فیزیك دانشگاهی
۲

ترجمه از متن

University Physics

تألیف :

F.W.SearsM.W.Zemansky

مترجم
فضل‌الله فروتن

www.KetabFarsi.com

www.KetabFarsi.com

حق طبع محفوظ

این کتاب به تعداد سه هزار جلد در شهریورماه هزار و سیصد وچهل و نه
و دو هزار جلد در اسفند ۱۳۵۳ و تعداد ۲۵۰۰ جلد در دیماه ۱۳۵۴
۷۰ گرمی و حروف ۱۲ نازك در دانشکده علم و صنعت ایران
به طبع رسیده

فهرست مندرجات

فصل دوازدهم
تعادل سیالات

عنوان	صفحه
۱۲ـ۱ ، مقدمه	۱
۱۲ـ۲ ، فشار در داخل یك مایع	۲
۱۲ـ۳ ، ظروف مرتبط	۵
۱۲ـ۴ ، فشار سنج ها	۶
۱۲ـ۵ ، پمپ های تخلیه	۸
۱۲ـ۶ ، قانون ارشمیدس	۱۱
۱۲ـ۷ ، نیروهای مؤثر بریك سد	۱۴
مسائل	۱۶

فصل سیزدهم
کشش سطحی

۱۳ـ۱ ، کشش سطحی	۲۲
۱۳ـ۲ ، کشش سطحی وانرژی سطحی	۲۵
۱۳ـ۳ ، اختلاف فشار بین دوسطح یك لایه	۲۷
۱۳ـ۴ ، سطوح می نیموم	۳۰
۱۳ـ۵ ، زاویه اتصال	۳۲
۱۳ـ۶ ، لوله های موئین	۳۵
مسائل	۳۷

فصل چهاردهم
هیدرودینامیك وویسکوزیته

۱۴ـ۱ ، مقدمه	۳۹
۱۴ـ۲ ، فرمول بقاء	۴۱
۱۴ـ۳ ، فرمول برنولی	۴۲
۱۴ـ۴ ، مواردداستفاده ازفرمول برنولی	۴۵
۱۴ـ۵ ، ویسکوزیته	۵۰
۱۴ـ۶ ، قانون پوازوی	۵۳
۱۴ـ۷ ، قانون ستوکس	۵۶
۱۴ـ۸ ، نیروی بالا برنده دینامیکی	۵۸
۱۴ـ۹ ، عدد رینولد	۶۲
مسائل	۲۲

فصل پانزدهم
دما وانبساط

۱۵ـ۱ ، دما	۷۰
۱۵ـ۲ ، دماسنج	۷۴
۱۵ـ۳ ، طرز وضع اشل دمائی	۷۶
۱۵ـ۴ ، درجه بندی سیلزیوس ، رانکین وفارنهایت	۸۱
۱۵ـ۵ ، انبساط جامدات ومایعات	۸۲
۱۵ـ۶ ، تنش گرمائی	۸۷
مسائل	۸۸

فصل شانزدهم
اندازه گیری گرما

۱۶ـ۱ ، گرما نوعی انرژی است	۹۲
۱۶ـ۲ ، واحد گرما ـ معادل مکانیکی گرما	۹۳

عنوان	صفحه
۱۶–۳ ، ظرفیت گرمائی	۹۴
۱۶–۴ ، اندازه گیری گرمای ویژه	۹۶
۱۶–۵ ، مقادیر تجربی ظرفیت گرمائی و گرمای ویژه	۹۸
۱۶–۶ ، تغییر حالت	۱۰۱
مسائل	۱۰۵
فصل هفدهم	
انتقال گرما	
۱۷–۱ ، هدایت	۱۲۹
۱۷–۲ ، جریان گرمائی در دیواره « مرکب	۱۱۶
۱۷–۳ ، جریان شعاعی گرما در یك لوله یا یك کره	۱۱۷
۱۷–۴ ، کنوکسیون	۱۱۸
۱۷–۵ ، تابش	۱۲۲
۱۷–۶ ، رادیاتور کامل یا جسم سیاه	۱۲۲
۱۷–۷ ، قانون پلانك	۱۲۴
۱۷–۸ ، قانون جابجائی وین ، قانون ستفان	۱۲۹
۱۷–۹ ، انتقال گرما ازطریق تابش	۱۳۲
۱۷–۱۰ ، قانون نیوتون درباره سردشدن اجسام	۱۳۳
مسائل	۱۳۴
فصل هیجدهم	
خواص گرمائی ماده	
۱۸–۱، معادلات مشخصه	۱۴۰
۱۷–۲، گاز کامل	۱۴۰
۱۸–۳ سطح PVT برای یك گاز کامل	۱۴۶
۱۸–۴، سطح PVT اجسام واقعی	۱۴۸
۱۸–۵، نقطه بحرانی و نقطه سه گانه	۱۵۲
۱۸–۶، اثر حل مواد بر نقطه جوش و نقطه ذوب یك جسم	۱۶۰
۱۸–۷، رطوبت	۱۶۰
۱۸–۸، اطاقك ابری ویلسن و Bubble Chamber	۱۶۲
مسائل	۱۶۴
فصل نوزدهم	
قوانین ترمودینامیك	
۱۹–۱، کار در ترمودینامیك	۱۶۸
۱۹–۲، کار در تغییر حجم	۱۶۹
۱۹–۳، کار و گرما	۱۷۱
۱۹–۴، اصل اول ترمودینامیك	۱۷۲
۱۹–۵، تحول آدیاباتیك	۱۷۴
۱۹–۶، تحول ایزکور (حجم پایا)	۱۷۵
۱۹–۷، « ایزوترم	۱۷۵
۱۹–۸، « ایزوبار (شارپایا)	۱۷۵
۱۹–۹، خفقان	۱۷۶
۱۹–۱۰، اصل اول ترمودینامیك بصورت دیفراسیل	۱۷۸
۱۹–۱۲، گرمای ویژه گاز کامل	۱۷۹
۱۹–۱۳، تحول آدیاباتیك گاز کامل	۱۸۳
۱۹–۱۴، تبدیل گرما بکار	۱۸۶
۱۹–۱۵، موتور بنزینی	۱۸۹
۱۹–۱۶، موتور دیزل	۱۹۰
۱۹–۱۷، ماشین بخار	۱۹۱
۱۹–۱۸، اصل دوم ترمودینامیك	۱۹۲
۱۹–۱۹، یخچال	۱۹۴

۱۹ـ۲۰، سیکل کارنو ۱۹۶
۱۹ـ۲۱، درجه بندی کلوین ۱۹۹
۱۹ـ۲۲، صفرمطلق ۲۰۱
۱۹ـ۲۳، آنتروپی ۲۰۲
۱۹ـ۲۴، اصل افزایش آنتروپی ۲۰۵
مسائل ۲۰۷

فصل بیستم
خواص ملکولی ماده

۲۰ـ۲، نظریه ملکولی ماده ۲۱۳
۲۰ـ۲، عدد آووگادرو ۲۱۶
۲۰ـ۲، معادله مشخصه گازهای کامل ۲۱۹
۲۰ـ۴، گرمای ویژه ملکولی گازها ۲۲۶
۲۰ـ۵، اصل توزیع متشابه انرژی ۲۲۷
۲۰ـ۶، توزیع سرعت برملکولها ۲۳۰
۲۰ـ۷، روش های تجربی اندازه گیری سرعت ملکولی ۲۳۲
۲۰ـ۸، سطح مقطع برخورد . پویش آزاد میانگین ۲۳۴
۲۰ـ۹، ویسکوزیته گازها ۲۳۸
۲۰ـ۱۰، معادلات مشخصه وان در والز و کلوزیوس ۲۴۲
۲۰ـ۱۱، بلورها ۲۴۵
۲۰ـ۱۲، گرمای ویژه بلورها ۲۴۷
مسائل ۲۵۰

فصل بیست ویکم
امواج انتقالی

۲۱ـ۱، مقدمه ۲۵۳
۲۱ـ۲ بیان ریاضی حرکت امواج انتقالی ۲۵۶
۲۱ـ۳، محاسبه سرعت انتشار امواج ۲۵۸
۲۱ـ۴، محاسبه سرعت انتشار امواج عرضی ۱
۲۱ـ۵، طبیعت آدیاباتیك امواج طولی ۶۳
مسائل ۷۱

فصل بیست ودوم
اجسام مرتعش

۲۲ـ۱، شرائط مرزی دریك سیم ۲۷۴
۲۲ـ۲، امواج ساکن درسیم ۲۷۵
۲۲ـ۳، ارتعاش سیمی بادوانتهای ثابت ۲۷۹
۲۲ـ۴، نمایش سری هم آهنگ‌ها در سیم مرتعش ۲۸۰
۲۲ـ۵، تشدید Resonance ۲۸۲
۲۲ـ۶، تداخل امواج طولی ۲۸۳
۲۲ـ۷، امواج ساکن طولی ۲۸۴
۲۲ـ۸، لوله‌های صوتی ۲۸۷
۲۲ـ۹، ارتعاش میله و صفحه ۲۸۸
مسائل ۲۹۰

فصل بیست وسوم
پدیده های کوستیکی

۲۳ـ۱، تغییر فشار درامواج صوتی ۲۹۳
۲۳ـ۲، شدت ۲۹۴
۲۳ـ۳، سطح شدت وبلندی صدا ۲۹۵
۲۳ـ۴، ارتفاع وطنین ۲۹۷
۲۳ـ۵، امواج کروی ۲۹۹
۲۳ـ۶، تابش ازسطح پیستن ، تفرق ۳۰۰
۲۳ـ۷، یازده تابشی یك منبع صوتی ۳۰۵
۲۳ـ۸، ضربان ۳۰۶
۲۳ـ۹، پدیده دوپلر ۳۰۷
۲۳ـ ۱۰ فواصل وگام درموسیقی ۳۱۱
مسائل ۳۱۳
خطوط مثلثاتی بین صفر درجه و ۹۰° از ۳۱۷
الی ۳۲۱

www.KetabFarsi.com

فصل دوازدهم

تعادل سیالات Hydro statics

۱۲–۱ ، مقدمه

هیدروستاتیك در باره سیالات ساکن و هیدرودینامیك درباره سیالات جاری صحبت میکنند . رشته خاصی از هیدرودینامیك که در باره جریان هوا و گازها بحث میکند «آئرودینامیك» نامیده میشود .

سیال جسمی است که بتواند جریان پیدا کند. بنابراین کلیه مایعات و گازها سیال هستند . فرق اساسی مایعات و گازها درقابلیت تراکم آنهاست . گازها بآسانی متراکم میشوند ولی مایعات عملا غیرقابل تراکم هستند . دراین مبحث ازتغییرجزئی حجم مایعات در اثر فشار صرفنظر میشود .

توده ویژه یك جسم عبارت است از جرم واحد حجم از آن جسم Kg/cm^3 و gm/cm^3 و $Slug/ft^3$ بترتیب واحدهای توده‌ویژه دردستگاههای آحاد mks و cgs وانگلیسی‌هستند . توده ویژه را باحرف یونانی ρ(rho) نمایش میدهند . خواهیم داشت :

$$\boxed{\rho=\frac{m}{V}\ ,\ m=\rho V} \qquad ۱-۱۲$$

مثلا جرم یك فوت مکعب آب ۶۲/۵lb یا ۱/۹۴slugs است پس توده ویژه آب در دستگاه انگلیسی آحاد $\frac{slugs}{ft^3}$ ۱/۹۴ خواهدبود. درجدول ۱۲–۱ توده‌ویژه چندجسم در دمای معمولی ثبت شده است .

جدول ۱۲ـ۱ توده ویژه اجسام

نام جسم	توده ویژه	نام جسم	توده ویژه
آلومینیوم	۲/۷ gm/cm³	نقره	۱۰/۵ gm/cm³
برنج	۸/۶ «	پولاد	۷/۸ «
مس	۸/۹ «	جیوه	۱۳/۶ «
طلا	۱۹/۳ «	الکل‌اتیلیک	۰/۸۱ «
یخ	۰/۹۲ «	بنزن	۰/۹۰ «
آهن	۷/۸ «	گلیسیرین	۱/۲۶ «
سرب	۱۱/۳ «	آب	۱/۰۰ «
پلاتین	۲۱/۴ «		

چگالی نسبی یك جسم عبارتست از نسبت توده ویژه آن جسم به توده‌ویژه آب و بنابراین عددی است مطلق .

۱۲ـ۲ ، فشار درداخل یك‌مایع

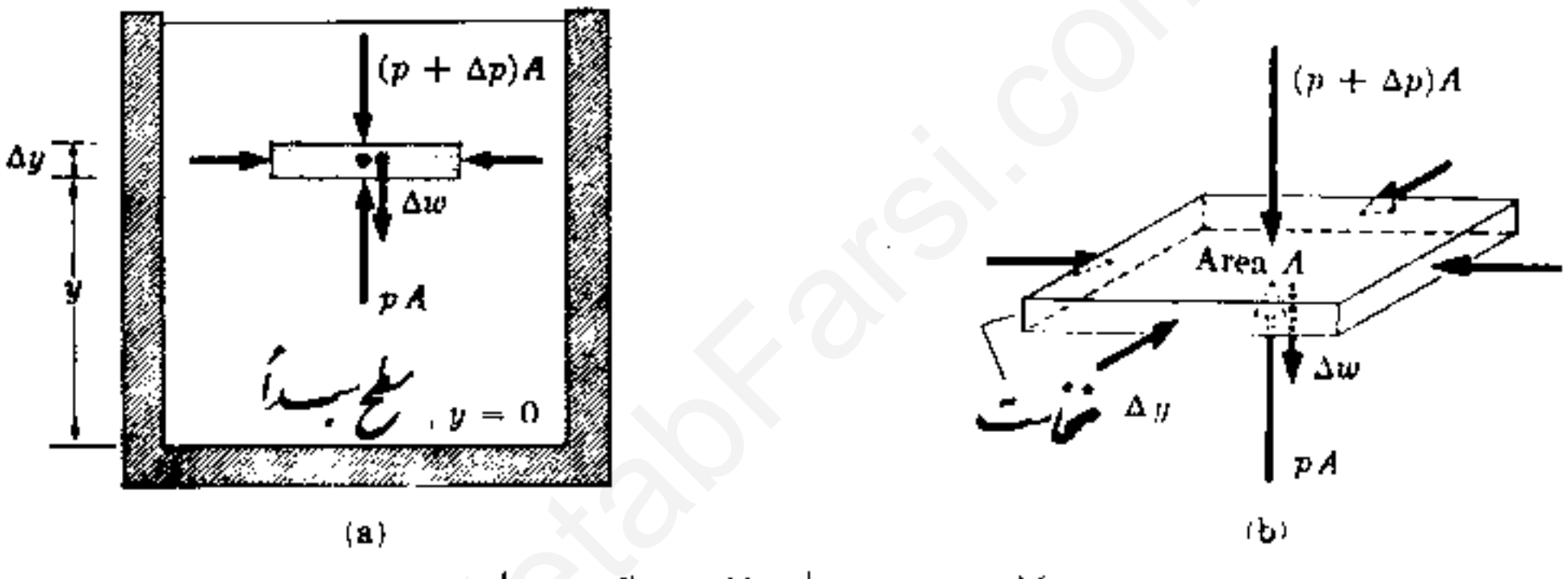
وقتی در قسمت ۱۰ـ۱ ازفشار هیدروستاتیکی صحبت کردیم. از وزن مایع صرفنظر کرده فشار را درتمام نقاط یکسان فرض‌کردیم . اما همگی بتجربه دریافته‌ایم‌که وقتی از سطح زمین بالا میرویم ویا ازعمق دریاچه‌ای بسطح‌آزادآب نزدیك میشویم فشارهوا و فشار آب‌کاهش‌مییابند . بنابر تعریف فشار **درهرنقطه** عبارت است خارج قسمت dF نیروئی‌که بسطح dA واقع درآن نقطه اثر میکند ، براندازه dA یعنی :

$$p = \frac{dF}{dA} \quad , \quad dF = P \cdot dA \qquad (۲-۱۲)$$

هرگاه اندازه فشار در تمام نقاط یك سطح معین A ثابت باشد فرمول بالا بصورت فرمول (۱۰ـ۳)که ذیلا نوشته شده است درمیاید .

$$p = \frac{F}{A} \quad , \quad F = pA$$

اینك رابطه عمومی **p** فشار درونی یك مایع رابا ارتفاع **y** مشخص میکنیم . هرگاه مایع بحال تعادل باشد هرجزء حجم که درداخل این مایع بطوردلخواه درنظر گرفته شود بحال تعادل است . حال تیغه‌ای ازمایع مطابق آنچه درشکل ۱۲ـ۱ نشانداده شده است در نظرمی‌گیریم . ضخامت تیغه **dy** وسطح آن **A** فرض شود . هرگاه توده ویژه مایع ρ باشد جرم تیغه مایع **ρAdy** ووزن آن **dw = ρgAdy** است . نیروی وارده براین تیغه درتمام نقـاط، برسطح عمود است . بعلت تقارن برآیند نیروهای وارده بسطح جانبی تیغه صفراست . نیروئی که از پائین ببالا برسطح زیرین تیغه اثرمیکند برابر است بـا **p.A** و نیروئی که



شکل ۱۲ـ۱ نیروهای مؤثر بر یك تیغه مایع

برسطح بالائی آن موثر است برابر **(p+dp)A** میباشد و چون تیغه بحال تعـادل است داریم :

$$\Sigma F_y = 0$$

$$pA - (p+dp)A - \rho gAdy = 0$$

و یا :

$$\boxed{\frac{dp}{dy} = -\rho g} \qquad (۳-۱۲)$$

چون **p** و **g** مقادیر مثبت هستند نتیجه میگیریم که وقتی **dy** مثبت بـاشد (افزایش ارتفاع) **dp** (کاهش فشار)منفی‌است. هرگاه p_1 و p_2 فشار درارتفاعات y_1 و y_2 (بالاتر ازسطحی که بعنوان سطح مبدء انتخاب شده است) باشند محاسبه انتگرال فرمول (۱۲ـ۳) بفرمول زیرمنتهی می‌شود درآن ρ و g ثابت‌اند.

$$p_2 - p_1 = -\rho g(y_2 - y_1)$$

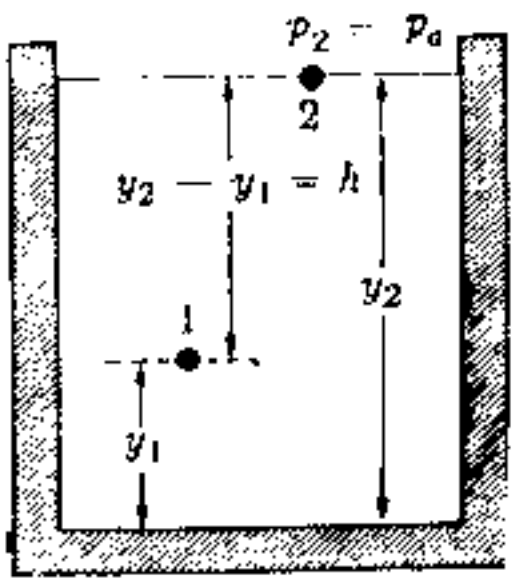
هر گاه بخواهیم این فرمول را درمورد یك منبع محتوی مایعی که بهوای آزاد مربوط است (شکل ۱۲ـ۲) بکاربریم نقطه (۱) را هر نقطه دلخواه درون مایع فرض کرده فشار آنرا p میگیریم نقطه (۲) را سطح آزاد مایع فرض میکنیم. دراینجا فشارهمان فشار هوای جو است که آنرا به p_a نمایش میدهیم . خواهیم داشت :

$$p_a - p = -\rho g(y_2 - y_1)$$

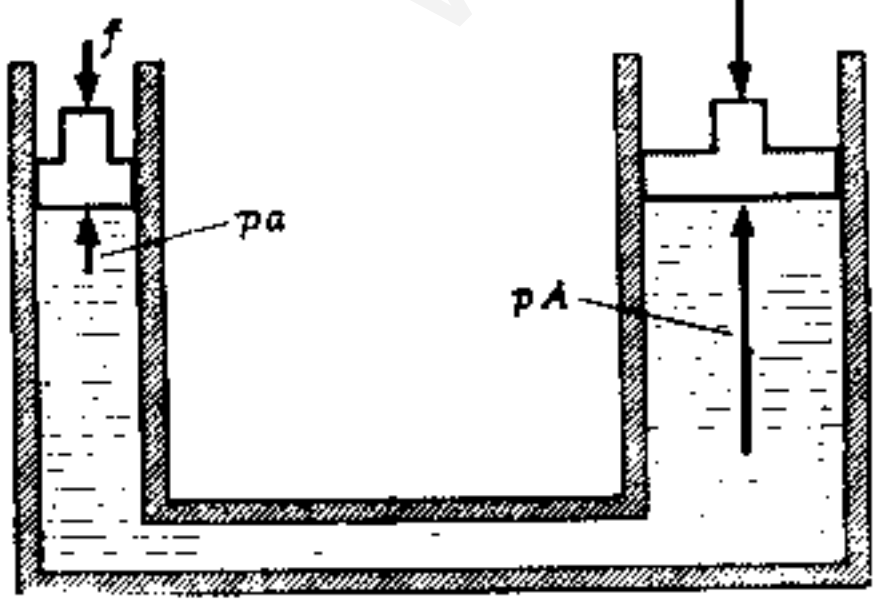
$$P = p_a + \rho gh \qquad (۴-۱۲)$$

ملاحظه میکنیم که شکل ظرف در اندازه فشار اثری ندارد. فشار در کلیه نقاطی که در یك عمق درون مایع قراردارند ثابت است. ازفرمول ۱۲ـ۴ همچنین نتیجه می‌شود که هر گاه بهرترتیب ممکن فشار p_a را زیادکنیم، مثلا پیستنی روی سطح مایع قرار داده بکمك آن فشار زیادی برمایع وارد آوریم، فشار درکلیه نقاط بهمان اندازه که درسطح افزوده شده افزایش مییابد . این مطلب را اولین بار Blaise Pascal دانشمندی فرانسوی (۱۶۲۳–۱۶۶۲) در ۱۶۵۳ بیان کرد و به «قانون پاسکال» معروف است و بدین صورت بیان می‌شود، **هرگاه برمایعی که درظرف مسدودی قرار دارد فشاری واردآید این فشاربتمام نقاط دیواره ظرف و نقاط درون مایع منتقل میشود** . اماچنانکه می بینیم این یك قانون مستقل فیزیکی نیست و ازقوانین عمومی مکانیك نتیجه می‌شود .

قانون پاسکال اساس ساختمان منگنه آبی یاپرس هیدرولیك است که درشکل ۱۲ـ۳ نشانداده شده است . چنانکه در شکل دیده می‌شود نیروی f برسطح a پیستن کوچك اثر



شکل ۱۲ـ۲ اساس منگنه آبی



شکل ۱۲ـ۳

میکند وبرمایع زیرپیستن فشار $p = \frac{f}{a}$ وارد می‌شود . این فشار توسط لوله‌ای به مخزن

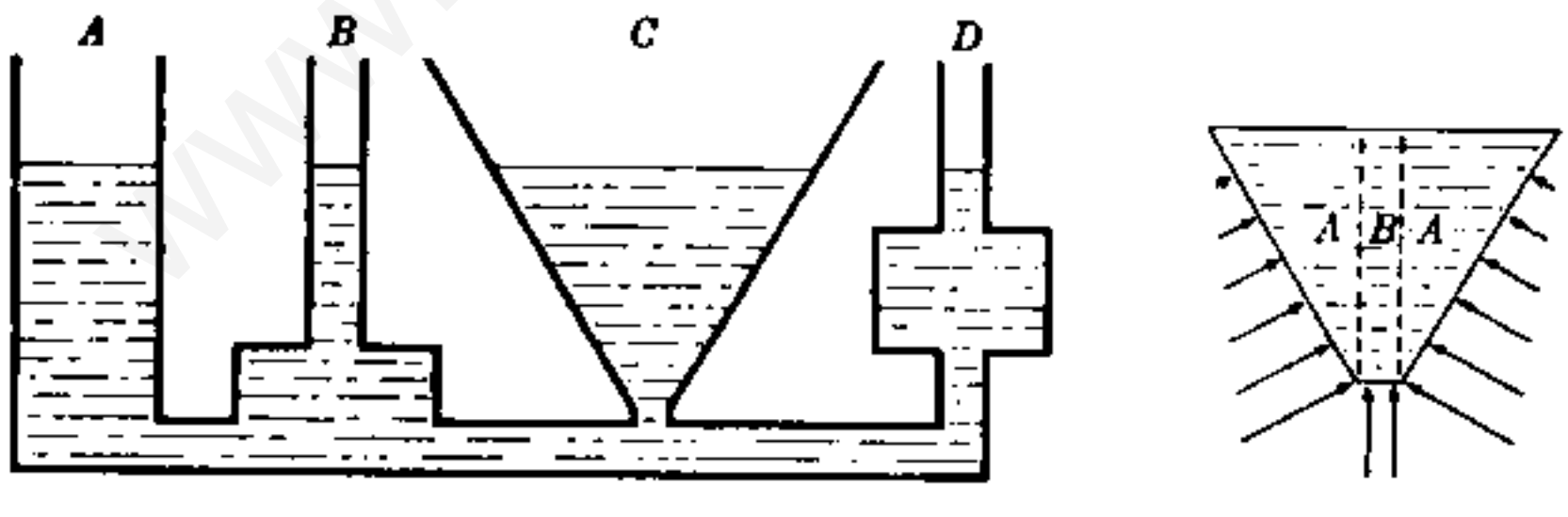
مایع واقع در زیر پیستن بزرگ منتقل می‌شود هر گاه سطح پیستن اخیر A فرض شود با در نظر گرفتن اینکه فشاردر دومخزن مایع براساس قانون پاسکال یکی‌است داریم :

$$p = \frac{f}{a} = \frac{F}{A} \quad و \quad F = \frac{A}{a} \cdot f$$

نتیجه میگیریم که پرس هیدرولیك اسبابی است که نیرو را چندبرابر افزایش میدهد وضریب افزایش‌آن $\frac{A}{a}$ یعنی نسبت دو سطح‌مقطع‌دوپیستن است . صنـدلی‌هائی که درآرایشگاهها و مطب دندانپزشك هاهست ، جك‌های روغنی که دربلندکردن اتومبیل‌هـا مورد استفاده قرار میگیرد وترمزهای روغنی نمونه‌های مختلف پرس هیدرولیك هستند .

۱۲ـ۳ ظروف مرتبط

هر گاه مطابق شکل ۱۲ـ۴ تعدادی ظرف با اشکال مختلف با لوله‌ای بهم مربوط باشند، چنانچه‌مایعی دریکی‌ازآنها ریخته‌شود، وارد همه ظرفها شده **سطح‌آزاد مایع درکلیه ظروف دریك سطح می‌ایستد** . پیش از کشف قـوانین هیدروستاتیك این پدیده حیرت‌آور بنظر آمده‌آنرا نوعی‌پدیده غیرطبیعی ومتناقض بااصول‌عقلی Paradox مینامیدند، زیرادر نظر قدما میبایست ظرفC فشاری بیشتر از B برکف واردکند. لذا بایدمایع‌از C وارد B شده سطح مایع در C پائین‌تر بایستد .



(a) (b)

شکل ۱۲ـ۴ ، (a) ظروف مرتبط ، سطح‌آزاد مایع درکلیه ظروف یکی است .
(b) نیروهای وارد برمـایع موجود در ظرف C

اما فرمول ۱۲ـ۴ نشان میدهدکه فشار فقط تابع عمق نقطه مـورد نظر ازسطح‌آزاد مایع است و به شکل ظرف بستگی ندارد و چون عمق ته ظروف ازسطح‌آزاد مایع درآنها یکسان است فشار وارده برکف درهمه ظرفهـا یکی است لذا مایع درهمه‌آنها بحال تعادل می‌ایستد .

باتوضیحی که اینك مورد بحث قرارمیگیرد شاید فهم مطلب آسانتر باشد . مایع موجود درظرف C را در نظر گیرید (ش ۱۲–۴ b) نیروهائی را که ازطرف بدنه شیب‌دار ظرف برمایع‌وارد می‌شود، و برسطح بدنه عموداست، بدو مؤلفه افقی و قائم‌تجزیه میکنیم. وزن قسمتی‌ازمایع که درشکل‌باحرف A مشخص شده است بامؤلفه قائم‌این نیروها خنثی‌می‌شود. لذا فشار وارد برکف ظرف فقط در اثر وزن ستونی ازمایع است که با B مشخص شده است . شکل ظرف هرچه باشد بیان فوق درباره‌آن قابل قبول است .

۱۲–۴ ، فشار سنج‌ها .

ساده‌ترین نوع فشارسنج مانومتر بالوله باز **open tube manometer** است که درشکل ۱۲–۵ (a) نشان داده شده است . این فشارسنج‌ازلوله‌ای بشکل U تشکیل شده است که یکطرف‌آن به فشار p که باید اندازه‌گرفته شود و طرف دیگرآن بهوای‌آزاد وصل است .

فشار وارد برپائین‌ترین مقطع ازسمت چپ لوله برابر $p+\rho gy_1$ است . ρ توده ویژه مایع‌میباشد. ازسمت‌راست فشاروارد برپائین‌ترین‌مقطع برابر $p_a+\rho gy_2$ است چون مایع بحال تعادل است باید این دوفشار باهم مساوی باشند پس داریم :

$$p+\rho gy_1=p_a+\rho gy_2$$

و ازآنجا :

$$p-p_a=\rho g(y_2-y_1)=\rho gh$$

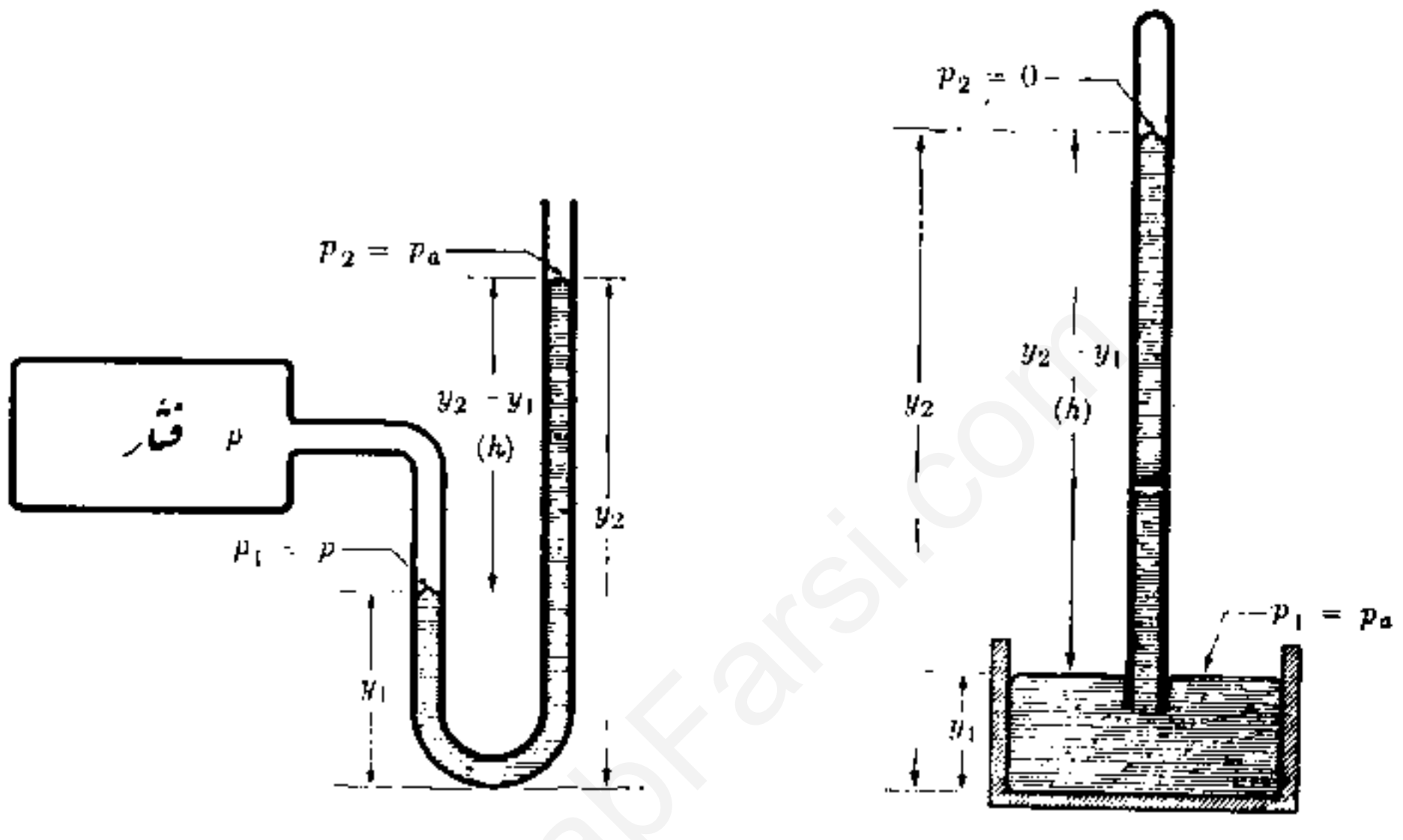
p را فشار مطلق و $p-p_a$ را فشارمانومتری یا **gauge pressure** مینامند .چنانکه می‌بینیم فشار مانومتری با اختلاف ارتفاع ستونهای مایع در دو شاخه لوله U شکل متناسب است .

فشارسنج مطلق یا بارومترجیوه‌ای لوله‌ای شیشه‌ای بطول تقریبی ۸۰ سانتیمتر است که ابتدا از جیوه پر شده و سپس بروی طشتکی پر از جیوه برگردانیده شده است (شکل ۱۲–۵ (b) درفضای‌بالای جیوه فقط بخار جیوه میتواند وجود داشته باشدکه فشارآن دردمای معمولی قابل اغماض است . بآسانی میتوان فهمیدکه :

$$p_a=\rho g(y_2-y_1)=\rho gh$$

چون بارومترها و مانومترهای جیوه‌ای‌درآزمایشگاهها و کارهای صنعتی زیاد مورد استفاده‌اند ، معمول براین است که فشار جیوه ویا سایرفشارها را برحسب «اینچ جیوه» یا

«سانتیمترجیوه» می‌سنجند درواقع «سانتیمترجیوه» واحد فشار نیست زیرا فشارخارج قسمت نیرو برسطح است وبیان فشار باعددی‌که فقط دیمانسیون طول داردکمی غیرمعقول است .



شکل ۱۲ـ۵ (a) مانومتر بالوله باز (b) بارومتر

مثـالـ فشار جو را دریك روز که ارتفاع ستون جیوه بارومتر ۷۶/۰cm است حساب کنید :

ارتفاع ستون جیوه تابع ρ توده‌ویژه‌آن ، g شتاب ثقل‌زمین ونیزتابع فشارجواست. لذا باید توده ویژه جیوه و شتاب ثقل زمین درمحل‌آزمایش معلوم باشد . g با تغییرارتفاع مکان ازسطح دریا وعرض جغرافیائی وتوده ویژه جیوه با دما تغییرمیکند . همه بارومترهای جیوه‌ای بایك دماسنج ویك جدول‌که بکمك‌آنها خطای ناشی ازتغییر دما و ارتفاع و عرض جغرافیائی قـابل محاسبه و تصحیح است مجهزمیباشند هرگاه فرض کنیم $g = ۹۸۰ \frac{cm}{sec^2}$ و $\rho = ۱۳/۶ \frac{gm}{cm^3}$ باشد خواهیم داشت :

$$p_a = \rho g h = ۱۳/۶ \frac{gm}{cm^3} \times ۹۸۰ \frac{cm}{sec^2} \times ۷۶cm = ۱۰۱۳۰۰۰ \frac{dynes}{cm^2}$$

(یعنی درحدود یك ملیون دین برسانتیمترمربع) دردستگاه‌آحاد انگلیسی داریم :

$$۷۶\text{cm}=۳۰\text{in}=۲/۵\text{ft}$$

$$\rho g=۸۵۰\text{lb}/\text{ft}^۳$$

$$p_a=۲۱۱۲۰\text{lb}/\text{ft}^۲=۱۴/۷\text{lb}/\text{in}^۲$$

فشار $۱/۰۱۳\times۱۰^۶\frac{\text{dynes}}{\text{cm}^۲}=۱/۰۱۳\times۱۰^۵\frac{\text{newtons}}{\text{cm}^۲}=۱۴/۷\frac{\text{lb}}{\text{in}^۲}$ را یك آتموسفر مینامند . فشار یك میلیون برسانتیمترمربع را یك‌با **Bar** مینامند واضح است‌که میتوان یکهزارم بار را یك میلی‌بار نامید. بنابراین فشارجو درحدود هزارمیلی‌بار است . این واحد اکنون واحد رایج‌درهواشناسی همه جهان منجمله ایالات متحدآمریکاست.

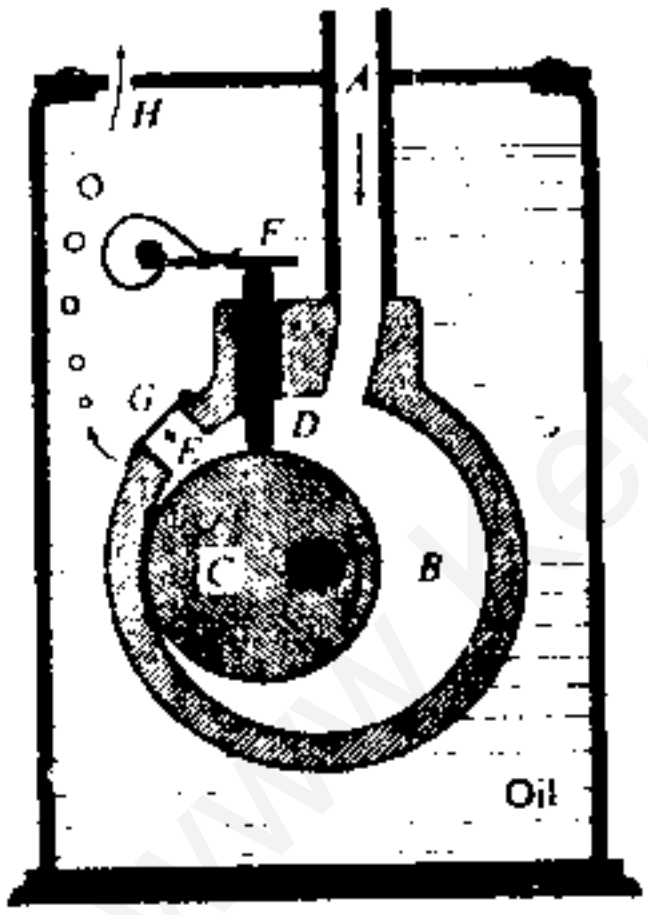
مانومتربوردن **Bourdon gauge** بیش از مانومتر حبوه‌ای معمول است . این مانومترتشکیل شده است از یك‌لوله برنجی‌که یك انتهای‌آن بسته است و بشکل قسمتی از دایره حلقه شده است . انتهای بسته لوله بکمك مکانیسم ساده‌ای‌که از دوچرخ دندانه‌دار تشکیل‌شده است میتواند عقربه‌ای را در مقابل درجاتی بحرکت درآورد . انتهای باز آن را میتوان بظرفی‌که فشاردرون‌آن باید سنجیده‌شودوصل نمود . وقتی فشارداخل لوله‌برنجی تغییرکند انحناء آن‌کم وزیاد میشود ، درست مثل‌اینکه وقتی ازلوله لاستیکی حلقه شده‌ای آب یا فشارعبورکند شعاع انحناءآن زیادتره‌میشود . باحرکت لوله برنجی بمقدارکم‌عقربه باندازه قابل ملاحظه‌ای دربرابر درجات حرکت میکند . درجه‌بندی طوری تعبیه شده است که فشار را بادقت مطلوب معین میکند .

۱۲ـ۵، پمپ هـای تخلیه

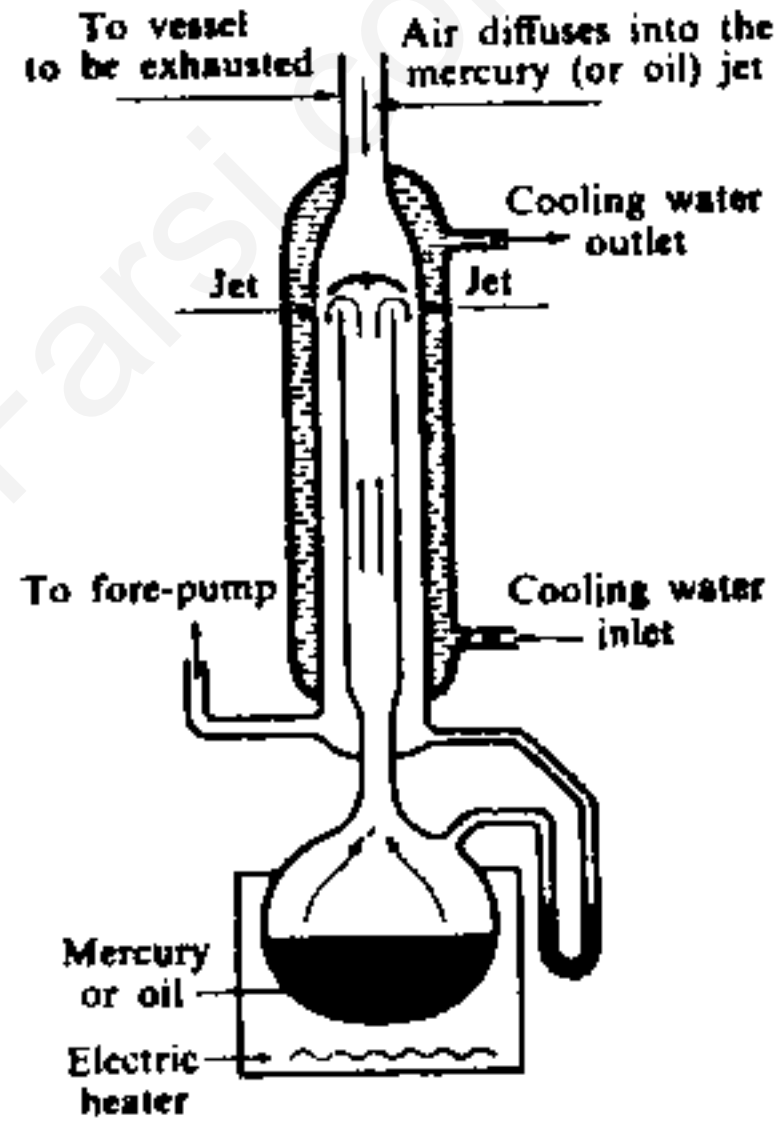
دربسیاری ازدستگاههائی‌که درزندگی روزمره و درصنعت مورد استفاده است ظروف شیشه‌ای یا فلزی دیده می‌شودکه هوای درون‌آنرا تخلیه‌کرده‌اند . مثلا لامپهای روشنائی ، لامپهای رادیو ، اسیلوگراف‌کاتدیك ، سلولهای فتوالکتریك ، مولدهای اشعه x وبسیاری ازدستگاههای دیگرازهوا تخلیه شده‌اند . اکثراین دستگاهها رانمیتوان بکاربردمگر اینکه درون‌آنها تا حدود نسبتاً زیادی خلاء ایجاد شود . بنابراین باید یادگرفت‌که چگونه فشار درون طرفی را به $۱۰^{-۸}$ میلی‌مترجیوه میرسانند . ما دراینجا ازمیان انواع متعدد پمپهای تخلیه ساختمان دونمونه ازآنها را مورد بحث قرارمیدهیم یکی **پمپ دوار روغنی** که تافشارهای حدود $۱۰^{-۴}$ میلیمترجیوه را میتواند ایجادکند و دیگری **پمپ دیفوزیون جیوه‌ای** که فشارهای درحدود $۱۰^{-۸}$ میلیمتر جیوه را میتواند ایجادکند .

شکل ۱۲ـ۶ نمایش شماتیك پمپ دوار روغنی‌است . ظرفی‌که باید تخلیه شود به‌لوله

A وصل میشود و چنانکه در شکل پیداست : این لـوله به محفظه B وصل است . وقتی استوانه اکس سانتریك C در جهتی‌که در شکل نشانداده شده است می‌چرخد نقطه اتصال آن با بدنه لوله‌ای ساکن خـارجی درجهت عقربه ساعت می‌چرخد در نتیجه هوای درون محفظه E تدریجاً فشرده شده فشارآن بحد کافی بالا میرود دریچه G بازشده هوای فشرده مذکور بیرون می‌رود . چون محفظه تخلیه درروغـن غرق است هوای خارج شده بصورت حبابهائی از روغن خارج میشود و از دهانه H وارد هـوای محیط میگردند . تیغه D که بافشار فنر F همیشه به محیط استوانه چسبیده است ارتباط محفظهٔ E را با محفظه B قطع میکند . استوانه C بکمك یك موتور الکتریکی کوچك می‌چرخد .



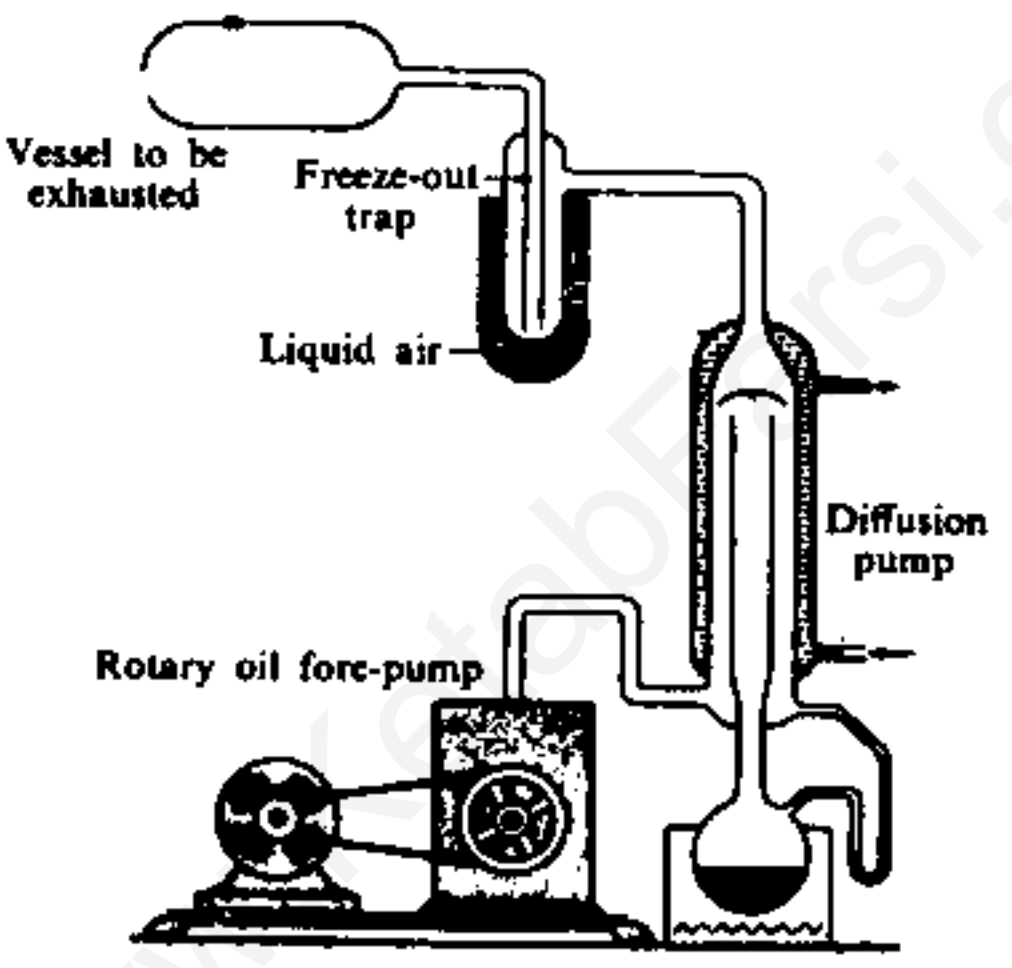
شکل ۱۲–۶ پمپ روغنی



شکل ۱۲–۷ پمپ دیفوزیون جیوه‌ای

برای اینکه فشار را تا حدود 10^{-3} الی 10^{-4} میلیمترجیوه پـائین‌آورند میتوان از پمپ دیفوزیون استفاده نمود . در این نوع پمپ‌ها عبورسریع بخارجیوه یا بخارروغن‌هائی که فشار بخاراشباع‌آنها پائین است نظیر **octoil** یا **butyl phthallate** از یك لوله باعث می‌شودکه ملکولهای هواکه درمسیرجریان بخار قراردارند توسط بخارهابخارج رانده شوند. مولکولهای هوا ازطریق دیفوزیون ازظرف وارد مسیربخارهای جیوه‌یا روغن میشوند (دراثرحرکت دائمی مولکولهای‌گاز باسرعتهائی درحدود چندکیلومتربرثانیه‌همیشه وقتی‌ظرفی‌که نوع خاصی گازدرآن است به محیط دیگری وصل شود ملکولهای‌گاز موجود درظرف حتماً به‌محیط دوم‌راه می‌یابند . این نوع انتشارگاز را دیفوزیون مینامند مترجم)

انواع متعددی از پمپ‌های دیفوزیون با ابعاد مختلف بازار عرضه‌میشوند. بعضی از شیشه و برخی ازفلزساخته میشوند . عده‌ای افقی وعده دیگرعمودی قرار میگیرند . دسته‌ای‌باآب و دسته دیگر با هوا خنك می‌شوند . (خنك کردن بمنظور پائین‌آوردن فشاربخار اشباع است تا فشار درون ظرف تخلیه‌که حتماً از فشار اشباع کمتر نیست بحد کافی تقلیل داده شود زیرا بخاری‌که مولکولهای‌هوا را باخودمیبرد بدرون ظرف تخلیه نیز بدون شك نفودخواهد کرد. پس هرچه فشاربخاراشباع کمترباشدفشاردرون ظرف نیز کمتر است. ازاینرو بخار را پس‌ازخروج ازمایع‌جوشان ودرحین عبور ازمحفظه **Jet** سردمیکنند ـ مترجم) . در شکل ۱۲ـ۷ نوع بسیار معمول آنرا نشانداده‌اند .



شکل ۱۲ـ۸ اتصال متوالی دوپمپ برای ایجاد خلاء بیشتر

برای اینکه عمل تخلیه بهتر صورت‌گیرد معمولا لوله خروجی پمپ دیفوزیون را به مدخل پمپ روغنی دواری وصل میکنند تا فشار درمحفظه **Jet** کم شود . هرگاه پمپ روغنی دوار نباشد مولکولهای هوا ازخارج و از طریق محفظه **Jet** بداخل ظرف نفوذکرده عمل تخلیه را مشکلتر وفشار می‌نیموم ممکن راکمتر میکند . در این حالت ملکولهائی که از طریق دیفوزیون ازظرف وارد محفظه **Jet** شده‌اند بکمك‌پمپ روغنی دواربسرعت ازمحفظه خارج شده فرصت بازگشت پیدا نمیکنند .ازهمین جهت دراین حال‌که دوپمپ بطورمتوالی وصل شده و برای تخلیه مورد استفاده قرار گرفته‌اند پمپ روغنی را پیش پمپ مینامند . روغن یا جیوه‌ای‌که بخارشده‌اند پس ازآنکه وارد محفظه **Jet** شدند بتدریج سرد شده به دیگ محتوی مایع جوشان بازمی‌گردند .

هرگاه لوله‌ایراکه ازظرف تخلیه به پمپ وصل‌است ازمیان هوای مایع عبوردهند تا

بخارآب و گـازهای دیگرموجود درهوا مایع یاجامد شده مزاحمت ایجاد نکنند و دیواره ظرف ولوله‌های رابطه راگرم کنند تا ملکولهای گازکه در اثرآدهزیون بآنها چسبیده است کنده شود فشار راممکن است به 10^{-8} میلی‌متر جیوه رسانید. شکل ۱۲ـ۸ نحوه اتصال متوالی دوپمپ را نشان میدهد.

۱۲ـ۶،قانون ارشمیدس

تصویر نامنظمی‌که در شکل ۱۲ـ۹ درون مـایع رسم شده است یك قسمت از مایع است‌که باسطح مسدود ونا منظم فرضی ازسایرقسمت‌های مایع‌که درون ظرف بحال تعـادل است جداشده است سهم‌های کوتاهی‌که ازاطراف روبداخل جسم رسم شده‌اند نشان دهنـده نیروهائی هستندکه‌ازطرف مایع خارجی برمایع مفروض وارد میشوند. هریك ازاین نیروها که اندازه آنها dF است برسطح کوچك dA اثرمیکنند وبرسطح‌های کوچك مذکورعمودند. هرگاه فشارهؤثر بریکی ازسطح‌های کوچك برابر p باشد نیروی موثر برآن $dF = p\,dA$ خواهد بود p فقط تابع عمق dA ازسطح‌آزاد مایع است و بشکل یا امتداد سطح محیط برمایع فرضی بستگی ندارد.

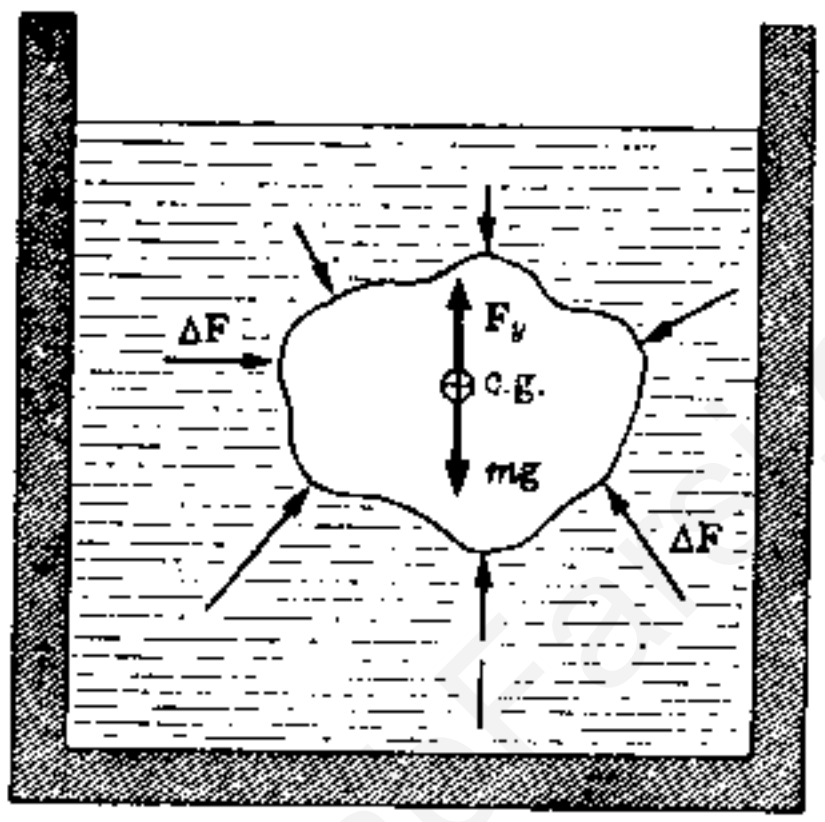
چون مایع بحال تعادل‌است. بنابراین جمع‌جبری مؤلفه xهای‌نیروهای واردبرمایع مفروض مساوی‌صفر است . مؤلفه‌های قائم F_y این نیروها جمعاً باید وزن مایع مفروض‌را خنثی‌کنند یعنی باید برابر (و مختلف‌الجهت) با mg وزن مـایع مفروض باشند . امتداد برآیندای نیروها نیزاز مرکز ثقل‌مایع‌مفروض (که محصور درون هرسطح مسدود دلخواه میتواند باشد) میگذرد وجهت این برآیند روبپالاست .

حال فرض‌کنیم بجای مایعی‌که با سطح فرضی از بقیه جدا شده است جسم جامدی بهمان‌شکل قرار داشته باشد . فشاروارد برنقاط مختلف سطح خارجی این جسم عیناً مساوی فشاری‌است که‌ازطرف‌مایع‌خارجی، برنقاط نظیرسطح محصورکننده مایع‌مفروض قبلی وارد میشد . بنابراین برآیند نیروهای وارد براین جسم جامد همان برآیند نیروهای وارد بر مایع مفروض است. یعنی: **مایع نیروی قائم F_y را برجسم وارد میکندکه برابراست با mg وزن مایع هم حجم جسم** امتداد این‌نیرو نیزازمرکزثقل هندسی جسم میگذرد .

جسمی‌که درون مـایعی غرق است معمولا بحال تعادل نیست . ممکن است وزن جسم کمتر یا بیشتر از F_y باشد وهرگاه جسم ساختمان همگن نداشته باشد ممکن است امتداد وزن با امتداد F_y یکی نباشد . پس ممکن است جسم تحت اثریك نیروی منفرد ویك‌زوج نیروباشد یعنی ممکن است حرکت انتقالی یا دورانی داشته‌باشد .

این واقعیت راکه هرگاه جسمی درسیالی فرورود ازطرف سیال نیروی رانشی برابر

وزن سیال هم حجم جسم روبیالا برآن‌وارد میشود. اولین بار ارشمیدس (۲۸۷ تا ۲۱۲ قبل از میلاد) بصورت فوق الذکر بیان نمود وآنرا قانون ارشمیدس مینامند. ولی ملاحظه می‌کنیم که این قانون ازبکاربردن قوانین‌نیوتون‌بادرنظرگرفتن خواص‌سیالات نتیجه‌میشود. باآنکه‌دربیان‌قانون، درباره خط اثر نیروی رانش سخنی بمیان نیامده است اهمیت‌آن‌کمتر از اندازه نیرونیست .



شکل۱۲—۹ قانون ارشمیدس – نیروی رانش F_y برابروزن سیال جابجاشده است

وقتی بالنی درهوا یا زیردریائی درزیرآب غوطه‌ور است نیروهائی روبیالا وباندازه وزن هوای هم حجم بالن وآب هم حجم زیردریائی‌برآنها وارد میشود وچون این نیروها بترتیب با وزن بالن و زیر دریائی برابرند هردوی‌آنها بحال تعادل درون هوا وآب باقی میمانند. یعنی‌توده ویژه متوسط بالن با توده ویژه هوا و توده ویژه متوسط زیردریائی با توده ویژه‌آب برابرند .

هرگاه توده‌ویژه متوسط جسمی‌کمترازتوده ویژه مایعی باشد، جسم درسطح‌آزادمایع بحال شناور (بطوریکه فقط قسمتی ازآن‌درون‌مایع غوطه‌وراست) میماند . مانه تنهامیخواهیم کشتی برروی‌آب شناروباشد بلکه میخواهیم برروی‌آب بحال تعادل پایدار بماند وبه پهلو نیفتد . برای این منظورلازم است‌که امتداد نیروی رانش ازمرکزثقل بگذرد وهرگاه در اثرتلاطم‌کشتی، بیکطرف‌کج شودوامتداد نیرو از مرکزثقل عبورنکند زوج نیروی حاصل ازوزن و رانش درجهتی باشدکه‌کشتی را بحال قائم برگرداند .

وقتی با ترازوی بسیار حساسی جسمی را وزن میکنیم باید اثر رانش هوا که بر وزنه‌های برنجی وجسم یکسان نیستند تصحیح‌شود. مثلا فرض‌کنیم قطعه چوبی به‌توده ویژه $0/4 gm/cm^3$ باوزنه ۲۰ گرمی برنجی به توده ویژه $8 gm/cm^3$ دردوکفه ترازوئی بحال تعادل قرار دارند . وزن ظاهری هریک ازدوجسم عبارتست از اختلاف وزن حقیقی

آنها با نیروی رانش وارده ازهوا برآن جسم - هر گاه ρ_w و ρ_b و ρ_a بترتیب توده ویژه چوب‌وبرنج و هوا و $\mathbf{V_w}$ و $\mathbf{V_b}$ حجم چوب و برنج باشد، چون وزن ظاهری چوب و برنج باهم مساوی‌اند پس میتوان نوشت :

$$\rho_w \mathbf{V_w g} - \rho_a \mathbf{V_w g} = \rho_b \mathbf{V_b g} - \rho_a \mathbf{V_b g}$$

جرم واقعی چوب $\rho_w \mathbf{V_w}$ و جرم واقعی برنج $\rho_b \mathbf{V_b}$ است بنابراین .

$$\text{جرم واقعی چوب} = \rho_w \mathbf{V_w} = \rho_b \mathbf{V_b} + \rho_a(\mathbf{V_w} - \mathbf{V_b}) = \text{جرم واقعی وزنه} + \rho_a(\mathbf{V_w} - \mathbf{V_b})$$

و درمثال فوق‌الذکر خواهیم داشت :

$$\mathbf{V_w} = \frac{۲۰}{۰/۴} = ۵۰\,\mathbf{cm^3} \qquad \text{(با تقریب کافی)}$$

$$\rho_a = ۰/۰۰۱۳\,\mathbf{gm/cm^3} \quad \text{و} \quad \mathbf{V_b} = \frac{۲۰}{۸} = ۲/۵\,\mathbf{cm^3}$$

بالاخره خواهیم داشت :

$$\rho_a(\mathbf{V_w} - \mathbf{V_b}) = ۰/۰۰۱۳ \times ۴۷/۵ = ۰/۰۶۲\,\mathbf{gm}$$

$$\text{جرم واقعی چوب} = ۲۰/۰۶۲\,\mathbf{gm}$$

هر گاه اندازه‌گیری بـادقت یکهزارم گرم انجام گیرد تصحیح ۰/۰۶۲ گرم حتماً لازم است .

مثال ـ ظرفی محتوی آب برروی یك قپان فنری قراردارد و وزن کل آن برابر $\mathbf{W}$ است . سنگی بوزن $\mathbf{w}$ به نخی آویزان است. آنرا واردآب میکنیم بی‌آنکه بته‌ظرف بـرسد [شکل ۱۲ـ۱۰ (a)] قپان فنری چه عددی رانشان میدهد ؟

ابتدا سنگ رابتنهائی در نظرمیگیریم نیروهای وارده برآن درشکل ۱۲ـ۱۰ (b) نشانداده شده است . $\mathbf{B}$ نیروی رانش و $\mathbf{T}$ نیروی‌کشش وارده ازآب وطناب برسنگ است چون $\Sigma \mathbf{F_y} = ۰$ است. پس‌داریم :

$$\mathbf{T} + \mathbf{B} = \mathbf{w}$$

سپس ظرف‌آب وآب وسنگی راکه درون‌آب است درنظرمیگیریم . درشکل ۱۰ـ۱۲ (c) نیروهای وارد برآنها رسم شده است . $\mathbf{S}$ نیروی وارده ازقپان فنری برمجموعه است

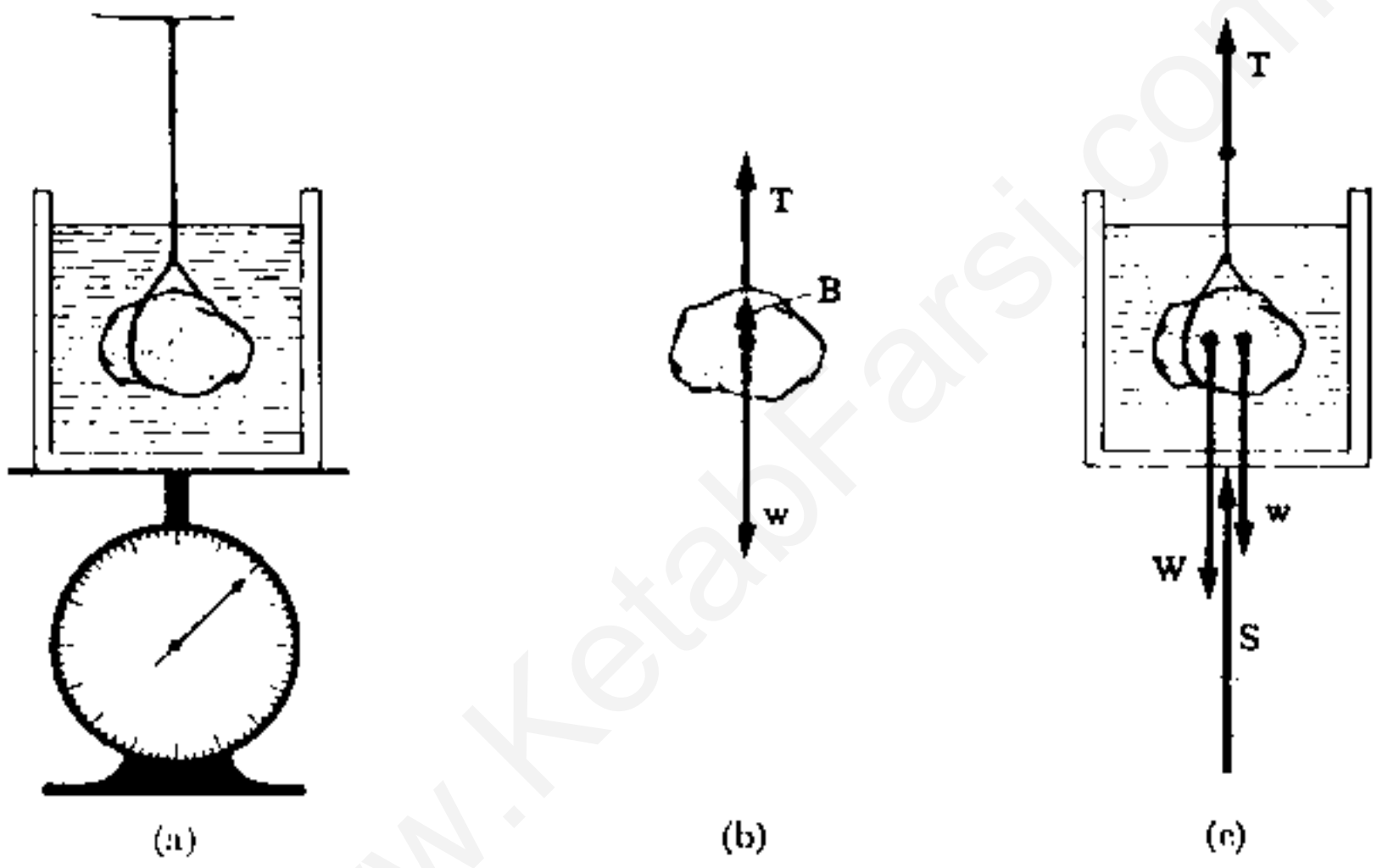
و بنابرقانون سوم نیوتون برابر و مختلف‌الجهت بـا نیروئی است که برقپان وارد میشود . چون تعادل حاصل است پس داریم .

$$T+S=w+W$$

هرگاه فرمول اول را از دوم کم کنیم خواهیم داشت :

$$S=W+B$$

یعنی قپان مجموعه وزن ظرف وآب و نیروی رانش مؤثر برسنگ رانشان میدهد .



(a) (b) (c)

شکل ۱۲–۱۰

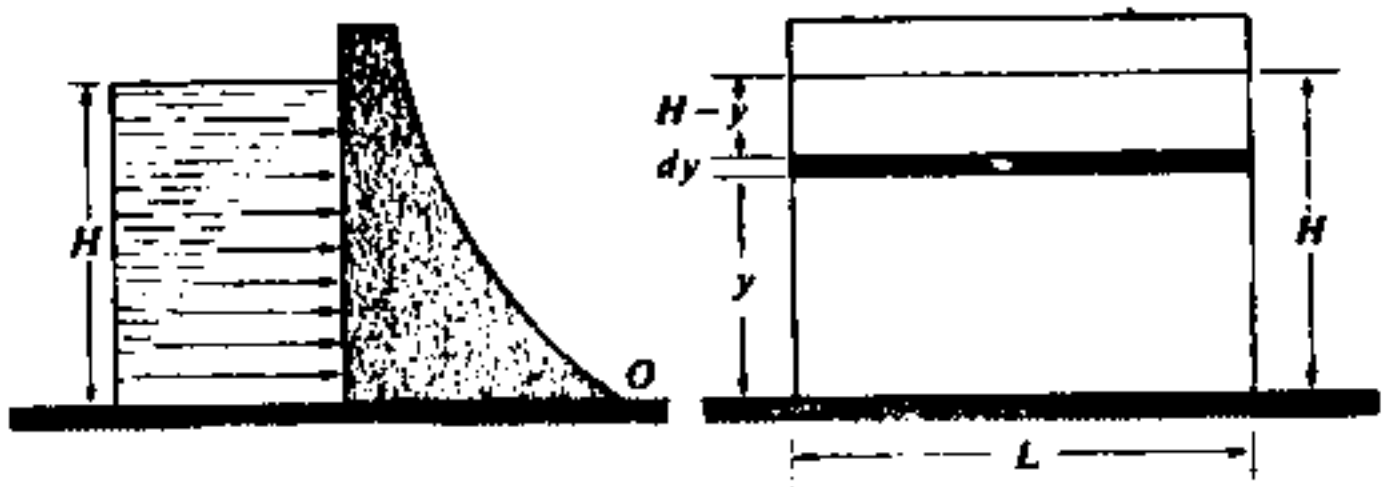
۱۲–۷، نیروهای مؤثر بریك سد

مطابق شکل ۱۲–۱۱ آب پشت سدی تاارتفاع H انباراست . ازطرف‌آب نیروهائی بر سد وارد میشودکه در امتداد افقی برآن مؤثرند وبرآیند این نیروهـا میخواهد سد را روی تکیه‌گاه خود بلغزاند . گشت‌آور این نیروها نیزمیخواهدسد را حول O چرخانیده آنرا بیندازد . ماباید برآیند وگشتاور این نیروها را حساب‌کنیم .

شکل ۱۲–۱۱ (b) نمای روبروی سد است . فشار درارتفاع y برابراست با :

$$p=\rho g(H-y)$$

(ازفشار هوا میتوان صرفنظر نمود زیرا درطرف مقابل نیزبرسد اثرکرده بنابراین اثرآن بردوطرف سدیکدیگر را خنثی میکند. نیروی مؤثربرنوار هاشورخورده برابراست با :



شکل ۱۲-۱۱ نیروهای مؤثر بر یك سد

$$dF = pdA = \rho g(H-y)$$

ونیروی کل برابر است با :

$$F = \int dF = \int_{0}^{H} \rho g L(H-y)dy = \frac{1}{2}\rho g L H^2$$

وگشتاور نیروی dF مؤثر برنوار نسبت به O برابراست با :

$$d\Gamma = ydF = \rho g L y(H-y)dy$$

وگشتاورکل نسبت به O برابربا :

$$\Gamma = \int d\Gamma = \int_{0}^{H} \rho g L y(H-y)dy = \frac{1}{6}\rho g L H^3$$

هرگاه $\overline{H}$ ارتفاع نقطه‌ای بالای O باشدکه اگر F برآیند نیروها برآن اثر کند همین گشتاور را ایجادکند خواهیم داشت :

$$F\overline{H} = \frac{1}{2}\rho g L H^2 \times \overline{H} = \frac{1}{6}\rho g H^3$$

$$\overline{H} = \frac{1}{3}H$$

یعنی خط اثربرآیند F درارتفاع $\frac{1}{3}$ عمق بالای کف یا درعمق $\frac{2}{3}$ از سطح آزاد آب قراردارد .

مسائل

۱۲ـ۱ قطر پیستون یك جك روغنی ۱۲ اینچ است. چه فشاری بر آن وارد آید تا اتومبیلی بوزن ۲۴۰۰ lb را ازجای خود بلند کند.

۱۲ـ۲ دریك دستگاه شوفاژ آب تاارتفاع ۳۰ ft بالای یك مانومتر قراردارد مانومتر چند $\frac{lb}{in^2}$ را نشان میدهد؟

۱۲ـ۳ چرا مردان قورباغه‌ای نمیتوانند هوای پاك ازلوله‌ای که ازماسك آنها تاسطح آزادآب امتداد دارد بدرون ریه کشیده هوای باز دم را بداخل آب رها سازند ؟

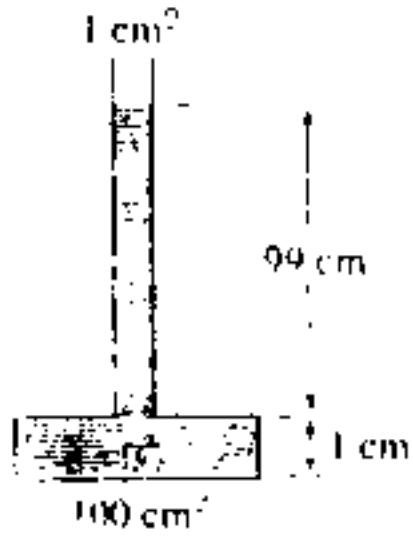
۱۲ـ۴ هرگاه درب اطاقی هوا بندی وبدون اصطکاك شده واختلاف فشار وارد بر دوطرف درب ۰٫۰۱ آتمسفر باشد میتوانید دررا بازکنید ؟

۱۲ـ۵ مایعی که درمانومترلوله بازشکل ۱۲-۵ (a)است جیوه است و $y_1 = 3cm$ و $y_2 = 8cm$ فشار هوا ۹۷۰ میلی بار است . (a) فشارمطلق درپائین ترین نقطه لوله U شکل چه اندازه است. (b) فشار مطلق درعمق ۵ سانتیمتری زیر سطح آزاد مایع چه اندازه است ؟ (c) فشارمطلق گازدرون ظرف چه اندازه‌است؟ (d) فشارمانومتری گاز چندسانتیمتر جیوه است (e) فشار مانومتری چند سانتیمتر آب است ؟

شکل ۱۲ـ۱۲

۱۲ـ۶ (a) یك لوله‌آزمایش راکه قسمتی ازآن ازآب پراست واردونه وارد ظرف آبی میکنیم و می‌بینیم که مطابق شکل ۱۲ـ۱۲ درظرف شناور میشود . دهانه پائینی لوله‌آزمایش باز ودهانه پائینی ظرف بایك قرص لاستیکی بسته شده است . وقتی قرص را بداخل ظرف فشار دهیم لوله‌آزمایش بته‌آب میرود و اگر قرص را برگردانیم لوله آزمایش بـاز بسطح آب بـاز میگردد . شرح دهیـد چرا ؟ (معمولا بجای لوله‌آزمایش آدمك شیشه‌ای توخالی میسازند وآنرا غواص دکارت مینامند). (b)وقتی کشتی غرق میشود بته‌اقیانوس میرود . آیااگرعمق اقیانوس بقدر دلخواه زیاد باشد ممکن است کشتی بالای کف‌اقیانوس بحال تعادل درون‌آب غوطه‌ور بماند ؟

۱۲ـ۷ مطابق شکل ۱۲ـ۱۳ لوله‌ای بسطح مقطع یکسانتیمترمربع به ظرفی بسطح مقطع $100 cm^2$ وارتفاع یکسانتیمتر وصل است . تا ارتفاع ۱۰۰ cm ازکف ظرف‌آب



شکل ۱۲-۸

درلوله ریخته‌شده است، (a) چه نیروئی از مایع بر کف ظرف وارد میشود ؟ (b) وزن آب موجود در مجموعه ظرف و لوله چه اندازه است ؟ بگوئید چرا (a) و (b) با هم مساوی نیستند ؟

۱۲-۸ وزن آلیاژی از طلا و آلومینیوم 10lb است. وقتی آنرا به‌نیروسنجی آویزان کرده در آب فروبریم نیروسنج 8lb نشان میدهد. هرگاه چگالی نسبی طلا و آلومینیوم بترتیب ۱۹/۳ و ۲/۵ باشد، وزن طلای موجود در آلیاژ را حساب کنید.

۱۲-۹ کمترین سطح قطعه یخی بضخامت یک فوت چقدر باشد تا اگر مردی به وزن 180lb روی آن بایستد غرق نشود چگالی نسبی یخ نسبت باب ۰/۹۱۷ است.

۱۲-۱۰ مکعبی از چوب بابعاد 10cm مطابق شکل ۱۲-۱۴ قسمتی در آب وقسمتی در روغن غوطه‌وراست. توده‌ویژه روغن $0/6 gm/cm^3$ است و سطح پائینی مکعب 2cm زیر سطح فوقانی آب قرارداد. (a) جرم مکعب چوبی چه‌اندازه‌است؟ (b) فشار مانومتری وارد برسطح زیرین مکعب چه‌اندازه است ؟

شکل ۱۲-۱۴

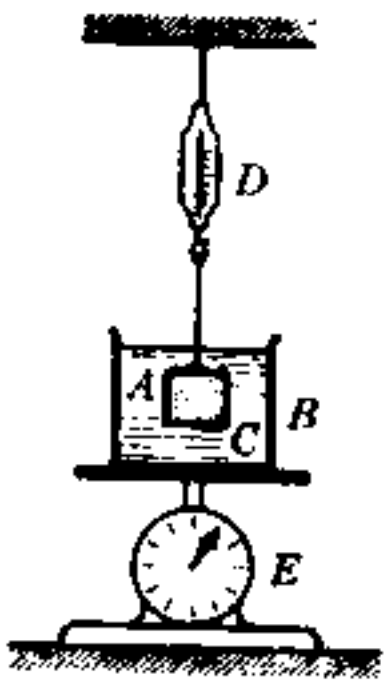
۱۲-۱۱ توده‌ویژه هوا، هلیوم وهیدرژن (درشرایط متعارفی) بترتیب ۰/۰۰۱۲۹ و ۰/۰۰۰۱۷۸ و ۰/۰۰۰۰۸۹۹ گرم برسانتیمترمکعب است. حجم بالنی که از هیدرژن پر است چقدر باشد تا باری بوزن ۱۰ تن را در هوا بحال معلق نگاهدارد ؟ اگر همان حجم هلیوم دربالن بود چه‌باری را از زمین بلند میکرد ؟

۱۲-۱۲ ابعاد قطعه چوبی 1ft و 1ft و 2in است. چه‌حجمی ازسرب باین چوب (بتوده ویژه $0/6 gm/cm^3$) ببندیم تادرآب غوطه‌ورشود.

۱۲-۱۳ مکعبی ازچوب بابعاد 10cm وتوده ویژه $0/5 gm/cm^3$ درون ظرفی ازآب شناوراست. روغن بتوده ویژه $0/8 gm/cm^3$ راآنقدر روی‌آب می‌ریزیم تاسطح بالائی چوب ازسطح‌آزاد روغن 4cm بالاتر بایستد (a) ضخامت لایه روغن و (b) فشار مانومتری وارد بسطح زیرین‌چوب را بدست‌آورید.

۱۲-۱۴ مکعبی ازآهن (توده ویژه $7/8 gm/cm^3$) روی سطح جیوه (توده ویژه $13/6 gm/cm^3$) شناور است (a) چه قسمتی ازضلع مکعب خارج ازجیوه میایستد (b) روی سطح جیوه‌آب میریزیم لایه‌آب چه ضخامتی داشته باشد تاسطح بالائی‌مکعب باسطح‌آب

هم سطح باشد .



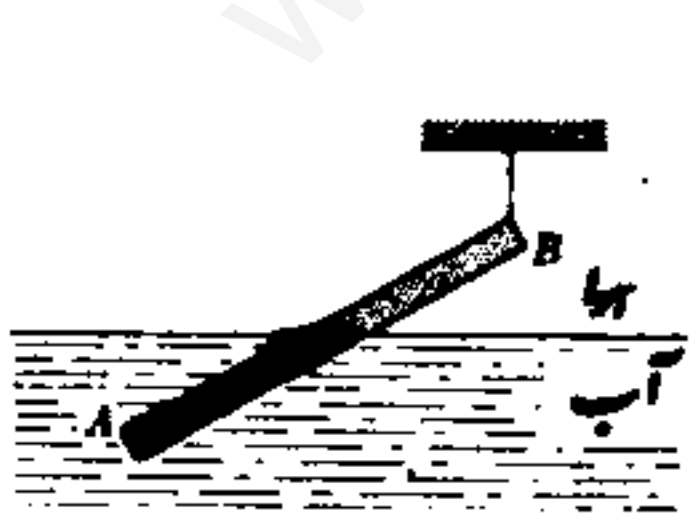
شکل ۱۲ ۱۵

۱۲ـ۱۵ جسم A (شکل۱۲ـ۱۵) که بانخی به‌نیروسنج D آویزان است درمایع C واقع درظرف B قراردارد . ظرف B برروی قپان فنری E قرار دارد . وزن ظرف B برابر ۲lb ووزن مایع دردون آن۳lbاست. نیروسنج D عدد ۵lb و قپان عدد ۱۵lb را نشان میدهد . حجم جسم A یك دهم فوت مکعب‌است (a) وزن واحدحجم‌مایع‌چه‌اندازه‌است ؟ (b)هر گاه جسم A راازمایع خارج کنند هریك ازنیروسنج‌وقپان چه‌اعدادی را نشان میدهند .

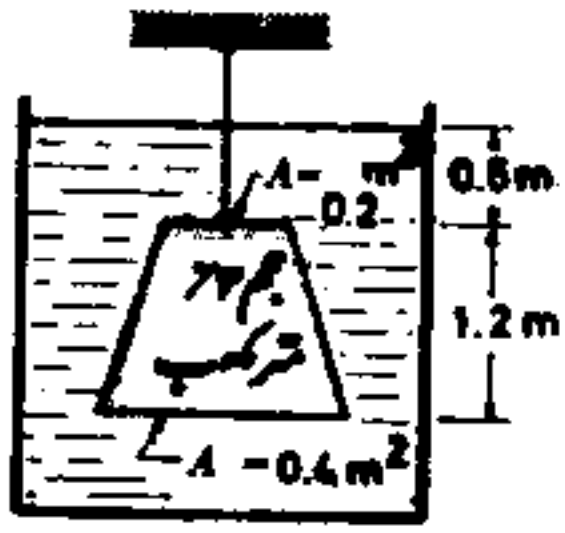
۱۲ـ۱۶ کره‌ای توخالی‌که اشعه داخلی و خارجی‌آن بترتیب ۹ و ۱۰ سانتیمتراست‌تانیمه، دردون مایعی بچگالی‌نسبی ۰٫۸ فرو رفته است . (a) توده ویژه ماده‌ایکه‌کره ازآن ساخته شده است چقدر است ؟ (b) توده ویژه مایعی که این‌کره تماماً درآن فرورفته غوطه‌ور شود چه اندازه است ؟

۱۲ـ۱۷ دوکره هم‌حجم راکه یکی سنگین‌ترازدیگری است ازارتفاع معینی‌آزادانه رها میکنیم ثابت‌کنید‌که هر گاه مقاومت هوابرهر دو یکسان اثر کند‌کره سنگین‌تر، زودتر بزمین میرسد .

۱۲ـ۱۸ کمربند نجاتی‌شخصی بوزن ۱۶۰lb وچگالی نسبی متوسط ۱٫۲ رادرآب دریا به چگالی نسبی ۱٫۱ طوری نگاه میداردکه $\frac{۲}{۱۰}$ ازبدن شخص ازآب بیرون بماند. وزن مخصوص ماده‌ایکه‌کمربند ازآن ساخته شده است چه اندازه است .



شکل ۱۲ـ۱۷



شکل ۱۲ـ۱۶

۱۲ـ۱۹ مطابق ۱۲ـ۱۶ جسمی‌بشکل مخروط ناقص‌وبجرم ۵۰۰kgm (در خلاء) که بمظنابی‌آویزان است دردون ظرفی پرازمایعی شوده ویژه ۱gm/cm³ قراردارد . (a) نیروئی‌که ازمایع‌برقاعده فوقانی ازبالا بپائین اثرمیکند. (b) نیروئی‌که از طرف مایع

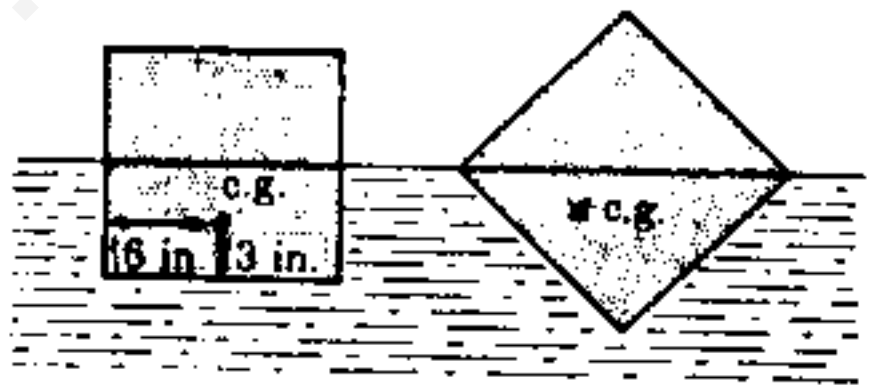
روبپائین برقاعده فوقانی اترمیکند و (c) کشش مؤثربرطناب راحساب کنید . سطح قاعده فوقانی $0/2m^2$ و سطح قاعده تحتانی $0/4m^2$ است .

۱۲ـ۳۰ وقتی جسمی آهنی بجرم $10kgm$ را زیر ظرف استوانه‌ای بقطر $10cm$ آویزان کرده آنها را درآب رها کنیم $10cm$ ازطول ظرف درون آب فرو میرود . هرگاه جسم راازآب بیرون آورده درون ظرف قراردهیم تاچه ارتفاعی ازظرف درآب فرومیرود. توده ویژه آهن $7/8gm/cm^3$ است .

۱۲ـ۳۱ قطعه چوب پنبه‌ای بتوده ویژه $0/15$ گرم بر سانتیمترمکعب، در یك کفه ترازو و وزنه برنجی ۱۰۰ گرمی درکفه دیگرقرار دارد. جرم واقعی چوب پنبه را حساب کنید .

۱۲ـ۳۲ ظرف استوانه‌ای بوزن $32001b$ درآب شور بچگالی $1/1$ درامتدادقائم غوطه‌ور است. (a) هرگاه شخصی بوزن $1501b$ روی آن بایستد تاچه ارتفاعی مجدداً درآب فرو میرود . قطرظرف $3ft$ است . (b) اگرشخصی ازروی آن بپرد زمان نوسان ظرف را پیدا کنید .

۱۲ـ۳۳ میله متشابه AB بطول ۱۲ فوت و بوزن $241b$ با نخی به نقطه B بسته شده است (شکل ۱۲ـ۱۷) به انتهای A وزنه سربی $121b$ آویزان است مطابق شکل نیمی ازمیله درون آب ونیمی ازآن بیرون ازآب است. اثررانش آب برسرب ناچیز فرض شود (a) نیروهای مؤثر برمیله را رسم ومشخص کنید. (b) کشش مؤثر برنخ چه اندازه است ؟ (c) حجم کل میله چه اندازه است؟



(a) (b)

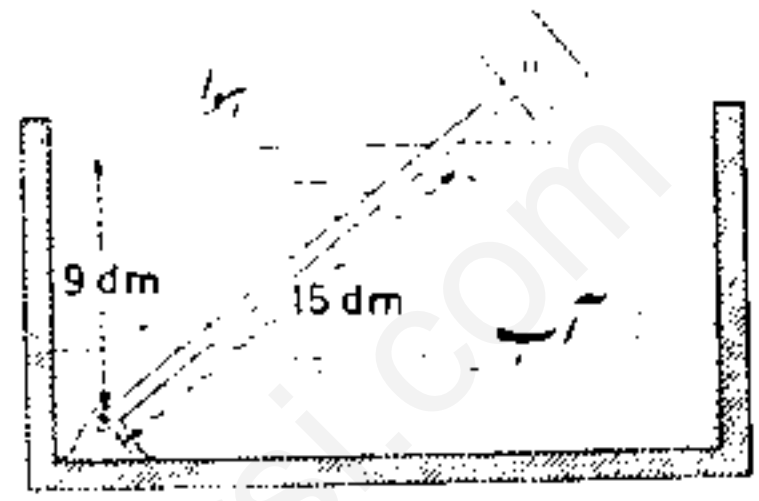
شکل ۱۲ـ۱۸

۱۲ـ۳۴ مکعبی باضلاع یك فوت از چوب ساخته شده و چنانکه در شکل ۱۲ـ۱۸ نشانداده شده است فاصله مرکزثقل آن از دوضلع مجاور $3in$ و $6in$ است . چوب درآب شناور می‌ماند ونیمی ازحجم آن درآب فرومیرود هرگاه مکعب مذکورمانند قسمت b شکل فرارگیرد گشتاور مؤثرآن چقدر است ؟

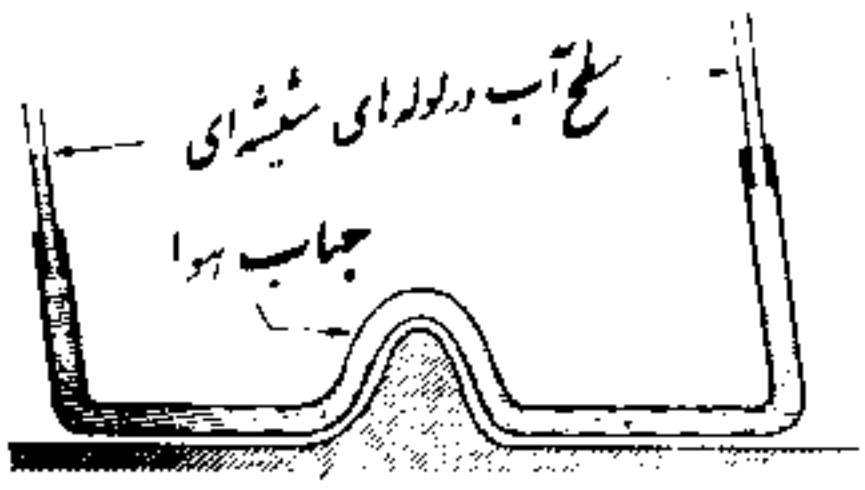
۱۲ـ۳۵ چگالی سنجی تشکیل شده‌است ازیك حباب کروی ویك لوله شیشه‌ای بسطح مقطع $0/4cm^2$ حجم کل حباب ومیله $13/2cm^3$ است . وقتی چگالی‌سنج درآب است، ۸ سانتیمتر ازلوله بیرون ازآب میایستد و درالکل فقط یکسانتیمتر ازلواه بیرون میماند .

چگالی الکل راپیدا کنید .

۱۲ـ۲۶ میله متشابه۱۸ دسیمتری بجرم ۶kgm که چگالی آن۵ر۰ است مطابق شکل ۱۲ـ۱۹ در نقطه‌ای بعمق۹dm زیرسطح آب لولا شده است. (a) چه وزنه w بانتهای دیگر میله آویزان کنیم تا ۱۵dm ازمیله زیر آب قرار گیرد . (b) اندازه وجهت نیروی وارد از لولا برمیله رابدست آورید .



شکل ۱۲ـ۱۹



شکل ۱۲ـ۲۰

۱۲ـ۲۷ باین سئوال که درنامه‌ای نوشته شده پاسخ دهید : «عادت بناهای ما براین است که وقتی میخواهند شالوده بنای نسبتاً بزرگی را تراز کنند، یك لوله لاستیکی طول را از دوطرف بدولوله شیشه‌ای بطول ۱۰ـ۱۲ اینچ وصل میکنند و درآن آب میریزند . نظر آنها براین است که آب در هر لوله، هم تراز میایستد . حال بگوئید اگر حباب هوائی مطابق ۱۲ـ۲۰ درون لوله باشد چه اتفاقی میافتد زیرا گروهی معتقدند که بازهم سطح آب در دو لوله شیشه‌ای در یك سطح افقی قرار میگیرد و گروهی دیگر را عقیده براین است که عدم دقت درکار دستگاه پیدا میشود . دراین باره توضیح دهید .

۱۲ـ۲۸ ابعاد استخری ۷۵ و ۲۵ و ۸ فوت است. نیروی وارد برهر دیواره و بر کف استخر را وقتی پر از آب است بدست آورید .

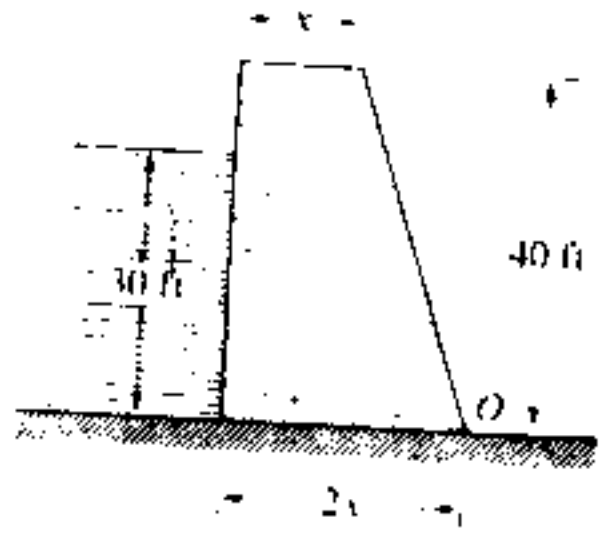
۱۲ـ۲۹ لبه بالائی درب تخلیه یك سد، در سطح آب و لولای آن ۱۰ft زیرسطح آب قراردارد . عرض درب ۶ft است. گشتاور نیروهای مؤثر ازآب بردرب را بدست آورید .

۱۲ـ۳۰ درب تخلیه یك سد ۶ft ارتفاع و ۱۰ft عرض دارد ولولای آن برمحوری که ازوسط درب عبورمیکند قراردارد . هرگاه لبه بالائی درب برسطح آزاد آب منطبق باشد گشتاور مؤثر ازآب بردرب را نسبت بلولا بدست آورید .

۱۲ـ۳۱ مقطع یك سد ، مستطیلی است بعرض ۱۰ft و ارتفاع ۲۰ft و طول سد ۵۰۰ft است. (a) اگرعمق آب پشت سد ۲۰ft باشد گشتاور مؤثر برجبهه سدرا بدست آورید. (b) هرگاه توده ویژه ماده‌ایکه سد ازآن ساخته شده $۱۰۰lb/ft^3$ باشد معلوم کنید که گشتاورمقاوم حاصل از وزن از گشتاور مؤثر ازآب بزرگتراست یا نه .

۱۲ـ۳۲ در شکل ۱۲ـ۲۱ سدی نشانداده شده که عرض آن (عمود برصفحه تصویر) برابر ۱۰۰ft است .چنانکه دیده میشود عمق آب پشت‌سد ۴۰ft است . توده ویژه ماده‌ایکه سد را ازان ساخته‌اند $150 lb/ft^3$ و توده ویژه‌آب $62/5 lb/ft^3$ است که میتوانید از نظرسهولت محاسبه آنرا $60 lb/ft^3$ حساب کنید. (a) x و 2x رابدست‌آورید بطوریکه وزن سد ۱۰ برابر نیروی افقی‌ازآب برسد باشد . (b) دراینحال سد تعادل دورانی حول نقطه O دارد یا نه (c) ابعاد مخزن پشت سد چه اثری در جوابهای مذکور دارند .

شکل ۱۲ـ۲۱



شکل ۱۲ـ۲۲

۱۲ـ۳۳ مطابق شکل ۱۲ـ۲۲ لوله U شکلی که درون‌آن مایعی وجود دارد دردست است. اختلاف‌ارتفاع‌مایع رادردو شاخه لوله درحالات‌زیربدست‌آورید. (a) لوله شتاب‌افقی a بطرف راست دارد . (b) ضلع افقی لوله بر صفحه دواری قرار دارد و یکی ازشاخه‌های‌قائم محورچرخش‌است . (c) توضیح دهیـدکه چرا اختلاف ارتفاع مایع در دو لوله تابع توده ویژه مایع وسطح مقطع لوله نیست . آیااگردوسطح مقطع یکسان نبودند وضع تفاوت میکرد؟ آیا اگرلوله افقی ازیکطرف بطرف دیگر باریك میشد وضع چگونه بود؟

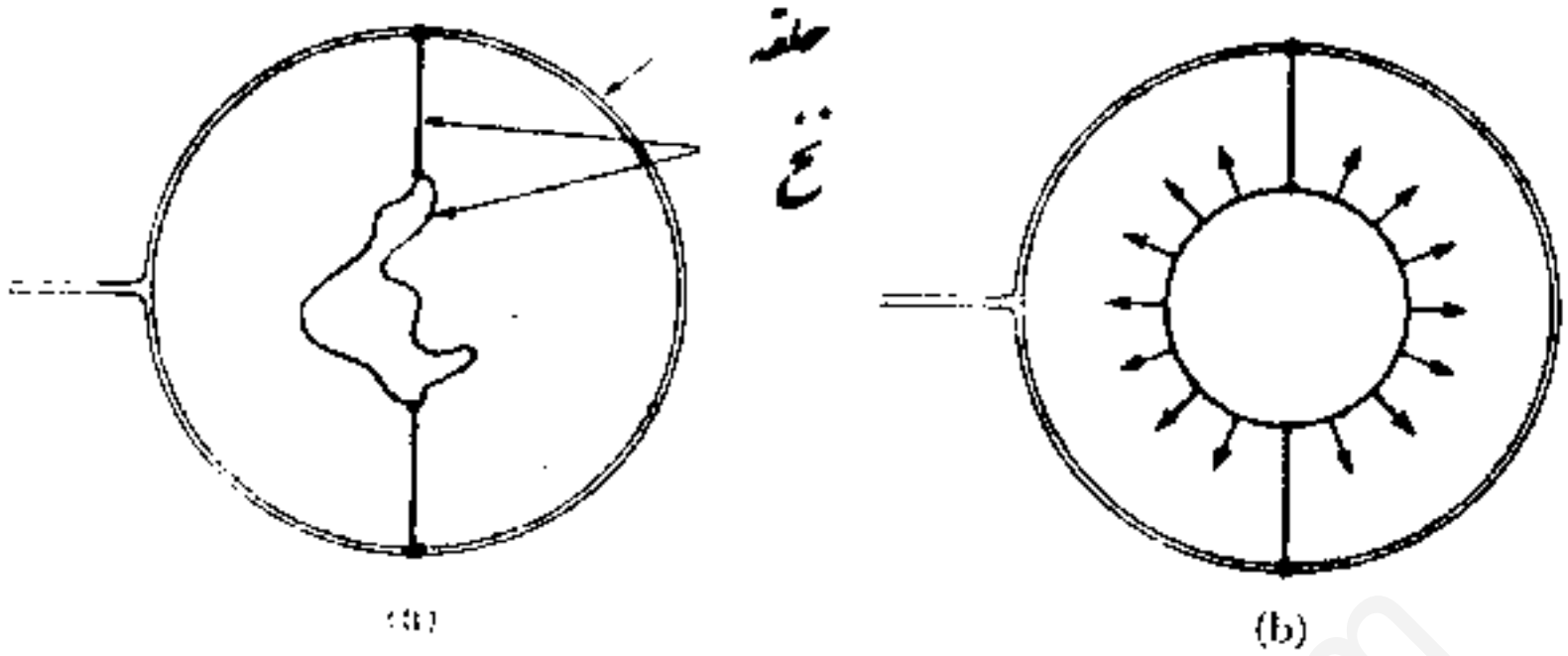
فصل سیزدهم

کشش سطحی

۱۳-۱ ، کشش سطحی

وقتی مایعی از قطره چکان خارج میشود حریان مایع‌دائمی نبوده بلکه مایع بصورت قطراتی متناوباً از آن خارج میشود . با وجود اینکه توده ویژه آهن از آب بیشتراست ؛ میتوان سوزن خیاطی راکمی چرب کرده روی آب بآرامی رها کرد بدون اینکه بته آب برود. وقتی لوله نازك وتمیزی ازشیشه رادرآب فروبریم، می‌بینیم سطح آب درلوله نازك کمی بالاتر از سطح آب درخارج می‌ایستد . هر گاه همین آزمایش را با جیوه انجام دهیم سطح جیوه درلوله پائین‌تر ازسطح جیوه درخارج می‌ایستد . همه این پدیده‌ها و نیز پدیده‌های دیگری که بعداً بذکر آنها میپردازیم ناشی از وجود نیروهائی است که در سطح مرزی موجود بین مایع‌وظرف، یا مایع وهوای خارج وجود دارند

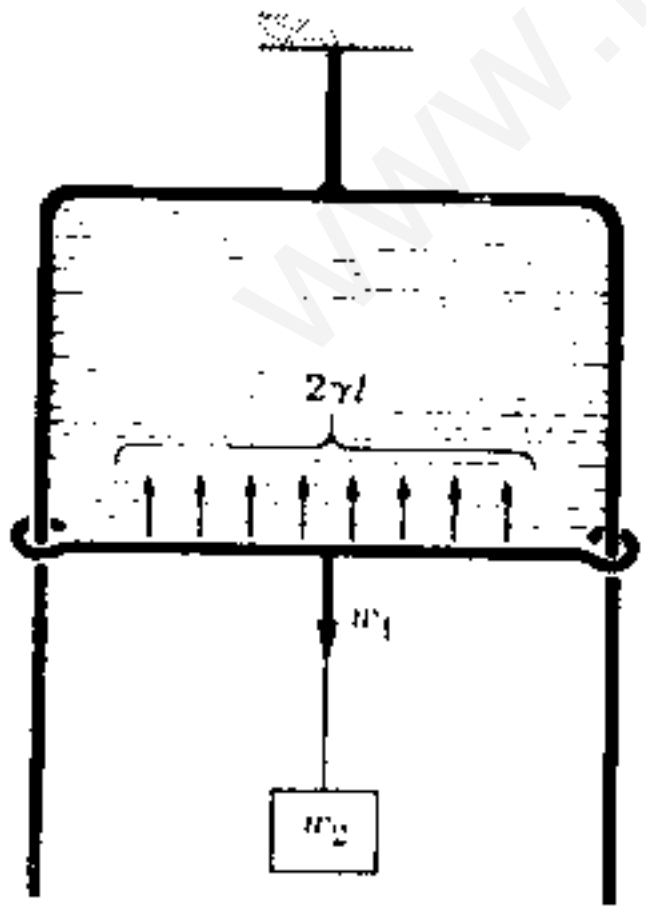
همه این پدیده‌ها راکه محل بروز آنها سطح آزاد مایع است (یا سطوح مرزی جانبی) میتوان بدین ترتیب مورد تفسیر قرار داد که سطح آزاد مایع در حال کشش خاصی است بطوریکه هر گاه خطی دراین سطح فرض شود، ملکولهای دوطرف خط آنرا بدوطرف رو بخارج میکشند. این نیروها در سطح آزاد مایع واقع و برخط مذکور عمودانند . این موضوع را میتوان با آزمایش ساده‌ای نشان داد . همانطورکه درشکل ۱۳-۱ نشان داده شده‌است سیمی رابشکل حلقه‌ای درآورید . دوطرف یك نخ مسدود رابادوتکه نخ کوتاه بدونقطه ازحلقه که برانتهای یك قطر آن واقع‌اند، به‌بندید. حلقه ونخ رادرآب صابون فرو برده بیرون آوریم. لایه‌نازکی ازآب صابون درون حلقه قرارمیگیرد که نخ‌ها درآن آزادانه میتوانند حرکت کنند (قسمت a شکل) هر گاه لایه را مانند قسمت (b) شکل دروسط نخ مسدود پاره کنیم نخ مسدود بشکل دایره‌ای درمیاید.مثل این که لایه، نخ مسدودرا درامتدادشعاع بخارج می‌کشد (درشکل باسهم



شکل ۱۳–۱، حلقه فلزی با نخ مسدود درون آب صابون فرو برده شده است. (a) قبل از پاره شدن لایه در داخل نخ مسدود. (b) بعد از آن

نشانداده شده‌است) قبل از پاره شدن لایه نیز این نیرو بر نخ وارد میشد ولی چون نخ از طرف مقابل نیز تحت تأثیر نیرو بود آزادانه در داخل لایه صابون حرکت میکرد و در نتیجه برآیند نیرو-های وارد بر آن صفر میشد .

درشکل ۱۳–۲ دستگاه دیگری نشانداده شده که اثر کشش سطحی را بکمک آن میتوان نشانداد . قطعه سیمی را بشکل U خم میکنیم . دو طرف قطعه سیم دیگر را مطابق شکل حلقه کرده آنرا روی دو شاخه سیم U شکل قرار میدهیم . اگر دستگاه را در آب صابون فرو برده بیرون آوریم سیم صاف بطرف بالا کشیده میشود (چنانچه w_1 وزن آن زیاد نباشد). هرگاه وزنه w_2 را باندازه مناسب انتخاب و بوسط سیم صاف آویزان کنیم سیم بحال سکون باقی میماند . و حیرت‌آور این است که در اینحال سیم را در هر وضعی قرار دهند بحال تعادل خواهد ایستاد و $F = w_1 + w_2$ تابع اندازه سطح لایه نیست فقط باید دمای لایه ثابت باشد. این خاصیت اخیر، لایه صابون را از صفحه لاستیکی که وزنه‌ای بآن آویزان باشد ممتاز میکند. زیرا لاستیک هرچه بیشتر کشیده شود عکس العمل کششی آن بیشتر می‌شود .



شکل ۱۳–۲ سیم افقی صاف تحت تاثیر دو نیروی $F = 2\gamma l$ رو بالا و $w_1 + w_2$ رو بپائین بحال تعادل قرار دارد .

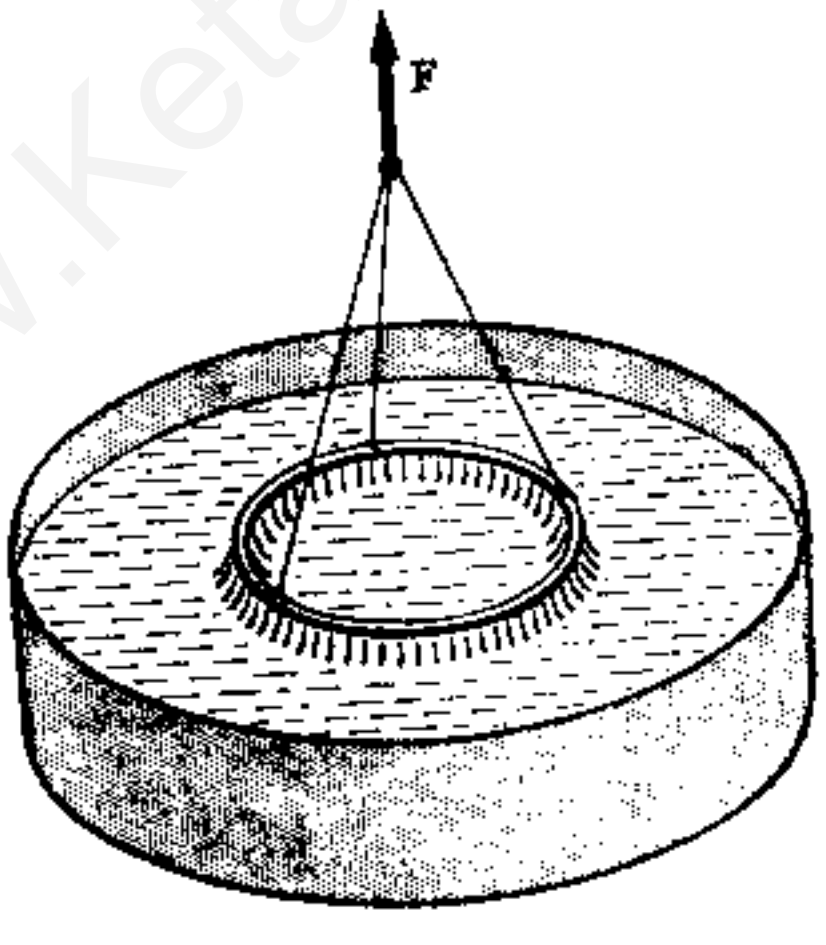
با وجود آنکه ضخامت لایه صابون که در شکل ۱۳–۲ بسیار نازك است ولی در مقام مقایسه با ابعاد ملکولها بسیار ضخیم میباشد . لذا محل

اتصال لایه به میله رامیتوان سطحی فرض کرد که بدوخط محدودشده است. همچنین لایه را میتوان محدود بدو سطح‌دانست که ضخامت‌آندو، درحدود ابعادملکول است . وقتی میله‌افقی را بپائین بکشیم سطح لایه زیـاد میشود وچون حجم‌آن ثـابت است بناچار عده‌ای ملکول از وسط لایه بدوسطح جانبی منتقل‌شده لایه را وسیعتر و نازك‌تر میکنند . بدین ترتیب لایه مـانند یك صفحه لاستیکی کشیده نمیشود، بلکه ازدیاد سطح جانبی باانتقال ملکولها ازداخل لایه بخارج‌آن صورت میگیرد .

هر گاه l طول‌سیم افقی باشد، لایه صابون دارای دوسطح جانبی‌است که‌دردوطرف، دردو خط بطول l بسیم‌چسبیده‌اند. پس طول دوخطی که نیرو برروی‌آن دو برمیله اثرمیکندجمعاً $2l$ است . **ضریب‌کشش سطحی** که‌آنرا باختصار **کشش سطحی** نیزمی‌نامند عبارتست‌از **نسبت نیروی سطحی F برطول‌خطی‌که درنقاط مختلف‌آن (ودر امتداد عمود برخط) نیرو بر خط مذکور اثرمیکند** . لذا در اینحال داریم :

$$\gamma = \frac{F}{2l} \qquad (۱-۱۳)$$

واحدکشش سطحی دردستگاه cgs عبارتست از $1\ dyne/cm$



شکل ۱۳–۳ ، برای‌بلندکردن حلقه‌ای ازسطح‌آزاد مایع علاوه بروزن حلقه‌باید نیروی F راکه معادل $2\gamma l$ است برآن واردکرد . ازاین روش در اندازه‌گیری کشش سطحی استفاده میکنند .

بادستگاهی‌که درشکل ۱۳–۳ نشانداده شده بطریق دیگرمیتوان اثرکشش سطحی‌را نشان داد وحتی میتوان‌کشش سطحی را اندازه‌گرفت . حلقه‌ای‌که طول محیط‌آن l است ازسطح‌آزاد مایعی مطابق شکل خارج میشود . نیروی F که با $2\gamma l$ حاصل ازاثر مایع بر