تکنیک های نوین مانندپلیمریزاسیون امولسیون، فرمولاسیون داروسازی، میکرو امولسیون ها، کاتالیزورهای میسلار، شیوه های نوین لعابزنی و فرایندهای سرامیکی، فیلم های عکاسی و سنتز کریستال های مایع جدید برای کاربرد میکروالکترونیک همگی به طور مستقیم از مطالعه کشش سطحی برخاسته اند .مشکلاتی نظیر بازیافت روغن، نشت آن، تمیز کردن منابع آب و کاهش آلودگی محیط به کمک مطالعه کشش سطحی مایعات حل می شوند.

انرژی سطح

- اجزای سازنده یک ماده از لحاظ انرژی در بخش درونی و سطح و نزدیک به سطح تفاوت خواهند داشت .به عبارتی هر جز در بخش درونی، تحت تاثیر برایند نیروهای یکنواخت است .وقتی سطحی ایجاد می شود، انرژی کل سیستم مقدار ثابت جدیدی نشان داده که انرژی سطح (**γ**)بیش از پیش دارد .این انرژی اضافی، انرژی آزاد سطح یا به طور دقیق تر، انرژی آزاد اضافی سطح است. وقتی عبارت انرژی آزاد اضافی ویژه سطح به کار برده می شود، نشان دهنده انرژی بر واحد سطح است.

کشش سطحی

- همانطور که می‌دانید، نیروهای بین مولکولی زیادی مانند نیروهای «وان در والس (Van der Waals)»، ذرات سیال را نزدیک یکدیگر نگه می‌دارد. در طول سطح سیال نیز، ذرات موجود در سطح به سمت سایر ذرات سیال کشیده می‌شوند.
- مطابق شکل، زمانی که یک مولکول درون سیال قرار دارد، نیروهای بین مولکولی از تمام جهات به آن مولکول وارد می‌شود و در نتیجه برایند نیروهای وارد بر آن برابر با صفر است. اما زمانی که مولکول در سطح قرار گرفته باشد، نیروهای بین مولکولی از پایین و طرفین به آن وارد می‌شود و نیروی خالص به سمت پایین به آن وارد می‌شود.


F_T
ΣF = 0
ΣF

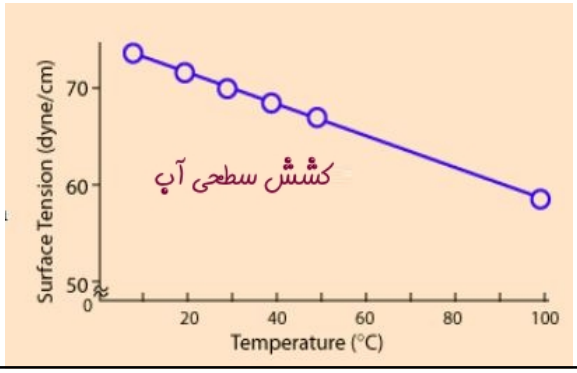
- کشش سطحی با نماد یونانی گاما (γ) نمایش داده می‌شود و به صورت ریاضی برابر است با نسبت نیروی سطحی (F) به طولی (d) که نیرو به آن وارد می‌شود.

$$\gamma = \frac{F}{d}$$

- برای مثال اگر آب، درون یک استوانه قرار داشته باشد، محیط استوانه به عنوان طولی در نظر گرفته می‌شود که کشش سطحی به آن وارد شده است .واحد کشش سطحی در SI با واحد نیوتون بر متر (N/m) و در cgs با واحد dyn/cm نشان داده می‌شود. علاوه بر موارد ذکر شده، برای بررسی ترمودینامیک پدیده کشش سطحی، می‌توان این پدیده را بر حسب **کار** در واحد سطح نیز بیان کرد. در این حالت واحد کشش سطحی در سیستم SI برابر با J/m^2 خواهد بود.
- نیروی کشش سطحی باعث به هم چسبیدن ذرات موجود روی سطح می‌شود ولی از آن‌جایی که این نیروی چسبندگی ضعیف است، بسیار راحت می‌توان سطح مایع را شکست و به داخل آن نفوذ کرد.

مقایسه خاصیت پاک کنندگی آب داغ و سرد

- کشش سطحی آب در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد برابر با ۷۲ dynes/cmاست. این عدد نشان می‌دهد که برای شکستن سطح آبی به طول یک سانتی متر، ۷۲ dynesنیرو لازم است. نکته بسیار مهم این است که کشش سطحی آب با افزایش دما، کاهش می‌یابد. این موضوع در شکل زیر به تصویر کشیده شده است.



- در واقع کشش سطحی، ناشی از قطبی بودن مولکول‌های آب است. با توجه به شکل بالا می‌توان بیان کرد که آب داغ، کشش سطحی پایینی دارد، سطح آن راحت‌تر شکسته می‌شود و بنابراین سطح را بهتر خیس و به راحتی به حفره‌ها نفوذ می‌کند. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که آب داغ خاصیت پاک کنندگی بیشتری نسبت به آب سرد دارد.
- خاصیتی که در بالا برای آب داغ توضیح داده شد، برای مواد شوینده مانند صابون نیز صادق است. این مواد با کاهش میزان کشش سطحی آب، قدرت خیس شوندگی سطح را افزایش می‌دهند و در نتیجه محلول حاصل، راحت‌تر در حفره‌ها نفوذ می‌کند. بنابراین قدرت پاک کنندگی آن بالا می‌رود.

مثال‌هایی از کشش سطحی

در این قسمت به بررسی مثال‌هایی در طبیعت می‌پردازیم که عامل آن‌ها کشش سطحی است. در واقع بسیاری از جانداران در طبیعت برای زندگی خود از پدیده کشش سطحی استفاده می‌کنند. همچنین پدیده‌های فیزیکی زیادی نیز موجود است که عامل اصلی وقوع آن‌ها کشش سطحی است. در آزمایشگاه نیز آزمایش‌های تجربی جالب و گوناگونی با استفاده از پدیده کشش سطحی می‌توان انجام داد. این بخش به بررسی برخی از این گونه از پدیده‌ها می‌پردازد.

الف-قطرات آب

- زمانی که ما از یک قطره چکان برای ایجاد قطرات آب استفاده می‌کنیم، آب به صورت پیوسته جریان نمی‌یابد، بلکه به صورت تعدادی قطره شروع به جریان می‌کند. شکل این قطره‌ها را کشش سطحی آب تعیین می‌کند.
- توجه شود که کشش سطحی در تمام جهات به صورت یکسان به قطره وارد می‌شود و این موضوع باید شکل قطره را به صورت کره در بیاورد ولی در واقعیت قطره به صورت کرده نیست و شکل آن همانند یک اشک دیده می‌شود. دلیل این موضوع، حضور نیروی گرانش است. در واقع نیروی گرانش باعث کشش این قطره به سمت پایین و انحراف از حالت کروی آن می‌شود.
- اگر گرانش حضور نداشته باشد، نیروی کشش سطحی، سطح قطره را کمینه می‌کند. کمینه شدن سطح باعث کمینه شدن نیروی کشش سطحی می‌شود. در ریاضی نشان داده شده که وقتی یک حجم ثابت از جسمی در اختیار داریم، کره مینیومم سطح بین تمام سطوح ممکن را دارد. بنابراین شکل قطره به صورت کره در می‌آید.

ب- حشراتی که روی آب راه می‌روند

- بسیاری از حشرات توانایی حرکت و راه رفتن روی آب را دارند. پاهای آن‌ها طوری طراحی شدند که وزن حشرات به صورت همگن توزیع می‌شود. در این حالت حشره بدون شکستن سطح مایع توانایی حرکت روی آب را دارد. این موضوع در شکل زیر نشان داده شده است.

ج- قرار گرفتن سوزن روی آب

- همانطور که می‌دانید، چگالی سوزن به عنوان یک جسم فلزی بیشتر از آب است ولی در صورتی که سطح آب نشکند، نیروهای سطحی آب توان تحمل وزن سوزن را دارند. انجام این آزمایش نیاز به تمرکز بالایی دارد. توجه کنید که اضافه کردن صابون به آب می‌تواند کشش سطحی را کاهش دهد و در نهایت این سوزن به داخل آب فرو برود.

روش های اندازه گیری کشش سطحی مایعات

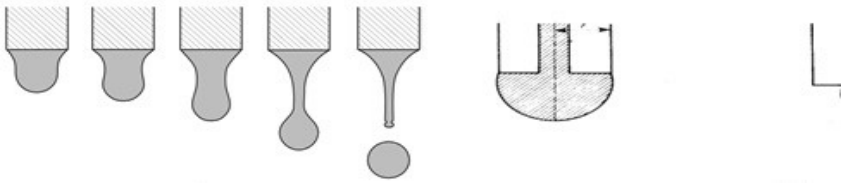
- اهمیت کشش سطحی ایجاب می کند تا اطلاعات دقیقی از مقدار آن برای مایعات داشته باشیم. به طور کلی می توان روش های اندازه گیری کشش سطحی را به دو دسته استاتیک و دینامیک تقسیم بندی کرد. روش های استاتیک نظیر حلقه و صفحه هستند که می توانند کشش سطحی را برای یک مایع در حالی که کشش سطحی ثابت است و تغییر نمی کند اندازه بگیرند، ولی روش های دینامیک علاوه براندزه گیری کشش سطحی استاتیک، کشش سطحی دینامیک را که کشش سطحی متغیر با زمان (مثلا با افزودن سورفاکتانت یا تغییر دما) است، اندازه گیری می کنند. در ادامه مکانیزم، دقت، مزایا و معایب روش های اندازه گیری کشش سطحی بررسی خواهد شد.

۱-بالا آمدن مایع در لوله مویین

- این روش که قدیمی ترین روش تعیین کشش سطحی مایعات است، از یک لوله مویین که به صورت عمودی وارد مایعات می شود بهره می برد. هنگامی که مایعی درون لوله مویین وارد می شود و در جایی ثابت می ماند، دو نیرو در تعادل هستند؛ یکی نیروی وزن مایع و دیگری نیروی ناشی از کشش سطحی، به طوری که مولفه عمودی نیروی کشش سطحی با نیروی وزن برابری می کند. این روش معمولا به سادگی در هر آزمایشگاهی قابل استفاده است و در بازار دستگاهی برای بررسی کشش سطحی به روش بالا آمدن مایع در لوله مویین به فروش نمی رسد، چون تنها با استفاده از یک لوله مویین و خط کش می توان مقدار کشش سطحی را البته با دقت کم تعیین کرد.

۲–وزن یا حجم قطره (قطره سنج)

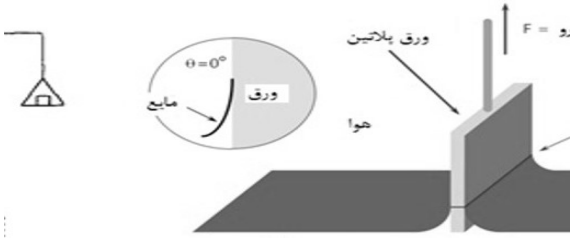
- روش قطره سنجی یکی از رایج ترین روش ها برای تعیین مقدار کشش سطحی است. در این روش، قطرات در نوک یک لوله مویین که مایع پشت آن مطابق شکل ۱–الف جمع شده است، به آرامی مانند شکل ۱–ب تشکیل می شوند. هنگامی که قطره در نوک لوله مویین به صورت عمودی تشکیل می شود، پس از مدتی از نوک لوله مویین جدا میشود که این جدایش به سبب بیش تر شدن نیروی وزن قطره از نیروی کشش سطحی است.



- در عمل، پس از افتادن چند قطره و محاسبه وزن میانگین آن ها، می توان حجم قطره را در صورتی که چگالی مایع مشخص باشد، محاسبه کرد و در نهایت کشش سطحی به کمک معادله محاسبه می شود.
- در صورت داشتن حجم قطره می توان کشش سطحی را بر حسب حجم نیز محاسبه کرد. به همین دلیل است که نام دیگر این روش اندازه گیری، روش حجم قطره است.

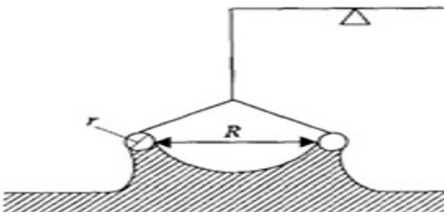
۳-ورق ویلهلمی

- یکی دیگر از روش هایی که برای اندازه گیری مقدار کشش سطحی به کار برده می شود، روش ورق ویلهلمی است . در این روش به منظور اندازه گیری کشش سطحی یک ورق تمیز پلاتین، شیشه یا کاغذ صافی به طور عمودی تا نصف ارتفاع آن ورق وارد مایع می شود. وقتی که مایع سطح ورق را کاملا خیس کند، در نزدیکی ناحیه سه فازی، نیروی کشش سطحی به صورت عمودی به ورق وارد می شود (شکل ۲-الف). نیروی وارد شده بر ورق با توجه به میزان ترشوندگی ورق، به وسیله یک کشش سنج یا میکرو بالانس اندازه گیری می شود . دراین روش ورق باید کاملا تمیز باشد، زیرا هر گونه آلودگی و ناهمواری روی ورق نتایج را از مقدار واقعی منحرف می سازد.



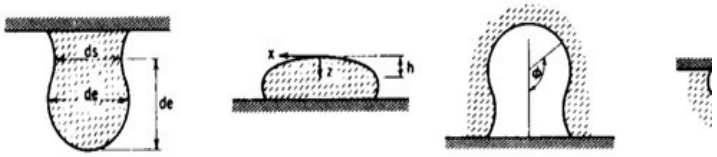
٤–حلقه

- این روش نیز که مانند روش ورق ویلهلمی بر اساس اندازه گیری نیرو است، توسط دو نوی فرانسوی در سال ۱۹۱۹ میلادی ابداع شد. تفاوت این روش با روش ورق ویلهلمی در این است که به جای ورق، از حلقه استفاده می شود. در این روش، یک حلقه از جنس پلاتین وارد مایع می شود و نیرویی که برای جدا کردن حلقه از سطح مایع لازم است به دقت اندازه گرفته می شود که با کشش سطحی ارتباط دارد (شکل ۲–ب). حلقه باید عاری از هر گونه لکه و خش باشد. چون نتایج به شدت تحت تاثیر قرار می گیرد.



۵-بررسی اپتیکی کشش سطحی

- وقتی قطره یا حبابی تشکیل می شود، اگر اندازه اش از یک مقدار بحرانی بزرگ تر باشد، آن گاه نیروی جاذبه بر شکل آن قطره یا حباب تاثیر می گذارد و آن را دچار تغییر شکل می کند. در چنین شرایطی که نیروهای سطحی و جاذبه با یک دیگر قابل مقایسه هستند، می توان مقدار کشش سطحی مایع یا کشش بین سطحی مایع-مایع را تعیین کرد. مطابق شکل زیر از چهار روش اپتیکی که در این شکل نام برده شده، می توان کشش سطحی را با بررسی شکل یا زاویه تماس محاسبه کرد.



الف) حباب گیر کرده ب) حباب چسبیده پ) قطره چسبیده ت) قطره آویزان

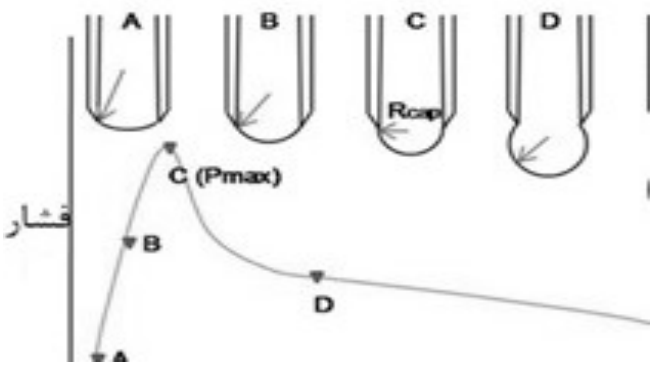
٦-قطره چرخان

- روش قطره چرخان، یکی دیگر از روش های اندازه گیری کشش سطحی است که معمولا برای اندازه گیری کشش سطحی مایع -استفاده می شود. این روش به این صورت کار می کند که دو فاز مایع-گاز و مایع-مایع با مقدار کشش سطحی کم با چگالی های متفاوت، درون یک محفظه لوله ای بسته قرار می گیرند که حول یک محور افقی، با سرعت معین می چرخد . تحت تاثیر نیروی ناشی از چرخش (گریز از مرکز) و کشش سطحی، فاز سبک تر که مقدار کم تری دارد، به شکل تعادلی یک قطره کش آمده حول محور چرخش در می آید. پس از شروع چرخش، شکل حباب یا قطره در اثر نیروی گریز از مرکز تغییر می کند تا زمانی که در اثر تعادل نیروی گریز از مرکز و نیروی کشش سطحی شکل جدید حباب یا قطره ثابت می ماندو تغییر نمی کند.

۷–فشار حباب بیشینه

- این روش بر اساس اندازه گیری اختلاف فشار درون و بیرون یک سطح خمیده است که فشار لاپلاس نامیده می شود. ارتباط فشار و کشش سطحی به کمک معادله یانگ–لاپلاس برقرار می شود.
- این روش که مخترع اولین دستگاه آن، سیمون است (۱۸۵۱ میلادی)، به این صورت انجام می شود که ابتدا نوک لوله مویین درون مایع قرار داده می شود و فشار هوا پشت لوله مویین افزایش می یابد تا جایی که یک حباب در نوک لوله مویین در داخل مایع تشکیل شود . فشار حباب بیشینه در لحظه ای است که حباب کمترین شعاع خمیدگی را دارد که برابر شعاع داخلی لوله مویین است. با اندازه گیری این فشار و داشتن شعاع لوله مویین، کشش سطحی به راحتی قابل محاسبه است.

روش فشار حباب بیشینه بهترین روش برای اندازه گیری کشش سطحی دینامیک است. با به کار گیری این روش علاوه بر تعیین مقدار لحظه به لحظه کشش سطحی می توان کینتیک و مکانیزم جذب و پاک کنندگی و شناوری و کف کردن و تعادل ترمودینامیکی را مورد بررسی قرار داد



نمودار فشار–زمان حبابی که در سر لوله مویین تشکیل می شود.

مقایسه روشها

- هر کدام از روش های ذکر شده مزایا و معایب خاص خود را دارد. برخی روش ها دقت بالا و برخی دیگر مانند بالا آمدن مایع در لوله مویین، دقت کمی دارند. همه روش ها به جز فشار حباب بیشینه، فقط توانایی اندازه گیری کشش سطحی استاتیک را دارند . روش فشار حباب بیشینه، علاوه بر کشش سطحی استاتیک، کشش سطحی دینامیک را نیز اندازه می گیرد . بعضی دستگاه ها بسیار سنگین و حجیم هستند و بعضی دیگر کوچک و سبک. تعدادی از روش ها با توجه به رنج اندازه گیری شان بسیار پر کاربرد هستند.

- قیمت و تولید کننده‌گان و رنج اندازه‌گیری دستگاه‌های اندازه‌گیری کشش سطحی [۴۴]

نوع دستگاه	تولید کننده	قیمت تقریبی به دلار	رنج اندازه‌گیری mN/m
دستی	Fisher	۷۹	-
دستی، تنظیم مکانیکی	Fisher, , CSC, Kahl	۲،۰۰۰-۴،۰۰۰	۱-۱۰۰۰
دستی، تنظیم الکتریکی	KSV, Lauda, NIMA	۴،۰۰۰-۱۱،۰۰۰	۱-۱۰۰۰
اتوماتیک،تنظیم الکتریکی	Cahn, Kruss, KSV, NIMA	۹،۰۰۰-۲۴،۰۰۰	۱-۲۰۰۰
اتوماتیک	Kruss, Lauda, Sense Dayne	۵،۰۰۰-۲۳،۰۰۰	۱۰-۱۰۰
دستی	Kruss, Rame-Hart	۷،۰۰۰-۱۰،۰۰۰	۰/۰۱-۱۰۰۰
اتوماتیک	ADSA, AST, FTA, Kruss, Rame-Hart	۱۰،۰۰۰-۱۰۰،۰۰۰	۰/۰۱-۱۰۰۰