

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فلوتاسیون و آزمایشگاه

Flotation and Laboratory

مدرس: محمد جهانی چگنی

m.jahani1983@gmail.com

مهر ماه ۱۴۰۱

منابع اعلام شده از سوی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

منابع

- ۱- نعمت‌اللهی، حسین؛ "کانه‌آرایی"؛ جلد اول و دوم، انتشارات دانشگاه تهران؛ چاپ پنجم؛ ۱۳۸۷.
- ۲- رضایی، بهرام؛ "فلوتاسیون"؛ دانشگاه هرمزگان؛ چاپ دوم؛ ۱۳۷۸.
- ۳- رضایی، بهرام؛ "تکنولوژی فلوتاسیون"؛ نشر دانش، ۱۳۹۴.
- ۴- فینچ، جی.ا. و دای، گ.اس؛ "فلوتاسیون ستونی"؛ ترجمه بنیسی، صمد؛ و نثاری، محمد؛ دانشگاه هرمزگان؛ ۱۳۹۰.
- ۵- فورستینو، م. ملر، ج. د. کان، م.؛ "شیمی فلوتاسیون"؛ ترجمه عبداللهی، محمود؛ جهاد دانشگاهی تربیت مدرس و صنعتی امیرکبیر؛ ۱۳۸۲.
- ۶- مانسر، آر. ام؛ "راهنمای فلوتاسیون سیلیکات‌ها"؛ ترجمه اولیازاده، منوچهر و کمترین، محمد؛ دانشگاه صنایع و معادن ایران؛ ۱۳۸۱.
- ۷- اولیازاده، منوچهر؛ نوع پرست، محمد؛ عبداللهی، هادی؛ "ماشین‌های فلوتاسیون، مبانی و اصول طراحی"؛ جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر؛ ۱۳۸۴.
- 8- Wills, B.A., Finch, J.; "Wills' Mineral Processing Technology, An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery"; 8th Edition; Butterworth-Heinemann; 2015.
- 9- Weiss, N.L.; "SME Mineral Processing Handbook"; Littleton, Colorado, U.S.A.; Society for Mining Metallurgy, 1985.
- 10- Hartman, H.L.; "SME Mining Engineering Handbook"; Vol I & II; 2nd Edition; Littleton, Colorado, U.S.A.; Society for Mining Metallurgy; 1992.
- 11- Kelly, E.G., and Spottiswood, D.J.; "Introduction to Mineral Processing"; New York: Wiley, 1982.
- 12- Bulatovic, S.M. "Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice" Elsevier Science, 2007
- 13- Wang, L.K., Shamas, N.K., Selke, W.A., Aulenbach, D.B; "Handbook of Environmental Engineering, Volume 12, Flotation Technology" Springer, 2010.

سرفصل های وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

فلوتاسیون و آزمایشگاه Flotation and Laboratory

تعداد واحد:	۲ واحد
نوع درس:	۱/۵ واحد نظری (۲۴ ساعت) و ۰/۵ واحد عملی آزمایشگاهی (۱۶ ساعت)
(هم نیاز) پیش نیاز:	شیمی عمومی، کانه آرایی و آزمایشگاه
هدف:	آموزش مبانی و اصول مورد نیاز برای طراحی مدارهای فلوتاسیون و شناخت مواد شیمیایی و ماشین های مورد استفاده و انجام آزمایش های مرتبط برای ایجاد قابلیت انجام کار در صنعت

سرفصل ها

الف) فلوتاسیون

- کلیات: جایگاه فلوتاسیون در کانه آرایی مواد معدنی، اصول، پیوندهای اتمی و مولکولی، فازها در سیستم فلوتاسیون، نیروهای بین مولکولی، غلظت یون هیدروژن، کشش سطحی، حباب هوا، ابرانی طبیعی، پدیده جذب، بار سطحی، دولایه الکتریکی.
- معرف های (مواد شیمیایی) فلوتاسیون: کلکتورها (انواع، تشکیل میسل)، تنظیم کننده ها (بازداشت کننده ها، فعال کننده ها)، کف سازها، روغن های خنثی، pH و هیدراسیون.
- فلوتاسیون کانی های سولفیدی: حلالیت و خواص نیمه هادی سولفیدها، ارتباط بین پدیده های الکتروشیمیایی و ابرانی سطحی، اهمیت اکسیژن در مکانیزم جذب، سینتیک الکتریکی، مکانیزم جذب تیول ها، مکانیزم و مثال هایی از فلوتاسیون کانی های سولفیدی یک، دو و چند فلزی.

سرفصل های وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

- فلوتاسیون کانی های اکسیده و سیلیکاته: فلوتاسیون با کلکتورهای کاتیونی (انواع، مکانیزم، جذب)، فلوتاسیون آنیونی (جذب فیزیکی، جذب شیمیایی)، فعال شدن کوارتز، عوامل موثر در فلوتاسیون آنیونی، مثال هایی از فلوتاسیون این نوع کانه ها (کانه های آهن، پگماتیت و ...).
- فلوتاسیون کانی های نمک های نیمه محلول: شیمی محلول در فلوتاسیون نمک های نیمه محلول، بار سطحی و منشاء آن در نمک ها، مکانیزم جذب کلکتور، فعال و بازداشت کردن نمک ها، مثال هایی از فلوتاسیون نمک ها (فلوئورین، فسفات ها، باریت، شلیت و ...).
- فلوتاسیون نمک های محلول: مواد شیمیایی مصرفی، مکانیزم جذب کلکتور، مثال (جدایش سیلوین از گانگ همراه).
- فلوتاسیون زغال سنگ: خصوصیات زغال از منظر فلوتاسیون (خاکستر، گوگرد، آبرائی)، مواد شیمیایی مصرفی، عوامل موثر در فلوتاسیون زغال، روش های کاهش پیریت.
- ماشین های فلوتاسیون: ماشین های مجهز به همزن و یا متفرق کننده (کلیات، مشخصات هندسی و هیدرودینامیکی، انواع، تاثیر دانه بندی بر عملکرد ماشین، جنس، ظرفیت).
- ترتیب و طراحی مدارهای فلوتاسیون: سینتیک فلوتاسیون (مدل های سینتیکی، محاسبه ثابت سینتیک و زمان بهینه، کاربرد ثابت سینتیک)، توزیع زمان توقف در سلول ها، موازنه جرمی مواد در سلول، ترتیب مدارها (ترتیب ها، محاسبه حجم کلی سلول ها و هر سلول در مراحل مختلف، تعداد سلول ها)، عوامل موثر در فلوتاسیون و طراحی مدارها (ابعاد ذرات، کمیت و کیفیت آب مصرفی، غلظت پالپ، دما، زمان آماده سازی، ابعاد حباب هوا، زمان انبارسازی و اختلاط، مکانیزم مخلوط کردن در سلول، هوادهی، عمق کف و غلظت کف ساز)، مطالعات امکانسنجی.



سرفصل های وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

- آگیری: معرفی عملکرد و انواع تیکنرها، معرفی انواع فیلترها و نحوه عملکرد آنها، مواد شیمیایی مورد استفاده در فرایندهای آگیری
- فلوتاسیون ستونی: کلیات، مفاهیم و تعاریف، مکانیزم، طرح کلی و نحوه کار.
- ب) آزمایشگاه
- آزمایش های فلوتاسیون سولفیدها، اکسیدها و سیلیکات ها، نمک های نیمه محلول، نمک های محلول، زغال سنگ
- آزمایش های فلوتاسیون ستونی
- مسائل جامع در مورد طراحی مدارهای فلوتاسیون

- 1- “**FROTH FLOTATION: A Century of Innovation**”, Maurice C. Fuerstenau, Graeme Jameson, and Roe-Hoan Yoon, 1st edition, SME, 2007.
- 2- “**Principles of Mineral Processing**”, Maurice C. Fuerstenau and Kenneth N. Han, 1st edition, SME, 2003.
- 3- “**Wills’ Mineral Processing Technology – An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery**”, Barry A. Wills and Tim Napier-Munn, 7th and 8th editions, Elsevier Science & Technology Books, 2006, 2016.

- 4- “**Mineral Processing Design and Operation – An Introduction**”, 1st and 2nd editions, A. Gupta & D. S. Yan, 2006 and 2016.
- 5- “**Mineral Processing – Foundations of theory and practice of minerallurgy**”, Jan Drzymala, 1st edition, Wroclaw University of Technology, 2007.
- 6- “**Mineral Processing**”, E. J. Pryor, 3rd edition, Elsevier, 1965.
- 7- “**Basics in Mineral Processing**”, Metso, 10th and 11th editions, 2015 and 2018.

- 8- “**Introduction to Mineral Processing**”, E. G. Kelly, D. J. Spottiswood, 3rd edition, Mineral Engineering Services, Australia, 1989.
- 9- “**SME MINERAL PROCESSING & EXTRACTIVE METALLURGY HANDBOOK**”, MANAGING EDITOR: ROBERT C. DUNNE, EDITORS: S. KOMAR K AWATRA & COURTNEY A. YOUNG, 1st edition, SME, 2019.
- 10- “**Coal Flotation and Fine Coal Utilization**”, J. S. Laskowski, 1st edition, Elsevier, Developments in Mineral Processing 14, 2001.

- 11- “ **Innovative Process Development in Metallurgical Industry**”, V. L. Lakshmanan, R. Roy, & V. Ramachandran, 1st edition, Springer, 2016.
- 12- “**Coal Processing and Utilization**”, D.V. Subba Rao, and T. Gouricharan, 1st edition, Taylor & Francis Group, London, UK, 2016.
- 13- “**Sampling from large flotation cells - An investigation of spatial distributions**”, Lisa Malm, Licentiate thesis, Luleå University of Technology, 2019.
- 14- “**COLLOIDAL SCIENCE OF FLOTATION**”, Anh V. Nguyen and Hans Joachim Schulze, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2004.

- 15- **“Flotation Reagents: Applied Surface Chemistry on Minerals Flotation and Energy Resources Beneficiation - Volume 1: Functional Principle”**, Dianzuo Wang, Springer, Metallurgical Industry Press, Beijing and Springer Science + Business Media Singapore, 2016.
- 16- **“Flotation Reagents: Applied Surface Chemistry on Minerals Flotation and Energy Resources Beneficiation - Volume 2: Applications”**, Dianzuo Wang, Springer, Metallurgical Industry Press, Beijing and Springer Science + Business Media Singapore, 2016.

- 17- “**Electrochemistry of Flotation of Sulphide Minerals**”, Yuehua Hu, Wei Sun, and Diansuo Wang, Springer, Tsinghua University Press, Beijing and Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.
- 18- “**Flotation Science and Engineering**”, K. A. Matis, CRC Press, Marcel Dekker, Inc., Aristotle University, Thessaloniki, Greece, 1995.
- 19- “**Flotation Technology - HANDBOOK OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING - VOLUME 12**”, Lawrence K. Wang, Nazih K. Shammass, William A. Selke, and Donald B. Aulenbach, Humana Press, Springer Science + Business Media, LLC, 2010.

- 20- “**FLOTATION - Theory, Reagents and Ore Testing**”, RONALD D. CROZIER, PERGAMON PRESS, 1st edition, 1992.
- 21- “**Handbook of Flotation Reagents – Chemistry, Theory and Practice: Volume 1: Flotation of Sulfide Ores**”, Srdjan M. Bulatovic, Elsevier Science & Technology Books, 2007.
- 22- “**Handbook of Flotation Reagents – Chemistry, Theory and Practice: Volume 2: Flotation of Gold, PGM and Oxide Minerals**”, Srdjan M. Bulatovic, Elsevier, 1st edition, 2010.

- 23- **“Handbook of Flotation Reagents – Chemistry, Theory and Practice: Volume 3: Flotation of Industrial Minerals”**, Srdjan M. Bulatovic, Elsevier, 1st edition, 2015.
- 24- **“Principles and Technologies of Flotation Machines”**, Zhengchang Shen, Springer Tracts in Mechanical Engineering, Metallurgical Industry Press, 2021.
- 25- **“Surface Chemistry of Froth Flotation - Volume 1: Fundamentals”**, S. Ramachandra Rao and Jan Leja, Second Edition, Springer Science + Business Media, LLC, 2004.

- 26- **“THE ROLE OF THE COLLECTOR IN FROTH FLOTATION”**, Kyaw Htin, PhD Thesis, Technical Chemistry Department, Royal Technical College, Glasgow, 1950.
- 27- **“The Scientific Basis of Flotation”**, Kenneth J. Ives, Department of Civil and Municipal Engineering University College, London, U.K., Martinus Nijhoff Publishers, 1984.

منابع فارسی (جهت یادگیری بیشتر)

- ۱- «جزوه درس کانه آرایی»، ویرایش پنجم، صمد بنیسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، مهر ۱۳۸۷.
- ۲- «فلوتاسیون»، ویرایش اول، حمید خوشدست، بخش مهندسی معدن، دانشکده صنعت و معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۹۱.
- ۳- «فلوتاسیون مقدماتی»، ویرایش ششم، حمید خوشدست، گروه فرآوری مواد معدنی، بخش مهندسی معدن مجتمع آموزش عالی زرند، زمستان ۱۳۹۶.
- ۴- «فرآوری مواد معدنی»، رشته معدن، زمینه صنعت، شاخه آموزش فنی و حرفه‌ای، شماره درس ۲۵۸۹، بهرام رضایی، غلامرضا محمدزاده، تهران: شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران، ۱۳۹۱.
- ۵- «فلوتاسیون»، مهدی نصیری سروی، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی معدن.
- ۶- «کانه آرایی-جلد دوم»، حسین نعمت‌اللهی، انتشارات دانشگاه تهران، فصل‌های ۱۲ و ۱۳، صفحه ۵۹۷ تا ۷۴۳، چاپ سوم، ۱۳۸۱.

سایت‌های مفید برای دانلود رفرنس‌ها

<http://gen.lib.rus.ec/scimag/index.php>

<http://sci-hub.ren/>

<http://bookzz.org/>

<http://booksc.org/>

www.Liberica.org/books/

www.slideshare.net/?ss

<http://b-ok.org/>

<http://sci-hub.hk/>

<http://www.telsmith.com/>

<https://freepaper.me/>

سایت‌های مفید برای یادگیری

www.smenet.org

<http://www.metso.com/>

www.Metsominerals.com

www.sciencedirect.com

<http://www.denvermineral.com/>

<http://hardinge.com/>

<http://www.min-eng.com/>

<http://www.kmpc.ir/>

<https://www.multotec.com/>

<http://www.bureauveritas.com/home>

<http://www.pala.com/>

<https://www.911metallurgist.com/>

<http://video.flsmidth.com/>

<http://www.xinhaimining.com/video>

وبسایت دانشگاه صنعتی شاهرود

<https://shahroodut.ac.ir/fa/as/?id=S826>

صفحه اصلی | دوشنبه ۱۱ مهر ۱۴۰۱ | ورود | جستجو | العربية | English

/ سیاست گذاری / معاونت ها / دانشکده ها / سامانه ها



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

درباره دانشکده اخبار افراد گروه های آموزشی اعلانات و چارت آموزشی آزمایشگاه ها فعالیت های علمی و پژوهشی فرایندها ارتباط با ما

کانه آرابی و فرآوری مواد معدنی



محمد کارآموزیان
فرآوری مواد معدنی
رتبه علمی: دانشیار



اصغر عزیزی
فرآوری مواد معدنی
رتبه علمی: دانشیار
[مدیر گروه]



محمد جهانی چگنی
فرآوری مواد معدنی
رتبه علمی: استادیار

برنامه هفتگی

برنامه هفتگی استاد در ترم 4011

روز/ساعت	08:00 09:00	09:00 10:00	10:00 11:00	11:00 12:00	12:00 13:00	13:00 14:00	14:00 15:00	15:00 16:00	16:00 17:00	17:00 18:00	18:00 19:00	19:00 20:00	20:00 21:00	21:00 22:00	22:00 23:00
شنبه															
یک شنبه	فلوتاسیون و آزمایشگاه گروه: 01 هفته های زوج محل: کانه آرایي و فلوتاسیون					برنامه سازی کامپیوتر گروه: 01 هر هفته محل: کلاس شماره 8- دانشکده معدن									
دوشنبه	برنامه سازی کامپیوتر گروه: 01 هفته های فرد محل: کلاس شماره 8- دانشکده معدن					خردایش پیشرفته گروه: 01 هر هفته محل: کلاس شماره 12- دانشکده معدن									
سه شنبه	مباحث ویژه گروه: 01 هر هفته محل: کلاس شماره 12- دانشکده معدن														
چهارشنبه						فلوتاسیون و آزمایشگاه گروه: 01 هر هفته محل: کلاس شماره 8- دانشکده معدن									
پنج شنبه															

نحوه ارزشیابی

امتحان پایان ترم: ۱۲ نمره

حضور در آزمایشگاه کانه‌آرایی و انجام آزمایش‌های فلوتاسیون و تهیه گزارش: ۸ نمره (۴ آزمایش هر کدام دو نمره)

حضور غیاب : صفر نمره (به ازای هر غیبت نیم نمره کسر می‌شود)

تحقیقات کوچک و مثبت‌های کلاسی: ۳ نمره

فلوتاسیون (Flotation) - مقدمه

- ❑ بدون شک، فلوتاسیون کارآمدترین روش کانه‌آرایی است و بیشترین کاربرد را در آرایش مواد معدنی دارد.
- ❑ این روش در سال ۱۹۰۶ پایه‌گذاری شد و برای نخستین بار به‌طور صنعتی در استرالیا و ایالات متحده آمریکا مورد استفاده قرار گرفت.
- ❑ با استفاده از فلوتاسیون، بهره‌برداری از کنسارهای (mineral deposit) بزرگ با عیار کم و مینرالیزاسیون (mineralization) (کانی‌سازی) پیچیده امکان‌پذیر شده است.
- ❑ در بسیاری از موارد، باطله‌های قدیمی کارخانه‌های کانه‌آرایی دارای عیاری به مراتب بیشتر از حداقل عیار قابل قبول در روش فلوتاسیون بوده است.
- ❑ فلوتاسیون روشی انتخابی می‌باشد. با استفاده از این روش می‌توان کانه‌های پیچیده‌ای مانند مس-سرب-روی و غیره را به‌طور انتخابی آرایش داد.
- ❑ فلوتاسیون در ابتدا برای آرایش کانه‌های سولفور مس، سرب و روی مورد استفاده قرار گرفت. سپس در آرایش کانه‌های اکسیده و غیرفلزی گسترش یافت.

فلوتاسیون (Flotation) - مقدمه

□ شایان ذکر است هرچند کاربرد عمده فلوتاسیون در آرایش مواد معدنی می باشد، اما در سایر صنایع نیز از قبیل تصفیه پسابهای صنعتی، صنایع کاغذسازی به منظور بازیابی کاغذهای مستعمل، و غیره نیز مورد استفاده قرار گرفته است.

اصول فلوتاسیون

❑ تئوری فلوتاسیون پیچیده است و به خوبی شناخته شده نیست.

❑ در این روش از اختلاف خواص شیمی فیزیکی سطحی دانه‌های کانی‌های مختلف استفاده می‌شود.

❑ دانه‌های جامد پس از خرد شدن تا ابعاد مناسب در آب به حالت تعلیق در می‌آیند و تشکیل پالپی با غلظت مناسب را می‌دهند.

❑ به جز چند مورد استثنائی، سطح اکثر کانی‌ها در تماس با آب تر می‌شود. به این قبیل مواد آب‌پذیر (آبدوست) (hydrophile) می‌گویند.

❑ پالپ به دست آمده توسط مواد شیمیایی خاصی که نقش آن‌ها آبران (آب‌گریز) (hydrophobe) کردن سطح دانه‌های کانی با کانی‌های خاصی است، تحت تاثیر قرار می‌گیرد. این مرحله آماده‌سازی (conditioning) نام دارد و مواد شیمیایی که دارای چنین خاصیتی هستند، کلکتور (collector) نامیده می‌شوند.

❑ به این ترتیب، کانی یا کانی‌هایی که تحت تاثیر کلکتور قرار گرفته‌اند، گرایش بیشتری به هوا نسبت به آب پیدا می‌کنند.

اصول فلوتاسیون

- ❑ به موازات کلکتور، مواد شیمیایی دیگری در فلوتاسیون مصرف می‌شوند که به آن‌ها تنظیم‌کننده (regulator) یا (modifier) می‌گویند. نقش آن‌ها سرعت بخشیدن اثر کلکتور بر روی یک کانی و یا جلوگیری از این اثر است.
- ❑ مواد شیمیایی دسته اول فعال‌کننده (activator) و مواد شیمیایی دسته دوم بازدارنده (depressant) نام دارند.
- ❑ بعلاوه ممکن است نیاز به افزایش مواد شیمیایی دیگری برای جلوگیری از چسبیدن دانه‌های کوچک به یکدیگر باشد که به آن‌ها نیز متفرق‌کننده (dispersant) می‌گویند.
- ❑ در خاتمه مرحله آماده‌سازی، تنها سطح دانه‌های کانی یا کانی‌های موردنظر هیدروفوب شده است.
- ❑ پالپی که به ترتیب فوق آماده گردیده است، به سلول‌های فلوتاسیون منتقل می‌شود.
- ❑ سلول فلوتاسیون از ظرفی که در داخل آن همزنی برای معلق نگه داشتن دانه‌های جامد و مسیری برای ورود حباب‌های هوا پیش‌بینی شده، تشکیل گردیده است.

Principle of froth flotation

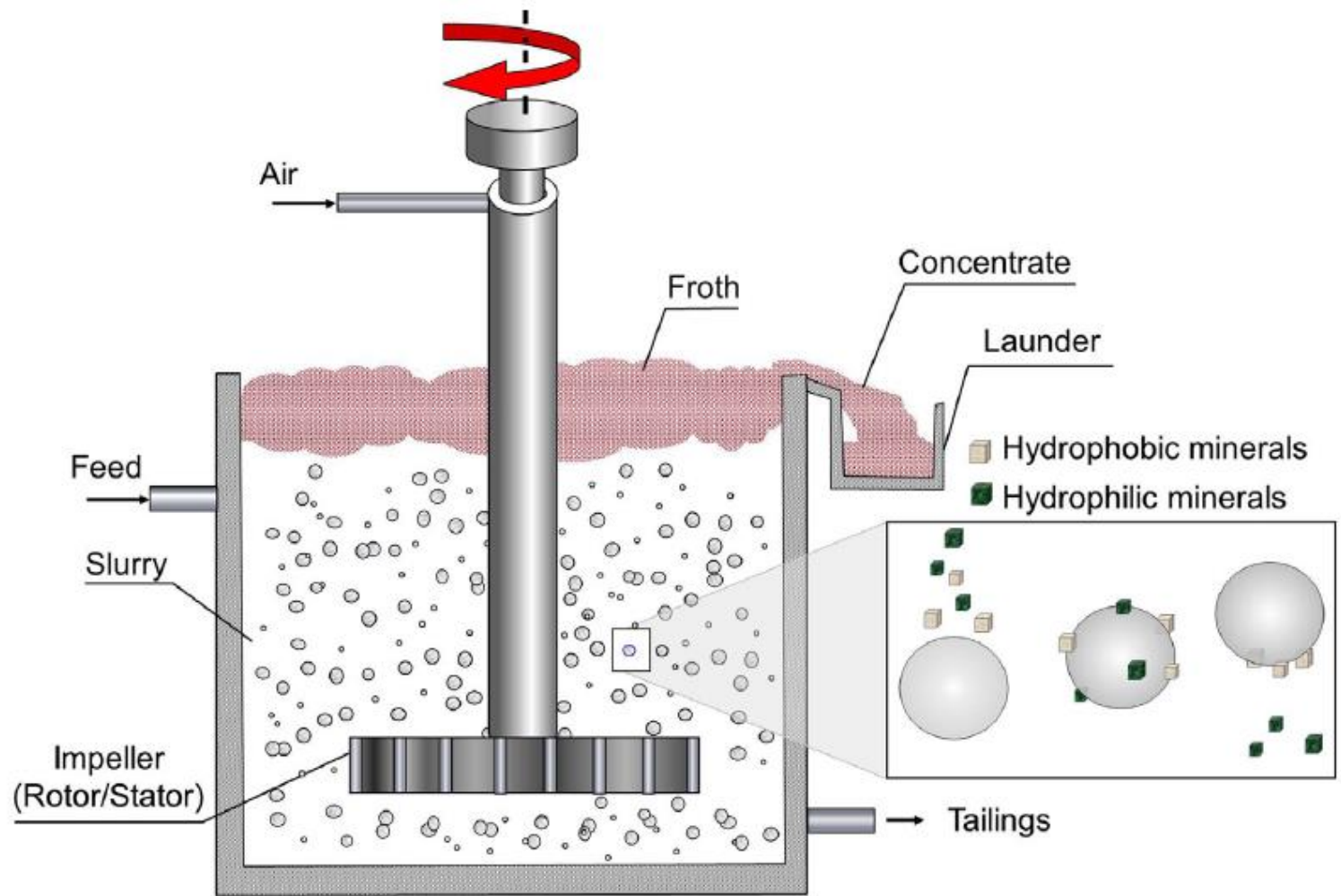


FIGURE 12.1 Principle of froth flotation.

اصول فلو تاسیون

- ❑ ابعاد این حباب‌ها توسط خود دستگاه، شدت به هم زدن و حضور مواد شیمیائی مؤثر در فصل مشترک مایع گاز موسوم به کف‌ساز (frother) قابل کنترل می باشد.
- ❑ این حباب‌ها بر روی سطح دانه‌های هیدروفوب می‌چسبند و در اثر حاصل از نیروی ارشمیدس (Archimedes force) و وزن مجموعه دانه جامد و حباب‌های هوا، دانه‌ها را به سطح پالپ منتقل می‌کنند.
- ❑ با استفاده از کف‌ساز مناسب و میزان مصرف صحیح آن می‌توان لایه‌ای از کف، با پایداری کافی در سطح سلول به دست آورد که حاوی دانه‌های جامد هیدروفوب است.
- ❑ با خارج کردن این کف توسط پارو از سطح سلول، کانی یا کانی‌های موردنظر از کانی‌های گانگ (Gangue) جدا می‌شوند. به این روش فلو تاسیون مستقیم (Direct flotation) می‌گویند.

اصول فلوتاسیون

- ❑ در مورد برخی از کانی‌ها، بهتر است کانی‌های گانگ را تحت تاثیر کلکتور قرار داد. در این صورت بخش خارج شده همراه کف، مواد باطله محسوب شده و باقیمانده مواد، محصول پرعیار شده می‌باشد. به این روش نیز فلوتاسیون معکوس (Reverse flotation) گفته می‌شود.
- ❑ پدیده‌های اساسی فلوتاسیون را می‌توان به کمک شیمی فیزیک سطوح با در نظر گرفتن سه فصل مشترک جامد/مایع، مایع/گاز، و جامد/گاز تشریح کرد.
- ❑ فاز مایع، آب و فاز گاز معمولاً هوا است که در فشار متعارفی (standard pressure) (100 kPa) (1 atm) می‌باشد.

شیمی فلو تاسیون

□ (الف) ذره متصل به حباب، و (ب) نمایش کلاسیک زاویه تماس و نیروهای کشش سطحی.

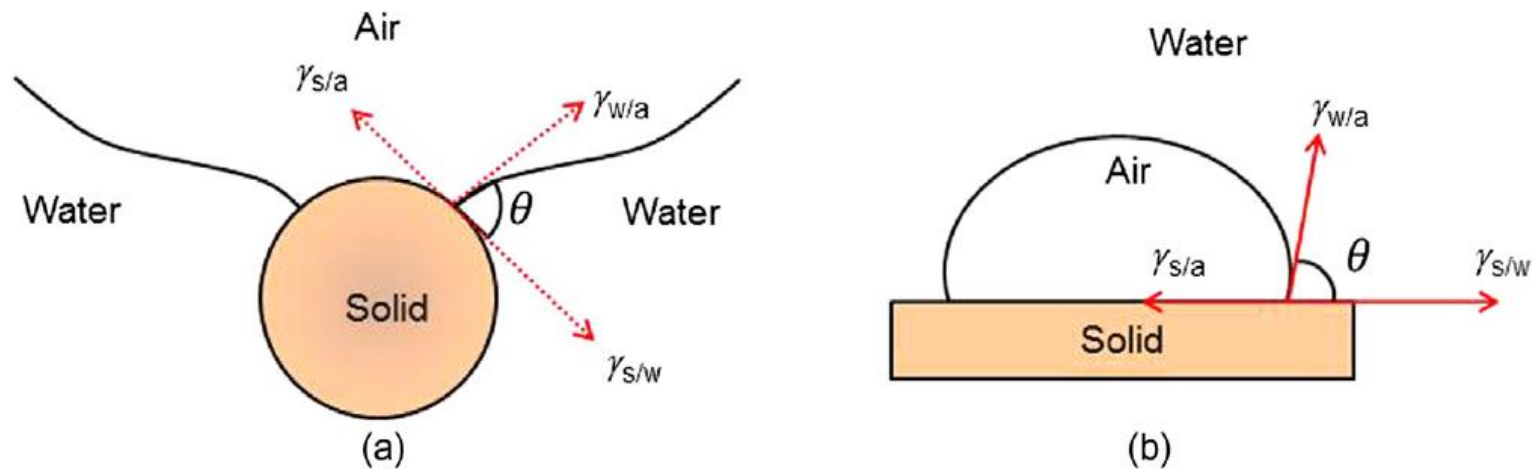


FIGURE 12.2 (a) Particle attached to bubble, and (b) classic representation of contact angle and surface tension forces.

شیمی فلو تاسیون

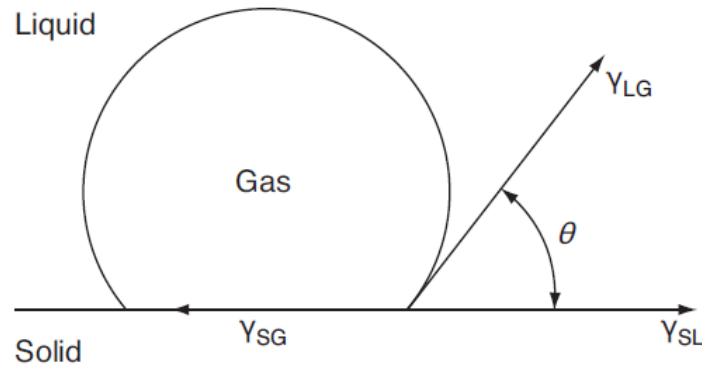


FIGURE 2 Schematic representation of the equilibrium contact between an air bubble and a solid immersed in a liquid. The contact angle θ is the angle between the liquid–gas and the liquid–solid interfaces, measured through the liquid.

$$\gamma_{SG} = \gamma_{SL} + \gamma_{LG} \cos \theta \quad (\text{EQ 12})$$

$$\Delta G = \gamma_{SG} - (\gamma_{SL} + \gamma_{LG}) \quad (\text{EQ 13})$$

$$\Delta G = \gamma_{LG} (\cos \theta - 1) \quad (\text{EQ 14})$$

انرژی آزاد مربوط به در تماس قرار گرفتن حباب هوا با دانه‌های جامد به ازای واحد سطح آنها

انرژی آزاد گیبس (ΔG)

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

$$H = U + PV \quad (\text{kJ})$$

ΔG = change in Gibbs Free Energy

ΔH = change in enthalpy

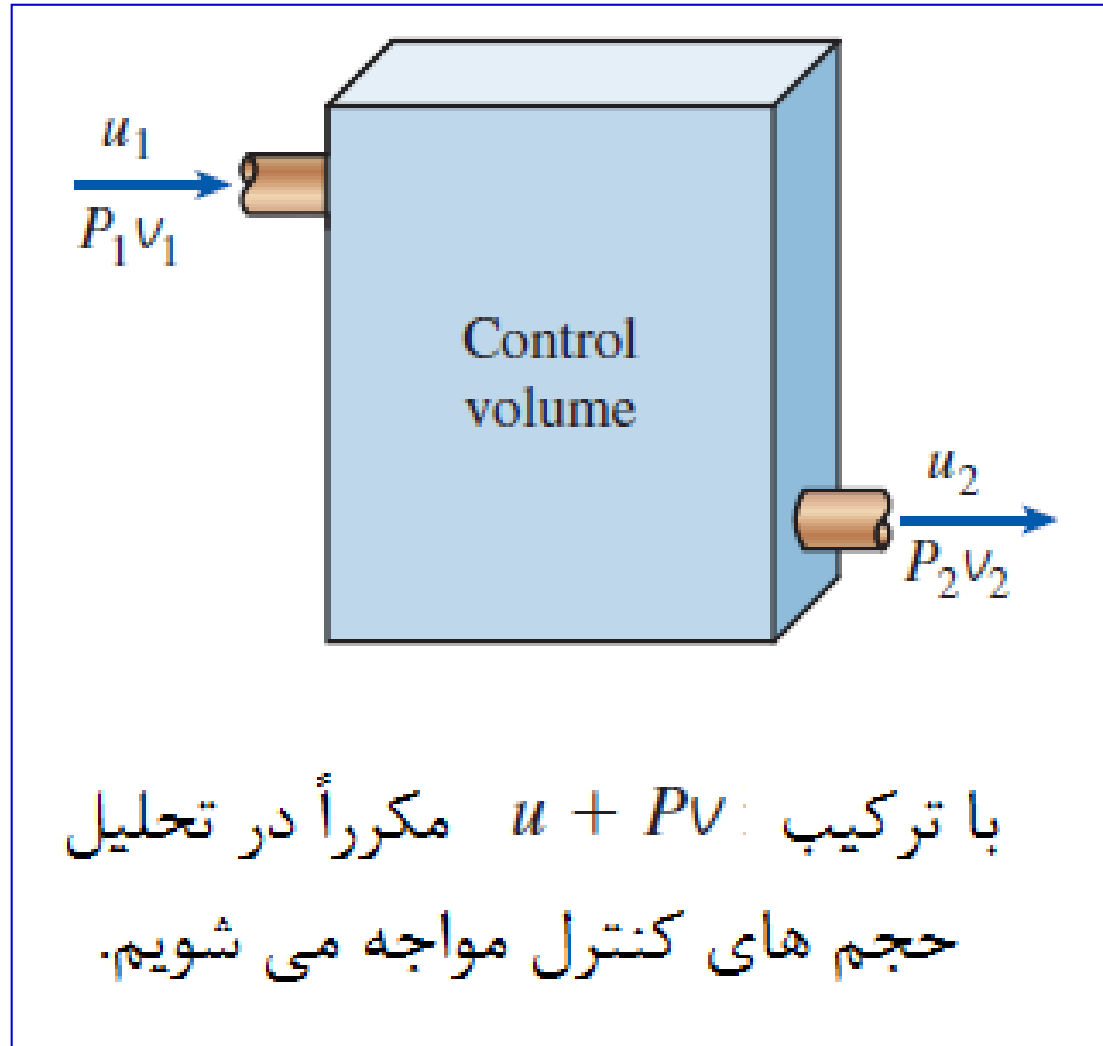
T = temperature in Kelvin

ΔS = change in entropy

- انرژی آزاد گیبس کمیتی ترمودینامیکی است که میزان خودبه خود انجام شدن یک واکنش را نشان می دهد. این کمیت با G نمایش داده می شود.
- انجام یک فرآیند از لحاظ ترمودینامیکی هنگامی امکان پذیر است که تغییرات انرژی آزاد گیبس منفی باشد ($\Delta G < 0$).
- انرژی آزاد گیبس را با انرژی های فیزیکی، شیمیایی و یا انرژی هایی که در طبیعت وجود دارند نباید اشتباه گرفت. انرژی آزاد گیبس یک پدیده ترمودینامیکی است که در اثر انجام شدن یک واکنش شیمیایی ایجاد می شود.
- انرژی آزاد گیبس در اثر انجام شدن یک واکنش شیمیایی ایجاد شده و بصورت تصادفی یا خود به خود ایجاد نمی شود. در انرژی آزاد گیبس پدیده هایی مانند حرکت، گرما، جنبش و انفجار مشاهده نمی شوند. بنابراین در اثر ایجاد شدن انرژی آزاد گیبس هیچگونه تغییر حرکتی و فیزیکی در ماده ایجاد نمی شود.

آنتالپی - یک خاصیت مرکب (ترکیبی) Enthalpy—A Combination Property

□ در تحلیل انواع خاصی از فرآیندها، بویژه در تولید توان و سرمایش مکرراً ترکیبی از خواص به صورت $u + Pv$ مورد استفاده قرار می گیرد.



آنتالپی - یک خاصیت مرکب (ترکیبی) Enthalpy—A Combination Property

□ لذا برای گریز از اشتباه و با انگیزه ایجاد سادگی و راحتی بیشتر، این ترکیب به عنوان خاصیتی جدید به نام **آنتالپی** (enthalpy) تعریف می‌شود که نماد آن را با h به عنوان آنتالپی مخصوص (ویژه) (specific enthalpy) نشان می‌دهیم:

$$h = u + Pv \quad (\text{kJ/kg})$$

□ برای آنتالپی کل (total enthalpy) H داریم:

$$H = U + PV \quad (\text{kJ})$$

□ آنتالپی کل H و آنتالپی ویژه h را اختصاراً آنتالپی می‌نامیم و معمولاً در متن مشخص می‌شود که کدام یک مدنظر می‌باشد.

انرژی درونی (U) Internal Energy

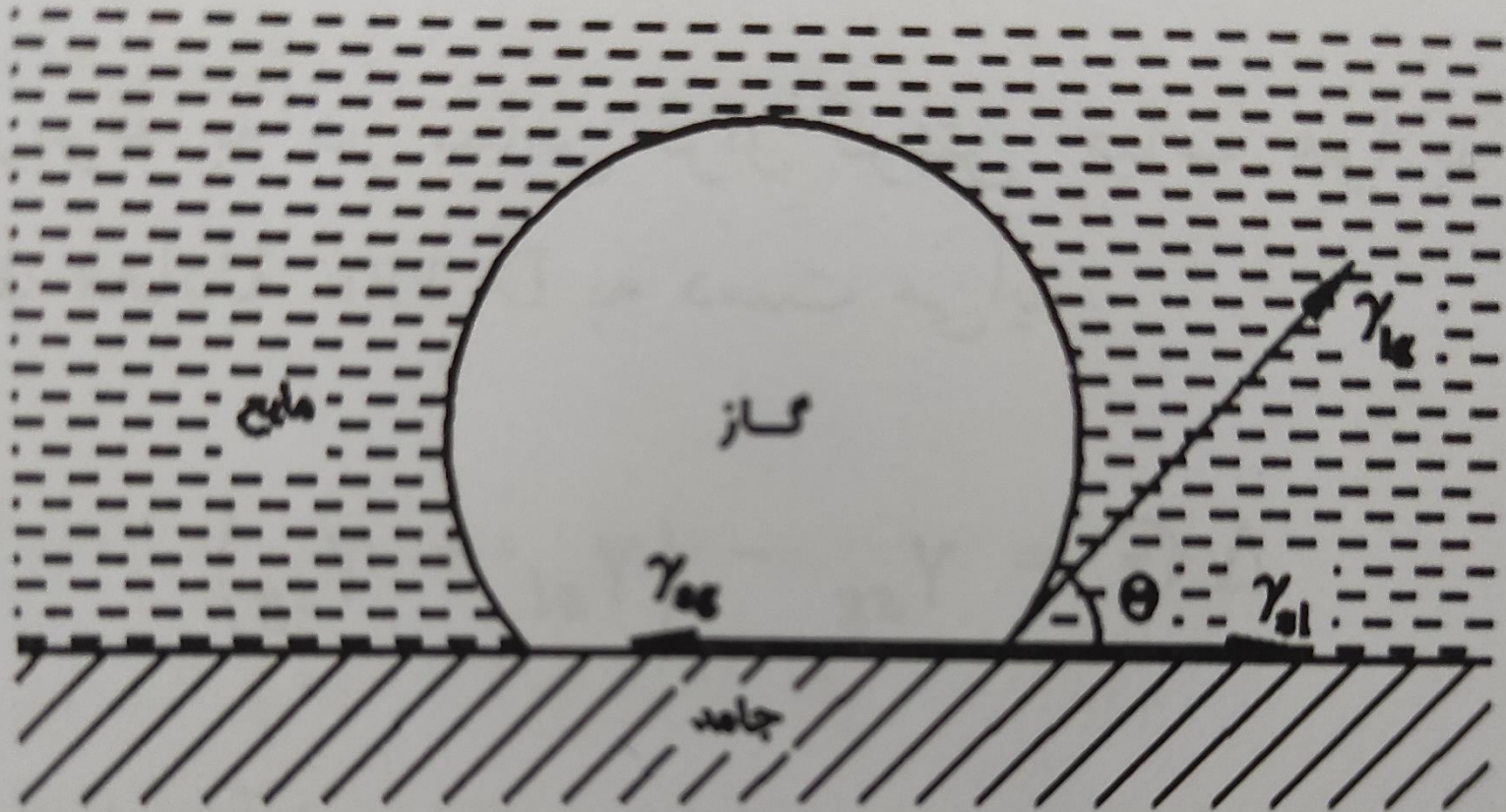
□ انرژی درونی به صورت مجموع همه صورت‌های میکروسکوپی (microscopic) انرژی سیستم تعریف می‌شود.

□ انرژی درونی به ساختار مولکولی (molecular structure) و درجه فعالیت مولکولی

(molecular activity) سیستم بستگی دارد و می‌توان آن را به صورت مجموع انرژی‌های

جنبشی (kinetic) و پتانسیل (potential) مولکول‌ها در نظر گرفت.

شیمی فلوئاسیون



شکل ۱۲-۱- زاویه تماس بین سه فاز جامد، مایع و گاز

شیمی فلوتاسیون

- ❑ مهمترین عامل در فلوتاسیون، سطح تماس ایجادشده بین جسم جامد و حباب هوا در درون آب است.
- ❑ میزان چسبندگی حباب‌های هوا به سطح دانه‌های جامد، توسط میزان ترشوندگی دانه توسط آب یا هیدروفوبیسیته (آب‌گریزی) سطح بیان می‌گردد.
- ❑ پایداری این چسبندگی، به وسیله زاویه تماس ایجادشده بین سه فاز جامد، مایع و گاز اندازه‌گیری می‌شود.
- ❑ شایان ذکر اینکه در بین مواد جامد، بزرگترین زاویه تماس متعلق به تفلون (Teflon) است که معادل 108° درجه می‌باشد.
- ❑ در بین کانی‌ها و مواد معدنی، تعداد اندکی از آن‌ها به‌طورطبیعی هیدروفوب (آب‌گریز) هستند. از آن جمله می‌توان از کانی‌های تک عنصری گوگرد و گرافیت، از کانی‌های سولفور مولیبدنیت (MoS_2) و استیبین (Stibnite) (antimonite) (Sb_2S_3)، از کانی‌های غیرسولفور تالک، و از سایر مواد معدنی زغال‌سنگ را نام برد.
- ❑ زاویه تماس در همه آن‌ها کمتر از 108° درجه می‌باشد.

Classification of Polar Minerals

طبقه‌بندی کانی‌های قطبی (هیدروفیل) □

TABLE 12.1 Classification of Polar Minerals

Group 1	Group 2	Group 3(a)	Group 4	Group 5
Galena	Barite	Cerrusite	Hematite	Zircon
Covellite	Anhydrite	Malachite	Magnetite	Willemite
Bornite	Gypsum	Azurite	Gothite	Hemimorphite
Chalcocite	Anglesite	Wulfenite	Chromite	Beryl
Chalcopyrite			Ilmenite	Feldspar
Stibnite		Group 3(b)	Corundum	Sillimanite
Argentite		Fluorite	Pyrolusite	Garnet
Bismuthinite		Calcite	Limonite	Quartz
Millerite		Witherite	Borax	
Cobaltite		Magnesite	Wolframite	
Arsenopyrite		Dolomite	Columbite	
Pyrite		Apatite	Tantalite	
Sphalerite		Scheelite	Rutile	
Orpiment		Smithsonite	Cassiterite	
Pentlandite		Rhodochrosite		
Realgar		Siderite		
Native Au, Pt, Ag, Cu		Monazite		

فلوتاسیون

- ❑ جدای از فلزات طبیعی، کانی‌های گروه ۱ همگی سولفید هستند که به دلیل پیوند کووالانسی‌شان که نسبت به پیوند یونی کانی‌های سیلیکات، کربنات و سولفات نسبتاً ضعیف است، به‌طورضعیفی قطبی هستند.
- ❑ بنابراین، به‌طور کلی، درجه قطبیت، و در نتیجه انرژی سطح و آبدوستی، از کانی‌های سولفیدی، از سولفات‌ها، به کربنات‌ها، هالیت‌ها، فسفات‌ها و غیره و سپس به اکسید-هیدروکسیدها و در نهایت سیلیکات‌ها و کوارتز افزایش می‌یابد که به شدت آبدوست هستند.
- ❑ بهترین کانی در فلوتاسیون گالن است.
- ❑ بدترین کانی در فلوتاسیون کوارتز است.

شیمی فلو تاسیون

□ تعادل سه فاز جامد، مایع و گاز را می توان توسط انرژی فصل مشترک های آنها با استفاده از معادله یانگ-دوپری (Young-Dupré equation) نوشت:

$$\gamma_{sg} = \gamma_{sl} + \gamma_{lg} \cos \theta$$

که در آن،

γ_{sg} : انرژی فصل مشترک جامد/گاز

γ_{sl} : انرژی فصل مشترک جامد/مایع

γ_{lg} : انرژی فصل مشترک مایع/گاز

θ : زاویه تماس

شیمی فلو تاسیون

□ انرژی آزاد مربوط به در تماس قرار گرفتن حباب هوا با دانه‌های جامد به ازای واحد سطح آن‌ها، توسط معادله Dupré به دست می‌آید:

$$\Delta G = \gamma_{sg} - (\gamma_{sl} + \gamma_{lg})$$

□ به این ترتیب تغییرات انرژی آزاد را می‌توان نسبت به زاویه تماس به دست آورد:

$$\Delta G = \gamma_{lg} (\cos\theta - 1)$$

□ به نظر می‌رسد در تماس قرار گرفتن حباب‌های هوا با دانه‌های جامد، برای همه زوایای تماس آنی باشد.

□ اگر کار لازم برای جابجا کردن لایه‌ای که دانه جامد را احاطه کرده W_A و کار لازم برای جابجا کردن لایه آبی که به شدت به سطح چسبیده است W_C فرض شود، تغییرات انرژی آزاد را به صورت زیر می‌توان نوشت:

$$\Delta G = W_A - W_C$$

شیمی فلو تاسیون

□ برای آنکه چسبندگی حباب به سطح جامد مؤثر باشد، لازم است:

$$W_A < W_C$$

□ در حقیقت W_A کار لازم برای جابجا کردن مایع از سطح جامد و باقی گذراندن یک لایه آب جذب شده در تعادل با فاز گاز اشباع شده است. مقدار آن از معادله زیر به دست می‌آید:

$$W_A = W_i + W_H + W_D$$

□ که در آن،

□ W_i = انرژی یونیزاسیون (Ionization) که از نیروهای جاذبه کولنی در سطح جامد بوجود می‌آید،

□ W_H = انرژی پیوند هیدروژنی که از نیروهای هم‌ترازی (Alignment forces)، تأثیر متقابل دوقطبی سیال (Fluid dipole) با سطح جامد ایجاد می‌شود،

□ W_D = انرژی تفرق (Dispersion energy) که از تأثیر متقابل سیال با دوقطبی‌های القائی (Induced dipoles) در سطح جامد بوجود می‌آید.

Induced (temporary) dipole moments are created when an external electric field distorts the electron cloud of a neutral molecule.

شیمی فلو تاسیون

- W_C به طور ساده کاری است که در فصل مشترک آب/هوا ایجاد سطح جدید می کند و مقدار آن برابر با $2 \times \gamma_{lg}$ (و یا 0.146 J/m^2) است. از این مقدار تقریباً ۳۰ درصد آن در اثر نیروهای تفرق (Dispersion forces) می باشد.
- تعادل در اثر نیروهای قطبی، عمدتاً از نوع پیوندهای هیدروژنی است.
- با توجه به اینکه انرژی تفرق برای جامدات کمتر از 0.146 J/m^2 می باشد، لذا اگر تنها نیروهای تفرق دخالت می کردند، همه جامدات هیدروفوب بودند.
- اما به علت حضور گروه های یونی و پیوندهای هیدروژنی، سطح دانه های جامد در تماس با آب تر می شود.
- در مورد کانی هایی که در ترکیب آن ها اکسیژن وجود دارد، انرژی های یونیزاسیون و پیوند هیدروژنی به مراتب بزرگتر از W_D و W_C هستند.
- در این شرایط نیروهای هیدراتاسیون (Hydration forces) سطح و یا نیروهای پیوند هیدروژنی سطح قابل توجه می باشند و سطح دانه های جامد هیدروفیل است.

شیمی فلوتاسیون

- به عنوان بخشی از این پدیده که تعیین کننده امکان جابجا شدن آب از سطح توسط حباب هواست، جدایش بار بین جامد و مایع اتفاق می افتد و جامد نسبت به مایع دارای بار سطحی می شود.
- تحرک بار در فاز جامد معمولاً دارای مقدار مشخصی است که محدود به اتم های شبکه سطحی می شود. به این ترتیب بار در ناحیه ای در مجاورت سطح جامد توزیع می گردد.
- بار الکتریکی سطحی ممکن است در اثر مکانیزم های متعددی ایجاد شود. این مکانیزم ها شامل جذب شیمیایی، انحلال ترجیحی یون های سطح، و جانشینی شبکه ای می شوند.
- این بار الکتریکی را می توان توسط آزمایش های ساده ای مانند الکتروفورز (Electrophoresis)، پتانسیل جریان (Current potential)، پتانسیل ته نشینی (Sedimentation potential)، و الکترواسموز (Electro-osmosis) نشان داد.

شیمی فلوتاسیون



شیمی فلوتاسیون



شیمی فلوتاسیون



شیمی فلوتاسیون



شیمی فلوتاسیون



شیمی فلوتاسیون



شیمی فلوتاسیون



شیمی فلوتاسیون



شیمی فلوتاسیون



شیمی فلوتاسیون



شیمی فلوتاسیون



شیمی فلوتاسیون



شیمی فلوتاسیون



شیمی فلوتاسیون



کلکتورها

خوراک ☐

کلکتورهای کاتیونی

خوراک □

کلکتورهای آنیونی

خوراک □

کلکتورهای آنیونی اکسیدریل

خوراک □

کلکتورهای آنیونی سولفیدریل

خوراک □

تشکیل میسل

خوراک ☐

تنظیم کننده ها

خوراک ☐

بازدارنده‌ها

خوراک ☐

فعال کننده‌ها

خوراک ☐

کف سازها

خوراک ☐

روغن‌های خنثی

خوراک □

فلوتاسیون کانی‌هایی با هیدروفوویسیته طبیعی

خوراک □

فلوتاسیون کانی‌های سولفور

خوراک □

فلوتاسیون کانی‌های اکسیده و سیلیکاته

خوراک □

فلوتاسیون کانی‌های خانواده نمک‌های نیمه محلول

خوراک □

فلوتاسیون نمک‌های محلول

خوراک □

سایر کاربردهای فلو تاسیون

خوراک ☐

ماشین های فلو تاسیون

خوراک ☐

ماشین‌های مجهز به همزن/متفرق‌کننده

خوراک □

ماشین‌های فاقد همزن/متفرق‌کننده

خوراک □

ماشین‌هایی که از حباب‌های گاز استفاده می‌کنند

خوراک □

مسیرهای فلو تاسیون

خوراک ☐

سینتیک فلو تاسیون

خوراک ☐

تأثیر مشخصات سلول‌های فلوئتاسیون بر روی سینتیک آن

خوراک □

بررسی اقتصادی آرایش مواد به روش فلو تاسیون

خوراک □

اثر فلوتاسیون بر محیط زیست

خوراک □

Principle of froth flotation

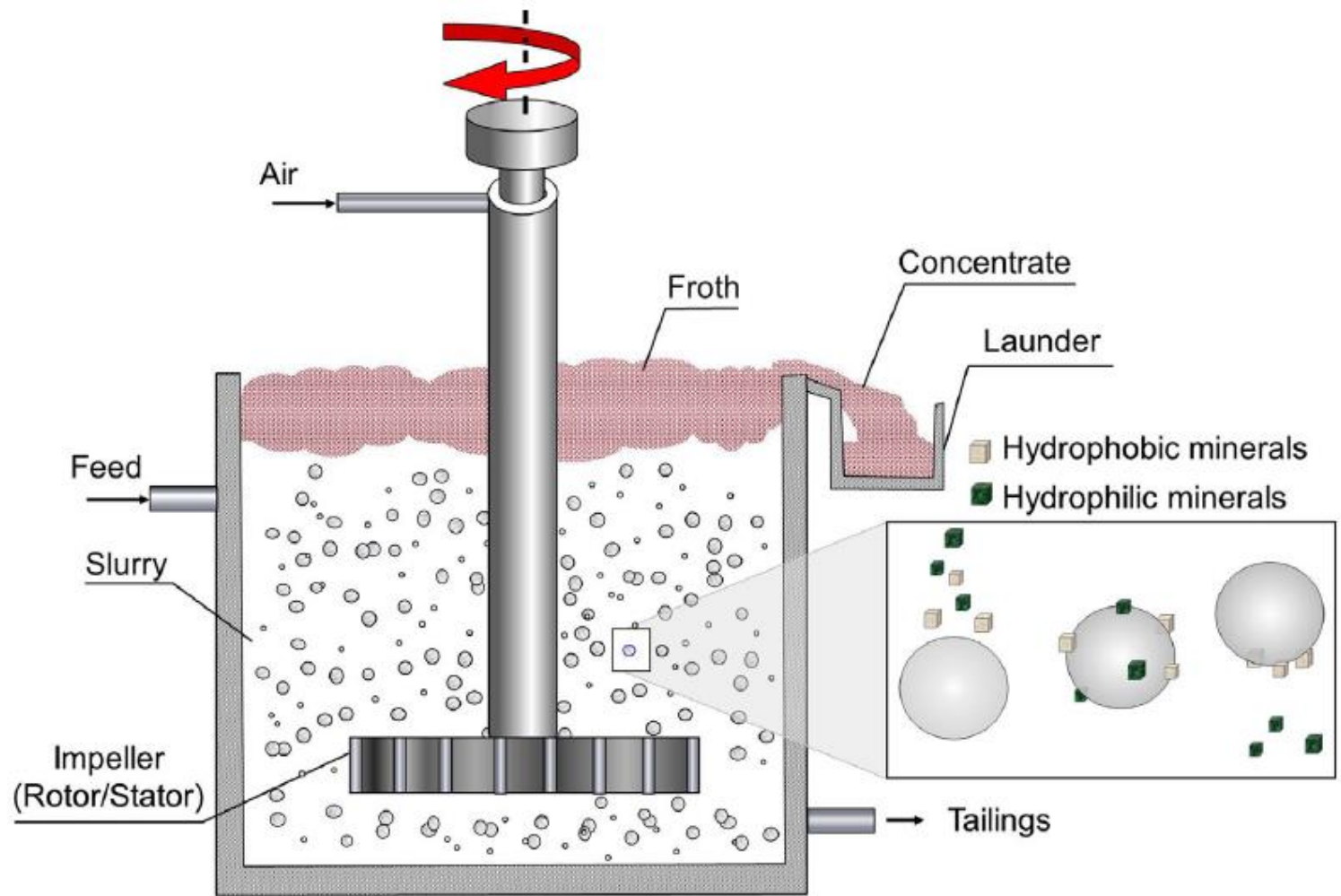


FIGURE 12.1 Principle of froth flotation.

فلوتاسیون

□ (الف) ذره متصل به حباب، و (ب) نمایش کلاسیک زاویه تماس و نیروهای کشش سطحی.

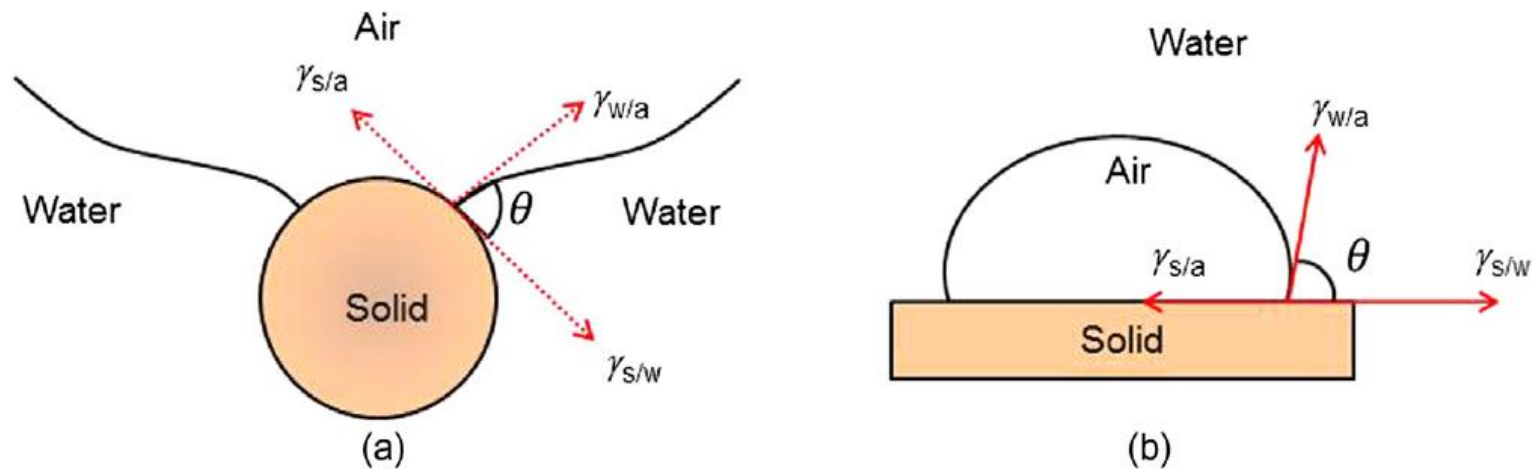


FIGURE 12.2 (a) Particle attached to bubble, and (b) classic representation of contact angle and surface tension forces.

فلوتاسیون

□ مراحل قرار گرفتن کوارتز در برابر آب: (الف) سطح تازه کوارتز (SiO_2)، (ب) واکنش با مولکول‌های آب برای تشکیل گروه‌های SiOH (سیلانول)، و (ج) تشکیل پیوند هیدروژنی با مولکول‌های آب که سطح را آبدوست می‌کند.

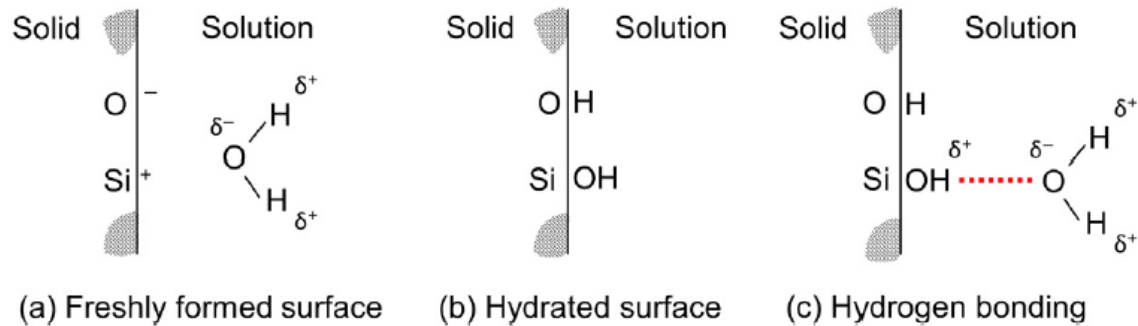


FIGURE 12.3 Stages in exposure of quartz to water: (a) freshly exposed surface of quartz, (b) reaction with water molecules to form SiOH (silanol) groups, and (c) formation of H-bond with water molecules making the surface hydrophilic.

Classification of Polar Minerals

طبقه‌بندی کانی‌های قطبی (هیدروفیل) □

TABLE 12.1 Classification of Polar Minerals

Group 1	Group 2	Group 3(a)	Group 4	Group 5
Galena	Barite	Cerrusite	Hematite	Zircon
Covellite	Anhydrite	Malachite	Magnetite	Willemite
Bornite	Gypsum	Azurite	Gothite	Hemimorphite
Chalcocite	Anglesite	Wulfenite	Chromite	Beryl
Chalcopyrite			Ilmenite	Feldspar
Stibnite		Group 3(b)	Corundum	Sillimanite
Argentite		Fluorite	Pyrolusite	Garnet
Bismuthinite		Calcite	Limonite	Quartz
Millerite		Witherite	Borax	
Cobaltite		Magnesite	Wolframite	
Arsenopyrite		Dolomite	Columbite	
Pyrite		Apatite	Tantalite	
Sphalerite		Scheelite	Rutile	
Orpiment		Smithsonite	Cassiterite	
Pentlandite		Rhodochrosite		
Realgar		Siderite		
Native Au, Pt, Ag, Cu		Monazite		

فلوتاسیون

- ❑ جدای از فلزات طبیعی، کانی‌های گروه ۱ همگی سولفید هستند که به دلیل پیوند کووالانسی‌شان که نسبت به پیوند یونی کانی‌های سیلیکات، کربنات و سولفات نسبتاً ضعیف است، به‌طورضعیفی قطبی هستند.
- ❑ بنابراین، به‌طور کلی، درجه قطبیت، و در نتیجه انرژی سطح و آب‌دوستی، از کانی‌های سولفیدی، از سولفات‌ها، به کربنات‌ها، هالیت‌ها، فسفات‌ها و غیره و سپس به اکسید-هیدروکسیدها و در نهایت سیلیکات‌ها و کوارتز افزایش می‌یابد که به شدت آبدوست هستند.
- ❑ بهترین کانی در فلوتاسیون گالن است.
- ❑ بدترین کانی در فلوتاسیون کوارتز است.

فلوتاسیون

□ (الف) سطح هیدراته کانی سولفید، (ب) واکنش با اکسیژن محلول (DO) برای تشکیل انواع گونه‌های «اکسیداسیون»، و (ج) محصولات واکنش، که بیشتر آن‌ها سطح را آبدوست‌تر می‌کنند.

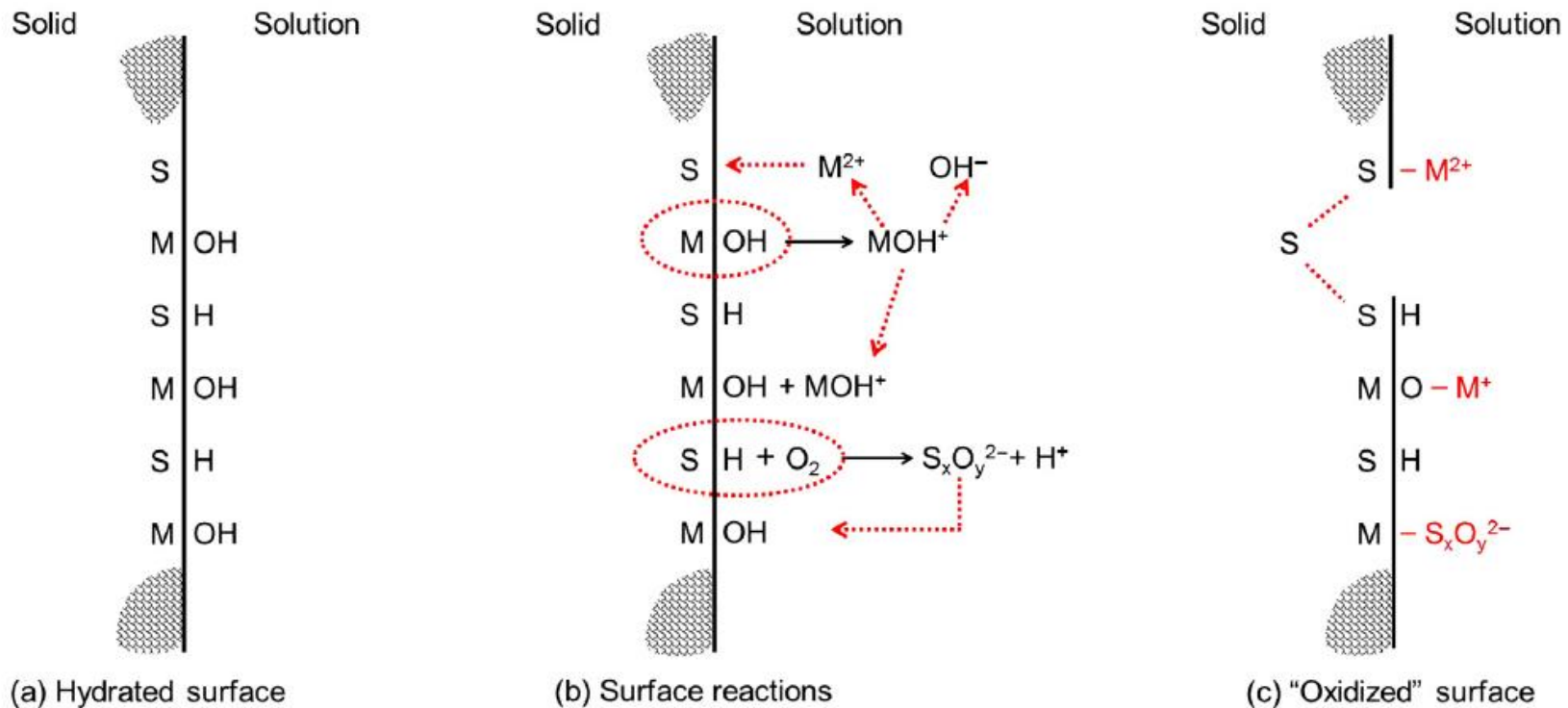


FIGURE 12.4 (a) Hydrated surface of sulfide mineral, (b) reactions with dissolved oxygen (DO) to form a variety of "oxidation" species, and (c) reaction products, most of which make surface more hydrophilic.

فلوتاسیون

□ جذب کلکتور بر روی سطح کانی که جهت‌گیری کلی را با زنجیره هیدروکربنی که به سمت آب هدایت می‌شود نشان می‌دهد و محل را آبگریز می‌کند.

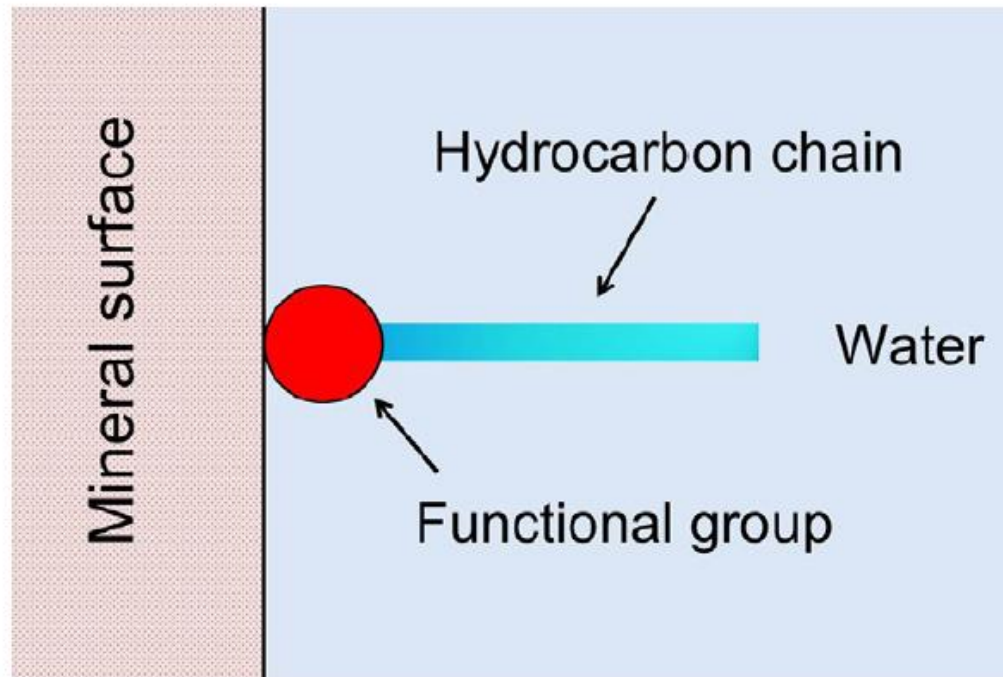


FIGURE 12.5 Adsorption of collector on mineral surface showing general orientation with hydrocarbon chain directed toward the water and making the site hydrophobic.

طبقه‌بندی کلکتورهای یونیزه کننده (یون ساز) بر اساس نوع، آنیونی یا کاتیونی و کاربرد آنها، عمدتاً برای غیرسولفیدها یا سولفیدها

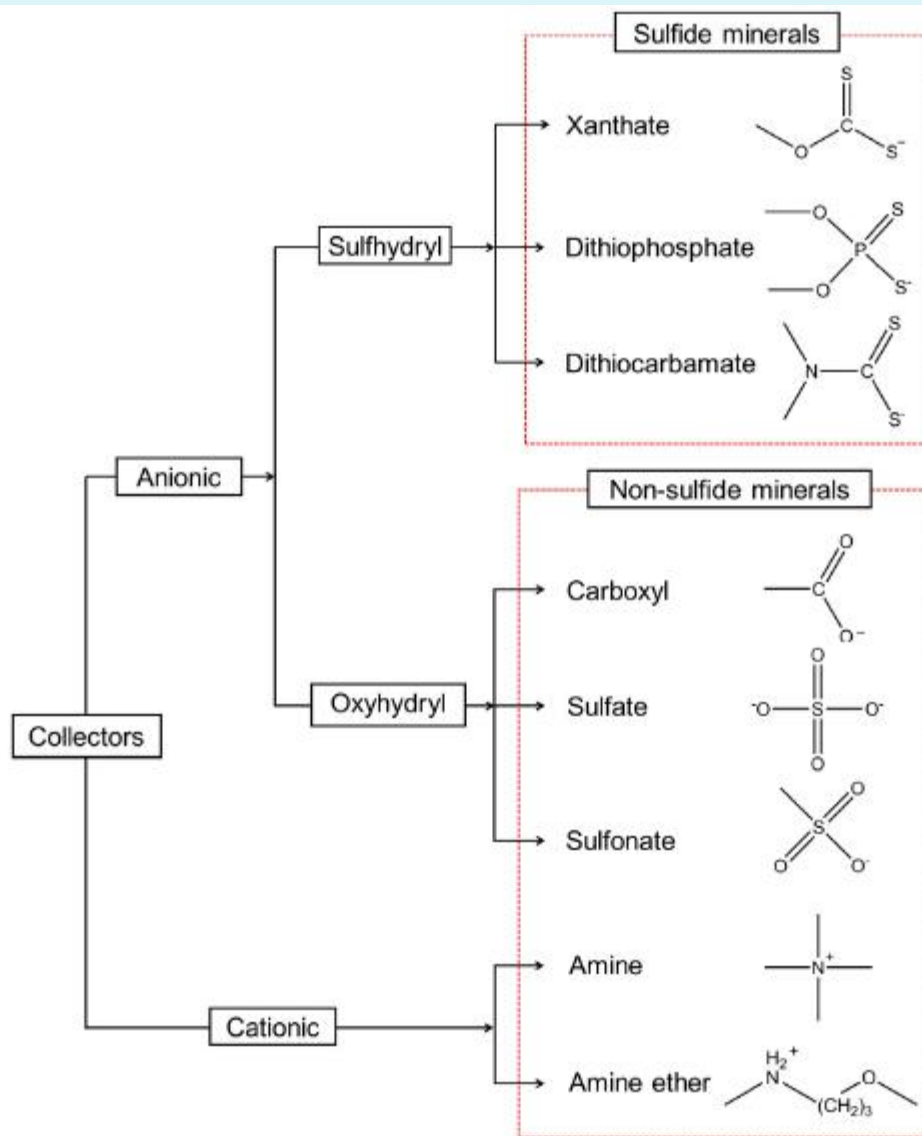
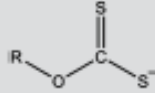
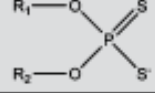
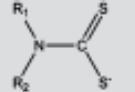
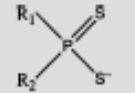
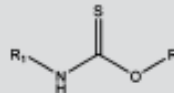
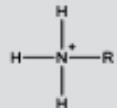
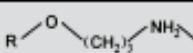
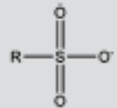
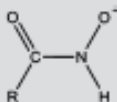


FIGURE 12.6 Classification of ionizing collectors according to type, anionic or cationic, and their application, primarily for non-sulfides or sulfides.

کلکتورهای اصلی و کاربردهای مثالی

TABLE 12.2 Major Collectors and Example Applications

Collector Family		General Formula	R Value	Application
Sulfide minerals	Xanthate, alkyl		C2–C8	Mostly for Cu, Zn, Cu–Mo, Au, PGM, Ni, and oxidized minerals
	Dithiophosphate, dialkyl		C2–C6	Widely used with xanthates for PGM, Fe, Cu, Pb, Cu–Mo, Cu, Au, and complex sulfides
	Dithiocarbamate, dialkyl		C2–C6	PGM ores, Cu, Pb
	Dithiophosphinate, dialkyl		C2–C4	Widely used, especially for complex sulfides, e.g., Pd complexes with S and Se
	Thionocarbamate, dialkyl		C2–C4	Widely used for Cu, Cu–Mo
Non-sulfide minerals	Fatty acids and their salts		C8–C22	Widely used for P, ZnO, CuO, Ni, Nb, Ti, Cu–Co, Sn, W
	Primary amines		C12–24	Widely used, e.g., quartz, ZnO, Ti, Sn
	Amine ether		C6–C13	Quartz, Al silicates
	Petroleum sulfonates		C14–C17	Widely used, e.g., Ti, W, Fe
	Hydroxamates		C5–C14	Rare earths; Sn, W, Mn, Al silicates, quartz

Source: Adapted from Nagaraj and Ravishankar (2007).

یون‌های چنداتمی رایج

Common Polyatomic Ions			
Ion	Name	Ion	Name
NH_4^+	Ammonium	CO_3^{2-}	Carbonate
NO_2^-	Nitrite	HCO_3^-	Hydrogen carbonate Or Bicarbonate
NO_3^-	Nitrate	ClO^-	Hypochlorite
SO_3^{2-}	Sulfite	ClO_2^-	Chlorite
SO_4^{2-}	Sulfate	ClO_3^-	Chlorate
HSO_4^-	Hydrogen sulfate Or Bisulfate	ClO_4^-	Perchlorate
OH^-	Hydroxide	$\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$	Acetate
CN^-	Cyanide	MnO_4^-	Permanganate
PO_4^{3-}	Phosphate	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	Dichromate
HPO_4^{2-}	Hydrogen phosphate	CrO_4^{2-}	Chromate
$\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$	Dihydrogen phosphate	O_2^{2-}	Peroxide

یون‌های چنداتمی رایج

Common Polyatomic Ions

$\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$	acetate	OH^-	hydroxide
NH_4^+	ammonium	ClO^-	hypochlorite
CO_3^{2-}	carbonate	NO_3^-	nitrate
ClO_3^-	chlorate	NO_2^-	nitrite
ClO_2^-	chlorite	$\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$	oxalate
CrO_4^{2-}	chromate	ClO_4^-	perchlorate
CN^-	cyanide	MnO_4^-	permanganate
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	dichromate	PO_4^{3-}	phosphate
HCO_3^-	bicarbonate	SO_4^{2-}	sulfate
HSO_4^-	bisulfate	SO_3^{2-}	sulfite
HSO_3^-	bisulfite		

بارها، نام‌ها، و فرمول‌های یون‌های متداول

Charges, Names, and Formulas of Common Ions

Positive Ions (Cations)

+1 Charge

Name	Formula
Ammonium	NH_4^+
Copper(I)	Cu^+
Lithium	Li^+
Potassium	K^+
Silver	Ag^+
Sodium	Na^+

+2 Charge

Name	Formula
Barium	Ba^{2+}
Calcium	Ca^{2+}
Copper(II)	Cu^{2+}
Iron(II)	Fe^{2+}
Lead(II)	Pb^{2+}
Magnesium	Mg^{2+}
Nickel(II)	Ni^{2+}
Strontium	Sr^{2+}
Tin(II)	Sn^{2+}
Zinc	Zn^{2+}

+3 Charge

Name	Formula
Aluminum	Al^{3+}
Iron(III)	Fe^{3+}

+4 Charge

Name	Formula
Lead(IV)	Pb^{4+}
Tin(IV)	Sn^{4+}

Negative Ions (Anions)

-1 Charge

Name	Formula
Acetate	$\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$
Bromide	Br^-
Chloride	Cl^-
Dihydrogen Phosphate	H_2PO_4^-
Fluoride	F^-
Hydroxide	OH^-
Hydrogen Carbonate (bicarbonate)	HCO_3^-
Hydrogen Sulfate (bisulfate)	HSO_4^-
Hypochlorite	ClO^-
Iodide	I^-
Nitrate	NO_3^-
Permanganate	MnO_4^-
Thiocyanate	SCN^-

-2 Charge

Name	Formula
Carbonate	CO_3^{2-}
Chromate	CrO_4^{2-}
Dichromate	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$
Hydrogen Phosphate	HPO_4^{2-}
Oxide	O^{2-}
Oxalate	$\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$
Sulfate	SO_4^{2-}
Sulfite	SO_3^{2-}

-3 Charge

Name	Formula
Nitride	N^{3-}
Phosphate	PO_4^{3-}

یون‌های چنداتیمی رایج

Name(s)	Formula	Name(s)	Formula
ammonium	NH_4^+	iodate	IO_3^-
acetate	CH_3COO^- $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$	nitrate	NO_3^-
bromate	BrO_3^-	nitrite	NO_2^-
carbonate	CO_3^{2-}	oxalate	$\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$
chlorate	ClO_3^-	perchlorate	ClO_4^-
chlorite	ClO_2^-	periodate	IO_4^-
chromate	CrO_4^{2-}	permanganate	MnO_4^-
cyanide	CN^-	peroxide	O_2^{2-}
dichromate	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	phosphate	PO_4^{3-}
hydrogen carbonate bicarbonate	HCO_3^-	phosphite	PO_3^{3-}
hydrogen sulfate bisulfate	HSO_4^-	silicate	SiO_4^{4-}
hydrogen phosphate biphosphate	HPO_4^{2-}	sulfate	SO_4^{2-}
hydroxide	OH^-	sulfite	SO_3^{2-}
hypochlorite	ClO^-	thiocyanate	SCN^-
		thiosulfate	$\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$

Other Ions

copper (I)

copper (II)

iron (II)

iron (III)

lead (II)

lead (IV)

mercury (I)

mercury (II)

tin (II)

tin (IV)

cuprous

cupric

ferrous

ferric

plumbous

plumbic

mercurous

mercuric

stannous

stannic

Cu^+

Cu^{2+}

Fe^{2+}

Fe^{3+}

Pb^{2+}

Pb^{4+}

Hg_2^{2+}

Hg^{2+}

Sn^{2+}

Sn^{4+}

نمادها و نام‌های برخی از یون‌های چند اتمی رایج و یک مولکول

Symbols and Names of Some Common Polyatomic Ions and One Molecule

NH_4^+	ammonium ion	OH^-	hydroxide ion	CN^-	cyanide ion
SO_4^{2-}	sulfate ion	O_2^{2-}	peroxide ion	CNO^-	cyanate ion
HSO_4^-	hydrogen sulfate ion	$\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$	acetate ion	SCN^-	thiocyanate ion
SO_3^{2-}	sulfite ion	ClO_4^-	perchlorate ion	CO_3^{2-}	carbonate ion
NO_3^-	nitrate ion	ClO_3^-	chlorate ion	HCO_3^-	hydrogen carbonate
NO_2^-	nitrite ion	ClO_2^-	chlorite ion	$\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$	oxalate ion
PO_4^{3-}	phosphate ion	ClO^-	hypochlorite ion	$\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	thiosulfate ion
HPO_4^{2-}	hydrogen phosphate	CrO_4^{2-}	chromate ion	Hg_2^{2+}	mercury(I) ion
H_2PO_4^-	dihydrogen phosphate	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	dichromate ion	H_3O^+	hydronium ion
PO_3^{3-}	phosphite ion	MnO_4^-	permanganate ion	NH_3	ammonia

Formulas and Names for Some Common Acids (*all names should have acid added*)

H_2SO_4	sulfuric	H_3PO_4	phosphoric	HNO_3	nitric
$\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$	acetic	HCl	hydrochloric	HBr	hydrobromic
HClO_3	chloric	HClO_2	chlorous	HBrO_3	bromic

Table of Polyatomic Ions

There are a number of ions that are not individual atoms but are composed of multiple atoms that are covalently bonded together. However, this group of atoms is most stable when it has either lost or gained an electron and thus existed as a charged ion. These polyatomic ions are extremely common in chemistry and thus it is important to be able to both recognize and name them. While there are many such ions in the world, you are responsible for knowing the ions listed in the following tables.

Name	Formula
ammonium	NH_4^+
nitrite	NO_2^-
nitrate	NO_3^-
sulfite	SO_3^{2-}
sulfate	SO_4^{2-}
hydrogen sulfate (aka: bisulfate)	HSO_4^-
thiosulfate	$\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$
oxalate	$\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$
hydroxide	OH^-

Name	Formula
phosphite	PO_3^{3-}
phosphate	PO_4^{3-}
hydrogen phosphate	HPO_4^{2-}
dihydrogen phosphate	H_2PO_4^-
perchlorate	ClO_4^-
chlorate	ClO_3^-
chlorite	ClO_2^-
hypochlorite	ClO^-
bromate	BrO_3^-
iodate	IO_3^-

Name	Formula
acetate	CH_3COO^-
acetate	$\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$
carbonate	CO_3^{2-}
hydrogen carbonate (aka: bicarbonate)	HCO_3^-
chromate	CrO_4^{2-}
dichromate	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$
permanganate	MnO_4^-
peroxide	O_2^{2-}
cyanide	CN^-
cyanate	OCN^-
thiocyanate	SCN^-

Some Metallic Cations

Some Metallic Cations

IUPAC Name	older name	Formula
copper(I)	cuprous	Cu^+
copper(II)	cupric	Cu^{2+}
iron(II)	ferrous	Fe^{2+}
iron(III)	ferric	Fe^{3+}
lead(II)	plumbous	Pb^{2+}
lead(IV)	plumbic	Pb^{4+}
mercury(I)	mercurous	Hg_2^{2+}
mercury(II)	mercuric	Hg^{2+}
tin(II)	stannous	Sn^{2+}
tin(IV)	stannic	Sn^{4+}

<https://iupac.org/>



Transforming Education

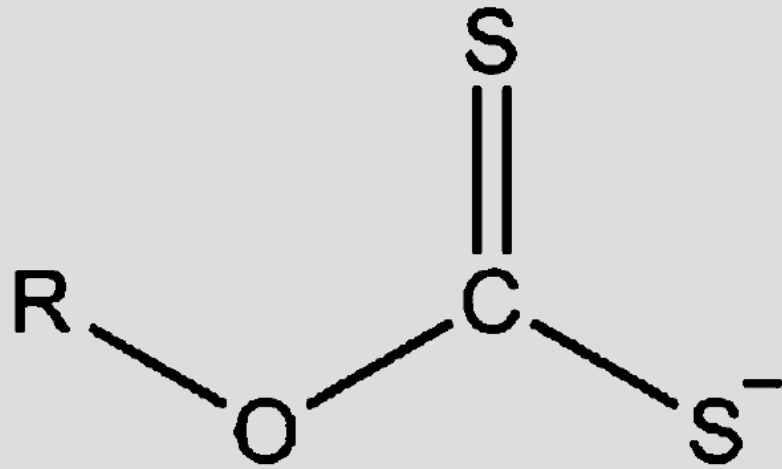
CONNECT CHEMISTRY TO SUSTAINABILITY

That's one major goal of the IUPAC Project on Systems Thinking in Chemistry for Sustainability: Toward 2030 and Beyond (STCS2030+). Among other outcomes the IUPAC project will help to feature the role of chemistry and chemistry education in meeting goals of the International Year of Basic Sciences for Sustainable

International Union of Pure and Applied Chemistry

اتحادیه بین‌المللی شیمی محض و کاربردی

Alkyl Xanthate



R Value

C2–C8

Application

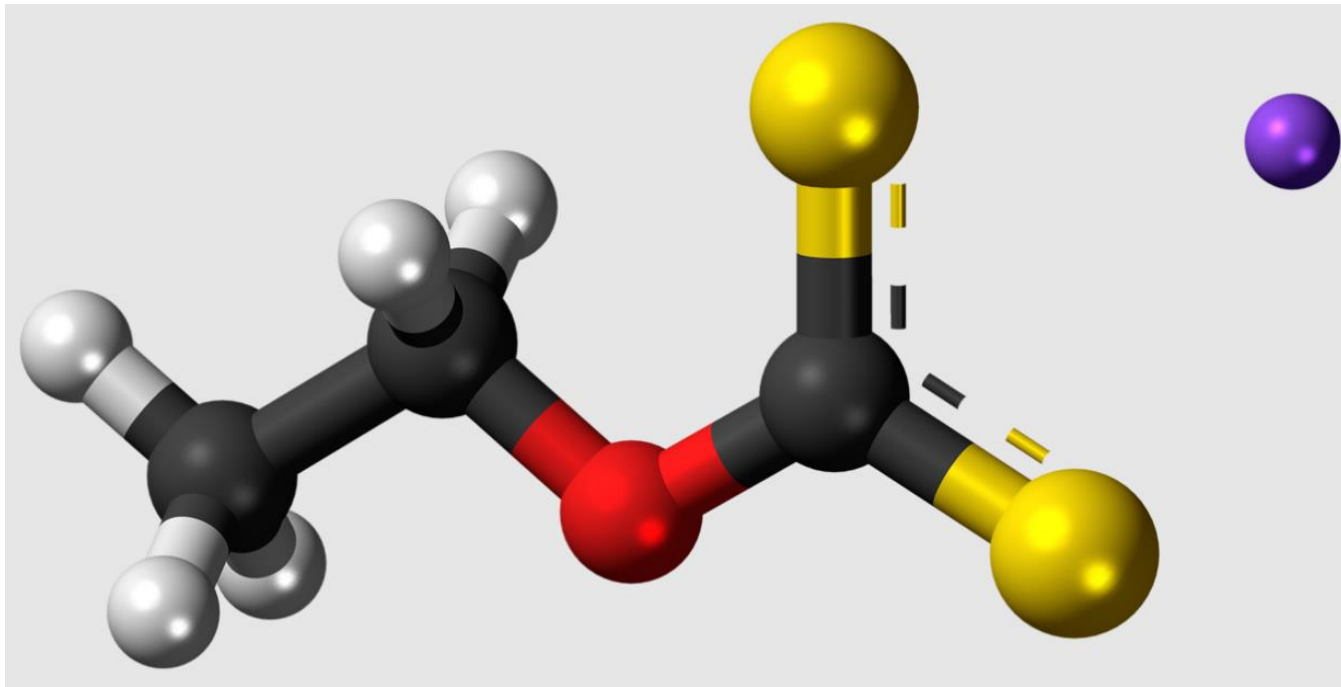
Mostly for Cu, Zn, Cu–Mo, Au, PGM, Ni, and oxidized minerals

The platinum group metals (**PGMs**) comprise 6 elements, which are **platinum**, **palladium**, **rhodium**, **ruthenium**, **iridium**, and **osmium**.

گزنات (Xanthate)

Xanthates are a group of chemicals typically used in **sulphide flotation in mining applications**.

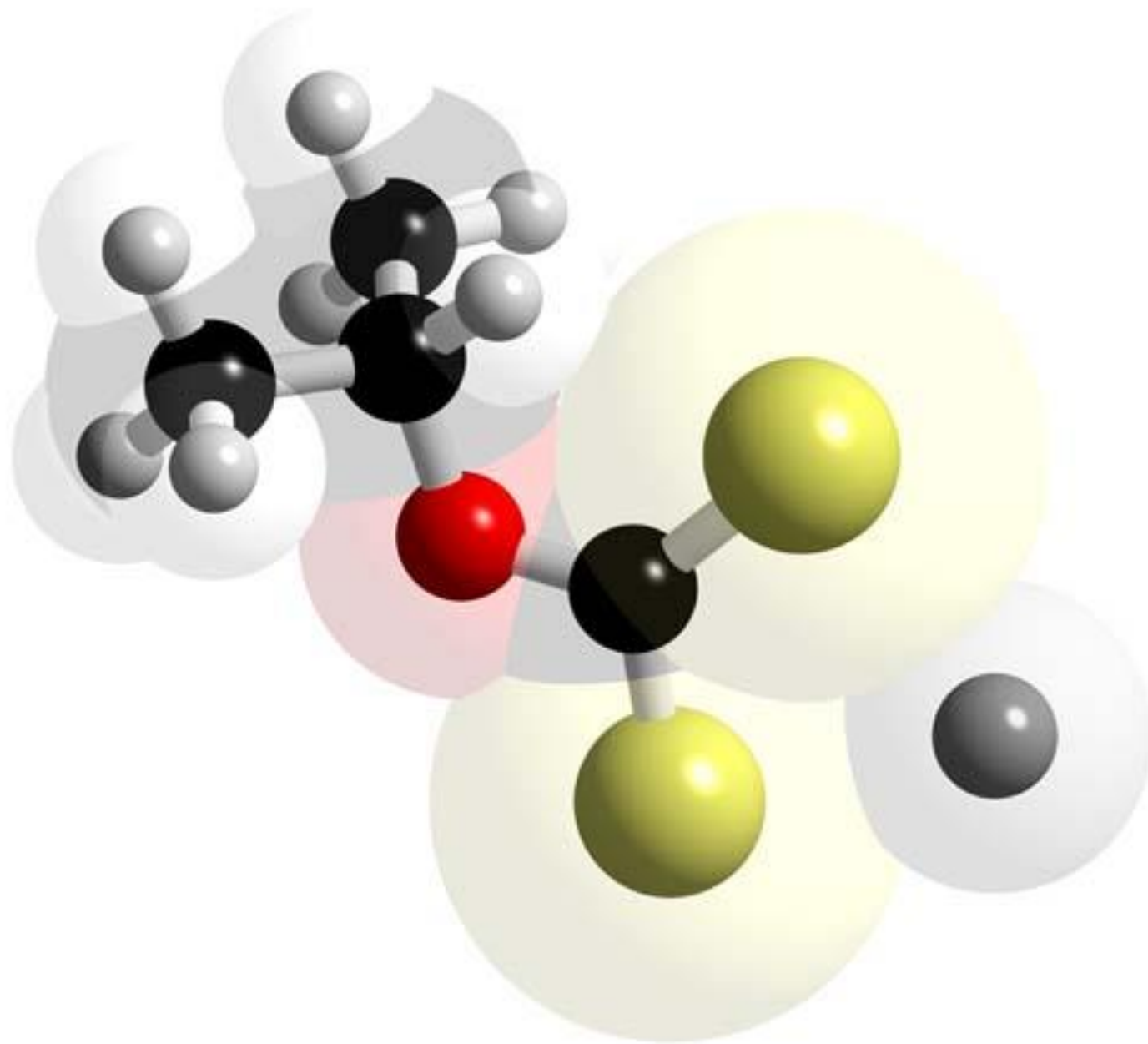
Common xanthate products are sodium ethyl xanthate (SEX), sodium isopropyl xanthate (SIPX), sodium isobutyl xanthate (SIBX) and potassium amyl xanthate (PAX).



sodium ethyl xanthate molecule, also known as **SEX**.

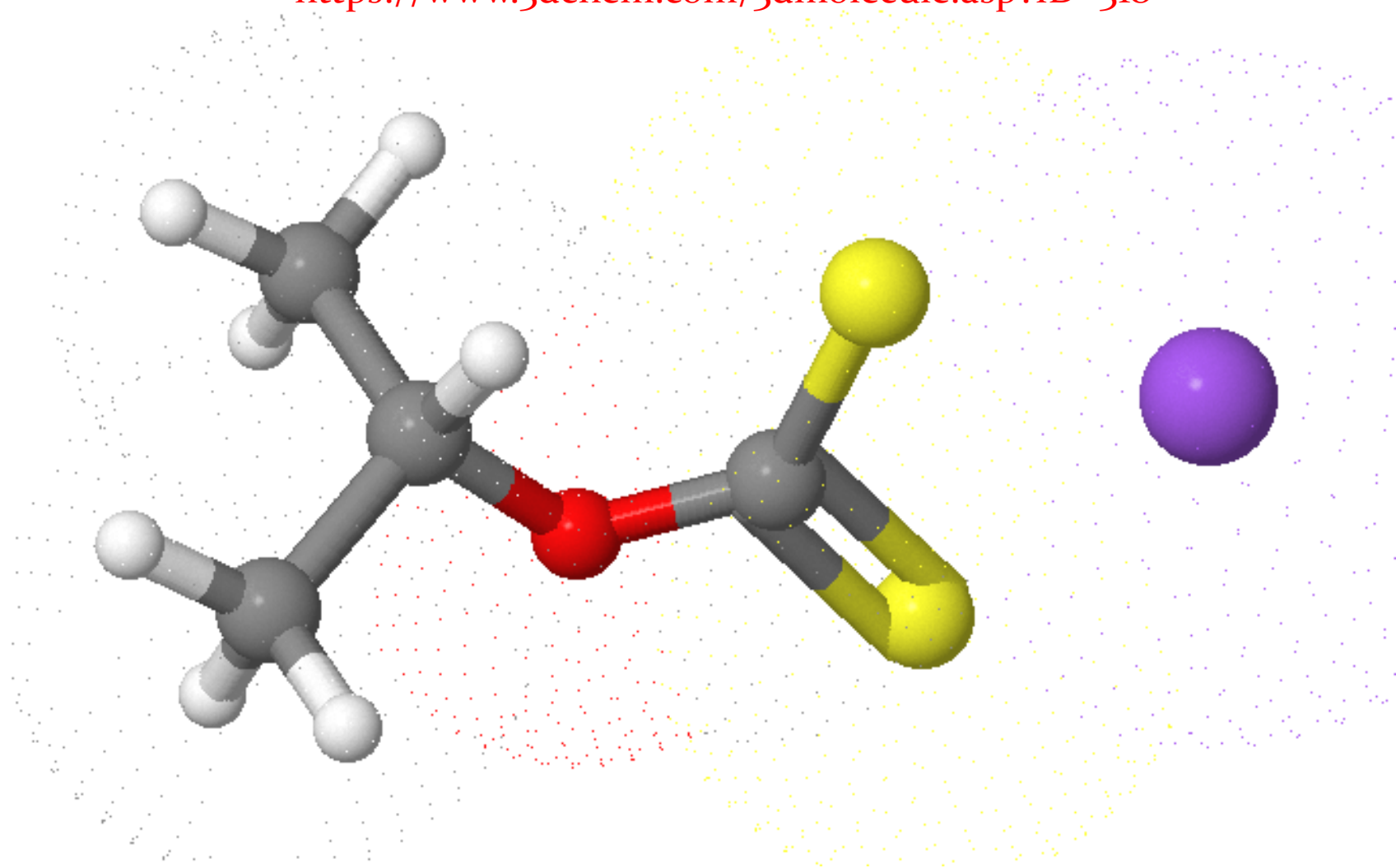
Carbon, C: black Hydrogen, H: white Oxygen, O: red Sodium, Na: lilac Sulfur, S: yellow

Sodium isopropyl xanthate (SIPX)

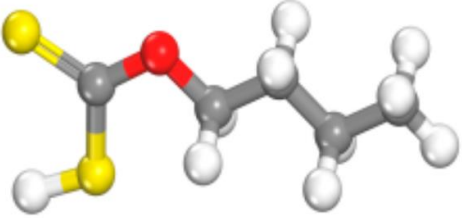
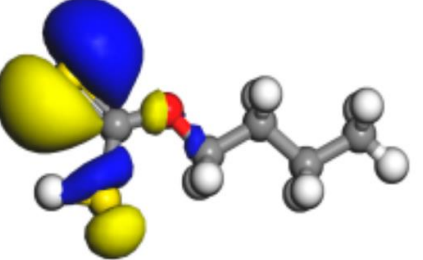
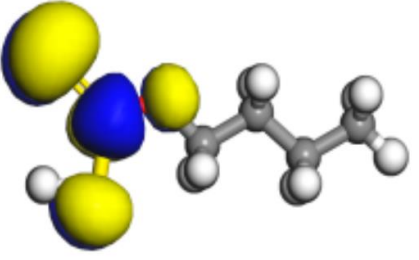
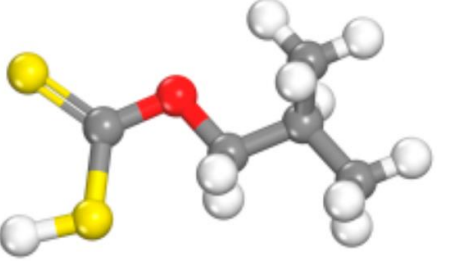
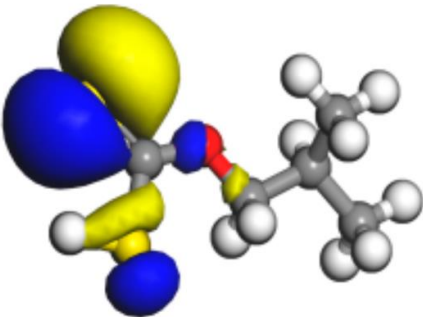
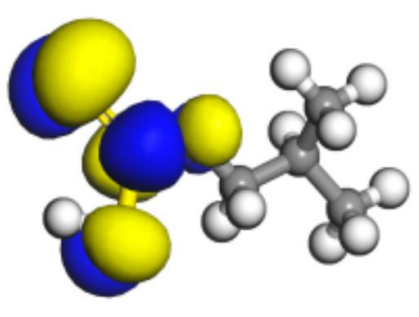


Sodium isopropyl xanthate (SIPX)

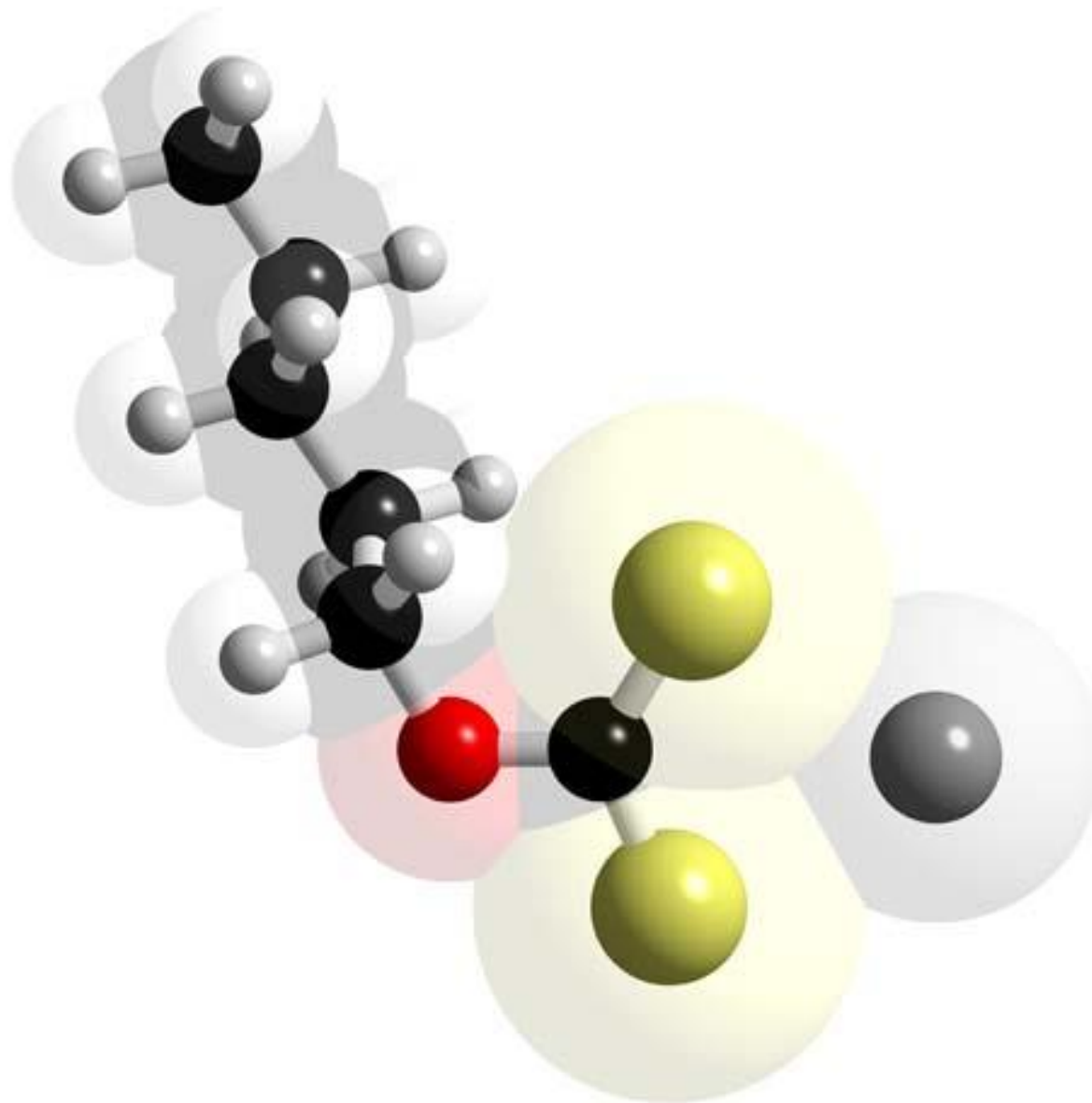
<https://www.3dchem.com/3dmolecule.asp?ID=318>



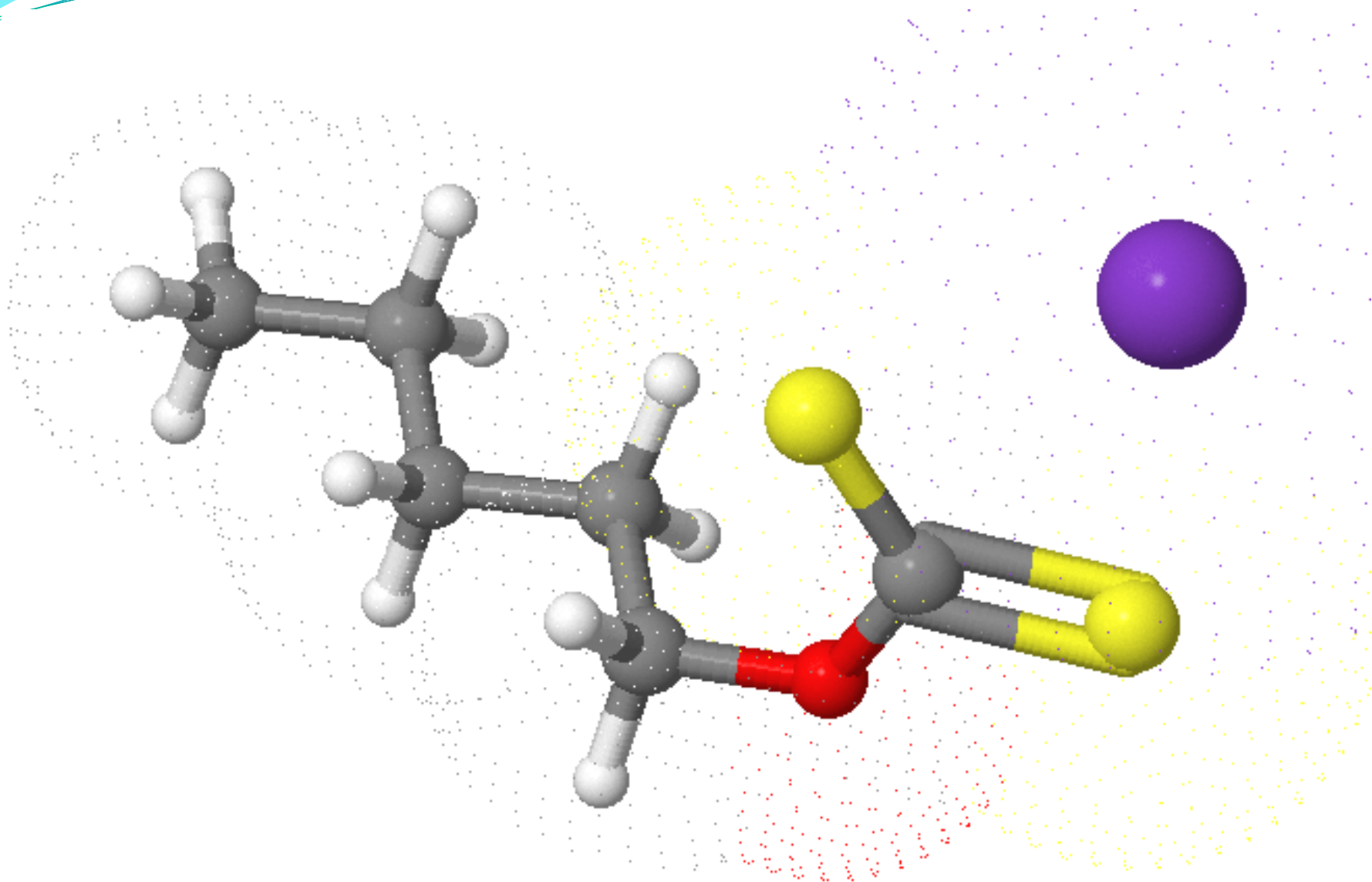
sodium isobutyl xanthate (SIBX)

Xanthate	Geometric structures	HOMO	LUMO
Butyl xanthate	 Ball-and-stick model of Butyl xanthate, showing the xanthate group (CS₂O) bonded to a butyl chain (C₄H₉).	 Visualization of the Highest Occupied Molecular Orbital (HOMO) for Butyl xanthate, showing electron density distribution.	 Visualization of the Lowest Unoccupied Molecular Orbital (LUMO) for Butyl xanthate, showing electron density distribution.
Isobutyl xanthate	 Ball-and-stick model of Isobutyl xanthate, showing the xanthate group (CS₂O) bonded to an isobutyl chain (C₄H₉).	 Visualization of the Highest Occupied Molecular Orbital (HOMO) for Isobutyl xanthate, showing electron density distribution.	 Visualization of the Lowest Unoccupied Molecular Orbital (LUMO) for Isobutyl xanthate, showing electron density distribution.

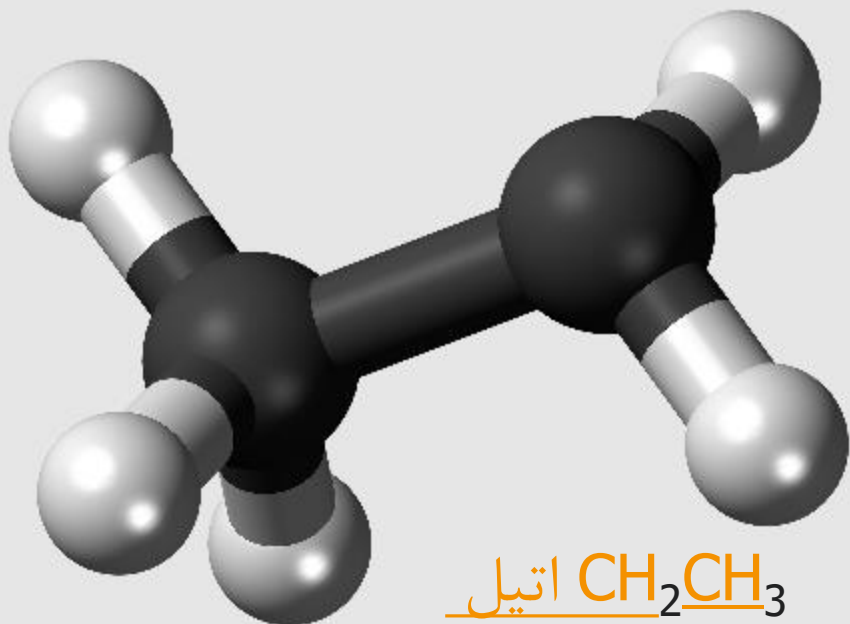
potassium amyl xanthate (PAX)



potassium amyl xanthate (PAX)



Ethyl, Butyl, Propyl, Amyl, Isobutyl, Isopropyl

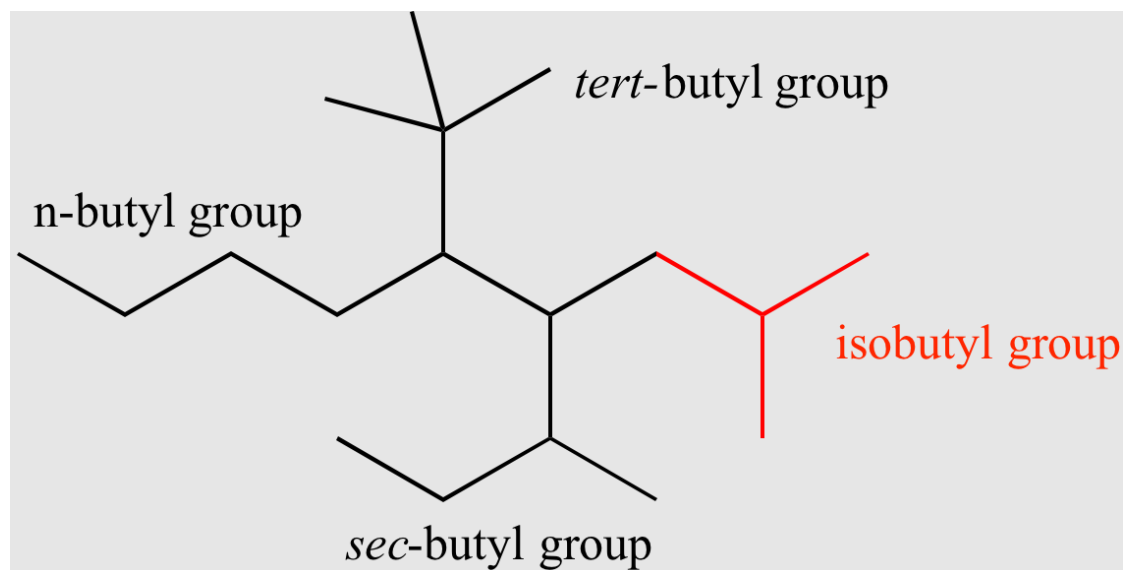


The key difference between tert butyl and isobutyl is that **the tert butyl group contains a double branched carbon chain** whereas the isobutyl contains a single branched carbon chain.

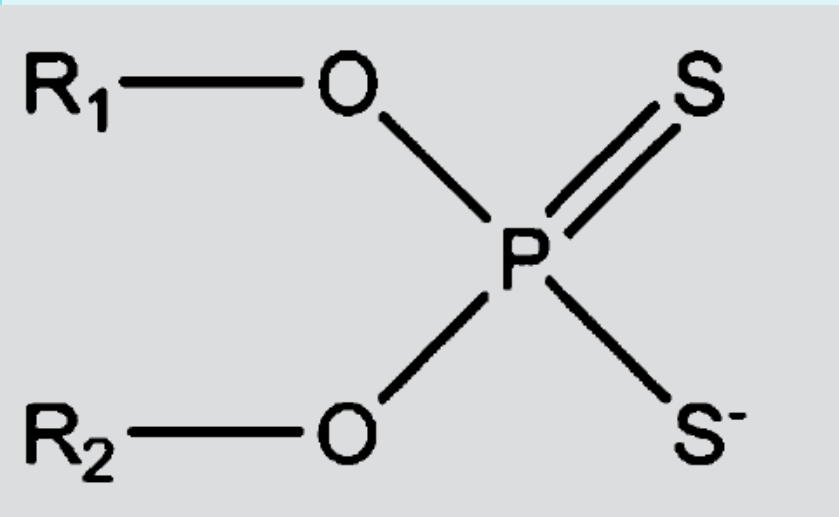
پروپیل $-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$

بوتیل $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$

آمیل $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$



Dialkyl Dithiophosphate



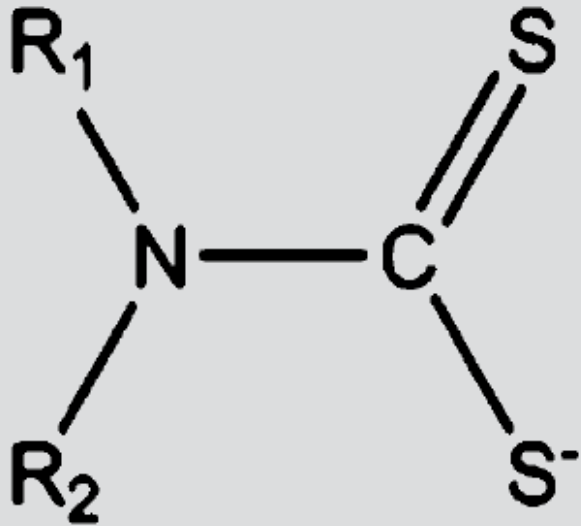
R Value

C2—C6

Application

Widely used with xanthates for PGM, Fe, Cu, Pb, Cu—Mo, Cu, Au, and complex sulfides

Dialkyl Dithiocarbamate



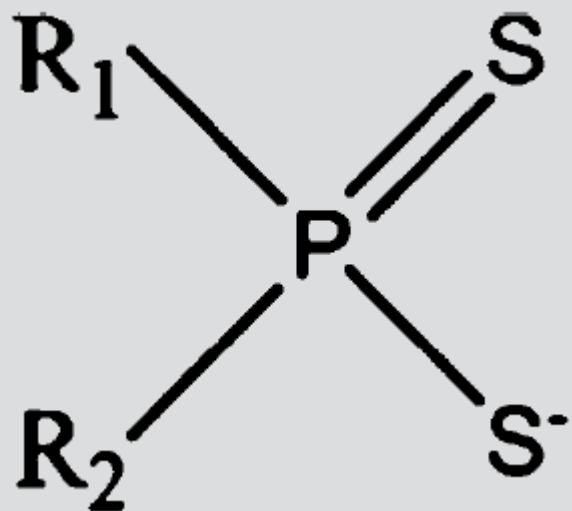
R Value

C2–C6

Application

PGM ores, Cu, Pb

Dialkyl Dithiophosphinate



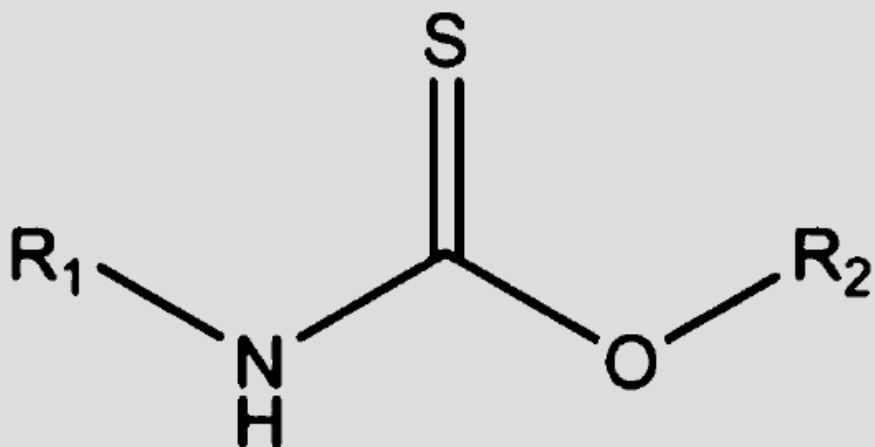
R Value

C2–C4

Application

Widely used, especially for complex sulfides, e.g., Pd complexes with S and Se

Dialkyl Thionocarbamate



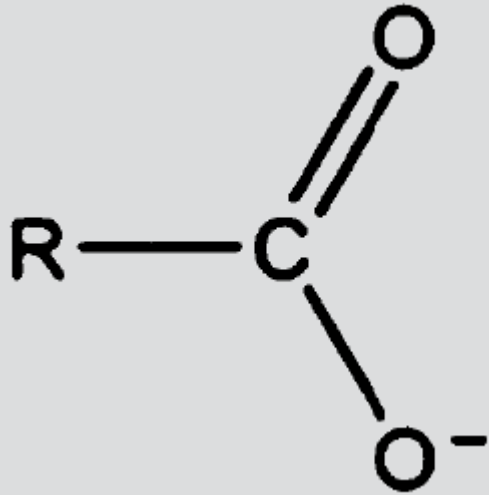
R Value

C2–C4

Application

Widely used for Cu, Cu–Mo

اسیدهای چرب و نمک‌های آنها
Fatty acids and their salts



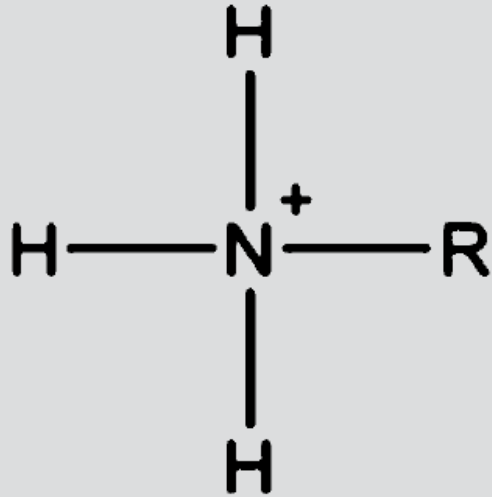
R Value

C8—C22

Application

Widely used for P, ZnO, CuO, Ni, Nb, Ti,
Cu—Co, Sn, W

Primary amines



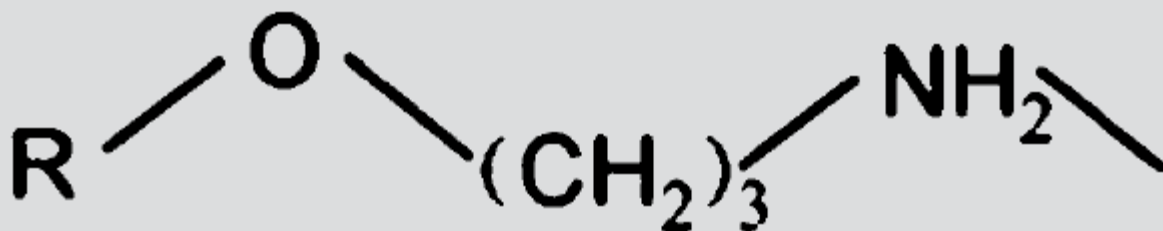
R Value

C12–24

Application

Widely used, e.g., quartz, ZnO, Ti, Sn

Amine ether



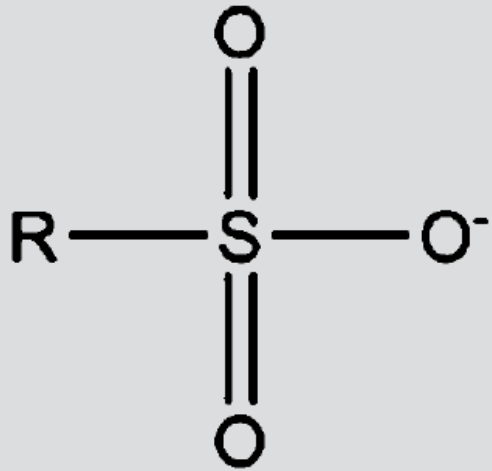
R Value

C6–C13

Application

Quartz, Al silicates

سولفونات های نفتی
Petroleum sulfonates



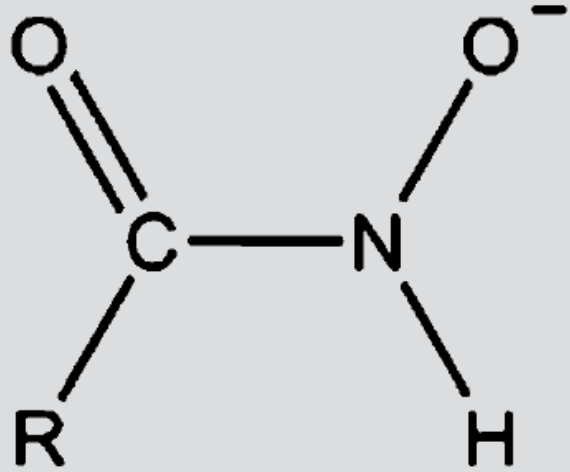
R Value

C14–C17

Application

Widely used, e.g., Ti, W, Fe

Hydroxamates



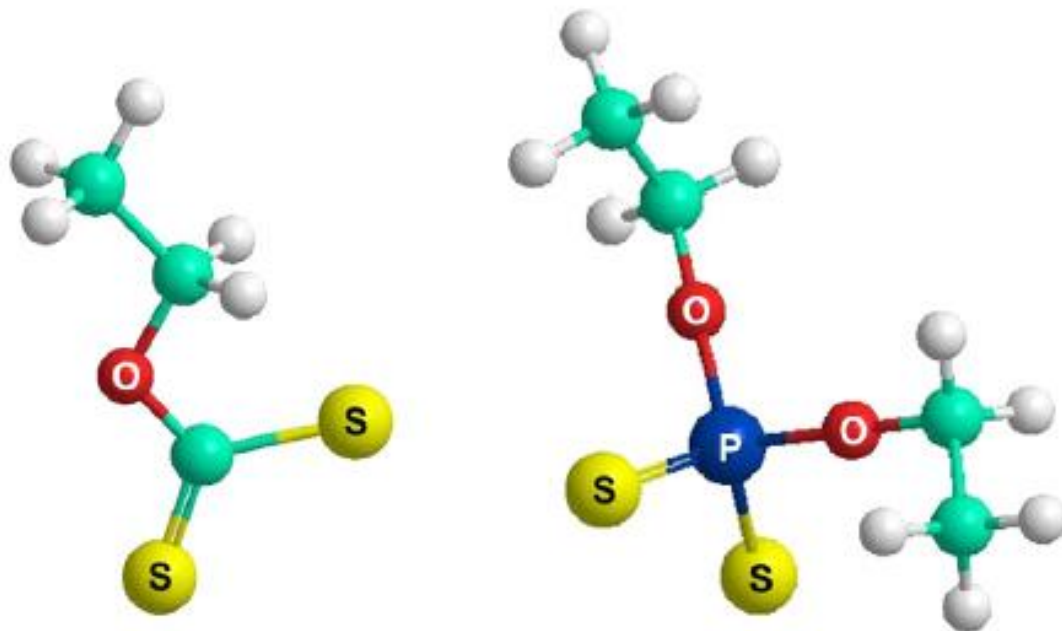
R Value

C5–C14

Application

Rare earths; Sn, W, Mn,
Al silicates, quartz

ساختار (الف) اتیل گزنتات و (ب) دی اتیل دی تیوفسفات



Ethyl xanthate



Diethyl dithiophosphate



FIGURE 12.7 Structure of (a) ethyl xanthate, and (b) diethyl dithiophosphate.

نمونه انواع کلکتور و دوز بر اساس تن فلزی از روش معمول کانادایی

TABLE 12.3 Example Collector Types and Dosage Based on Metal Tons from Canadian Practice
(Damjanović and Goode, 2000)

Operation	Metals	Collector	Dosage (kg t ⁻¹ metal)
Strathcona Mill	Ni—Cu	PIBX	2.8 (Ni + Cu)
Clarabelle Mill	Ni—Cu	SAX	2.1 (Ni + Cu)
Thomson	Ni—Cu	SAX	1.3 (Ni + Cu)
Louvicourt Mine	Cu—Zn—Au—Ag	Aerophine 3418A	1.6 (Cu)
		PAX 51	0.5 (Cu)
		Flex 41	0.5 (Zn)
Les Mine Selbaie	Cu—Zn—Au—Ag	SIPX	1.1 (Cu)
		SP129	0.6 (Zn)
Myra Falls	Cu—Zn—Au—Ag	PAX: Aerofloat 208	0.7 (Cu + Zn)
		(73:27 blend added to both circuits)	1.5 (Cu + Zn)
Mine Bouchard-Hebert	Cu—Zn—Au—Ag	3418A (to Cu circuit)	3.5 (Cu)
		3148A (to Zn circuit)	0.7 (Zn)
		Aerofloat 208	2.1 (Cu)
Mine Langlois	Cu—Zn—Au—Ag	208 (to Cu circuit)	3.3 (Cu)
		3418 (to Cu circuit)	5.4 (Cu)
		3418 (to Zn circuit)	0.6 (Zn)
Matagami Mine	Cu—Zn—Au—Ag	Aero 3477 (to Cu circuit)	4.6 (Cu)
		Aero 3418A (to Cu circuit)	0.4 (Cu)
		Aero 3418A (to Zn circuit)	0.5 (Zn)
Brunswick Mine	Pb—Zn—Cu (Ag)	80:20 SIPX:PAX	1.8 (Pb + Zn + Cu)
		Aero 241	0.1 (Pb + Cu)
		Aerophine 5100	0.1 (Cu)
Heath Steele	Pb—Zn—Cu (Ag)	SIPX	1.0 (Pb + Zn + Cu)
		Aero 241	0.3 (Pb + Zn + Cu)
		Aerophine 5100	0.2 (Pb + Zn + Cu)

Key (family type for trade name reagents): PIBX, potassium isobutyl xanthate; SAX, sodium amyl xanthate; SP129, blend of dithiophosphate and mercaptobenzothiazole plus diamine modifier; Aerophine 3418A, dithiophosphinate; PAX, potassium amyl xanthate; Flex 41, xanthate; SIBX, sodium isobutyl xanthate; Aerofloat 208, dithiophosphate; Aero 3477, dithiophosphate; Aero 241, dithiophosphate; Aerophine 5100, allyl isobutyl thionocarbamate.

□ واکنش (جذب) اسید چرب با فلوریت (CaF_2)

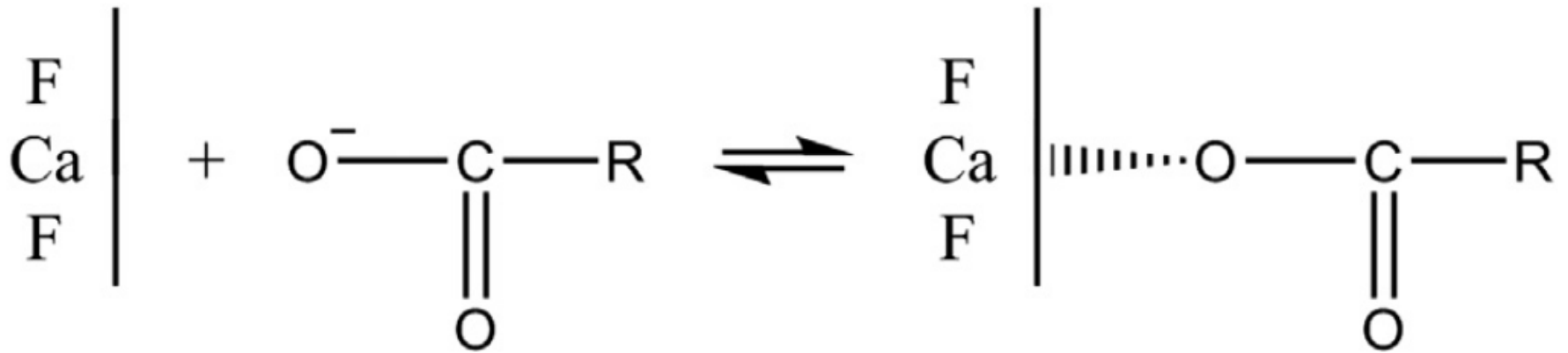


FIGURE 12.8 Reaction (adsorption) of fatty acid with fluorite (CaF_2).

فلوتاسيون

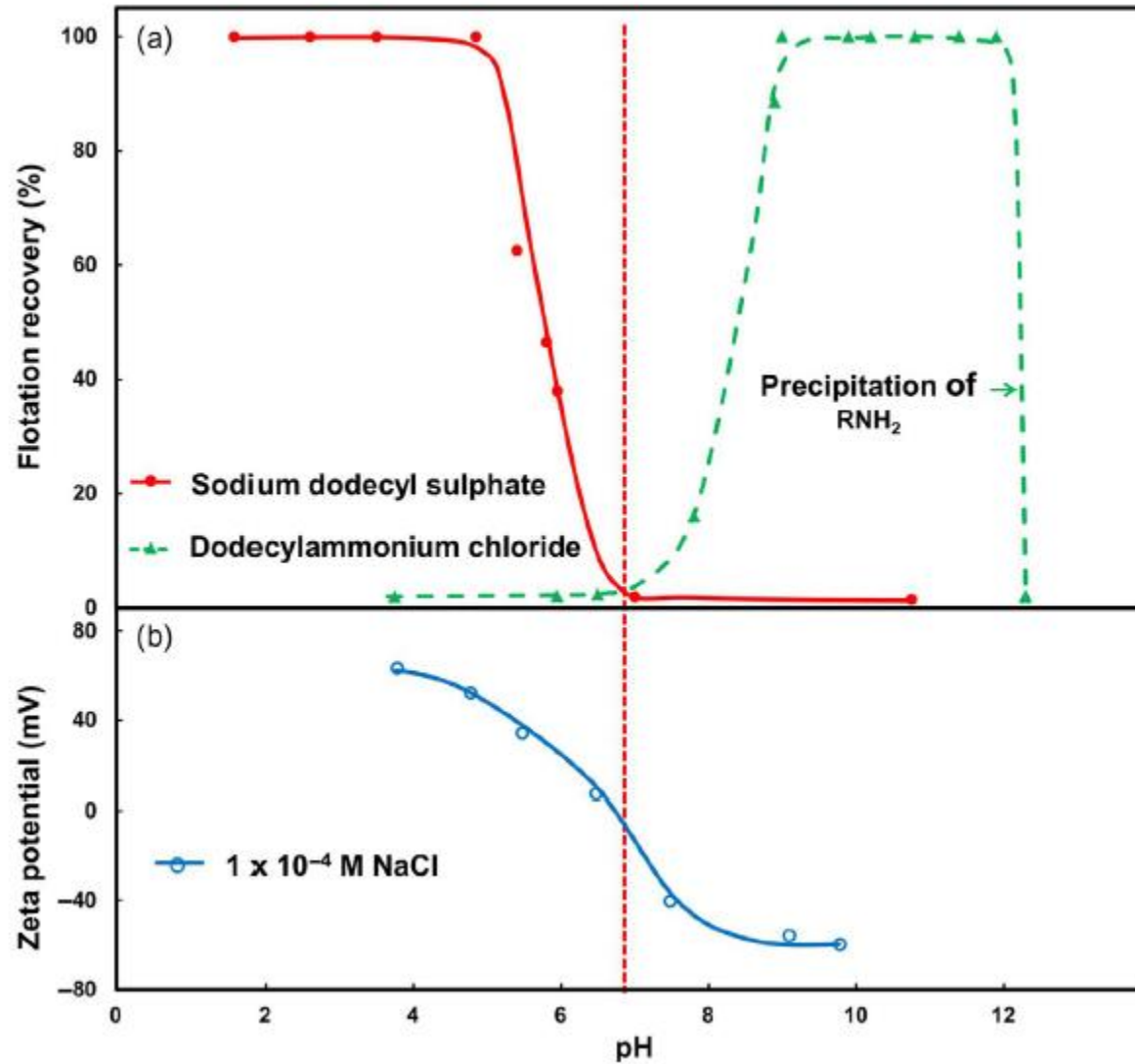


FIGURE 12.9 (a) Flotation response of goethite ($FeOOH$) to two collectors, anionic sulfate and cationic amine, as a function of pH (Note: the rapid decrease in flotation with amine at ca. 12 is discussed in [Section 12.7](#)), and (b) surface charge of goethite (reported as zeta potential) as function of pH (Note: reference to 10^{-4} M NaCl is as background electrolyte is to keep a constant ionic strength which would otherwise alter zeta potential) (Adapted from Iwasaki *et al.* (1960)).

❑ FIGURE 12.9 (a) Flotation response of goethite (FeOOH) to two collectors, anionic sulfate and cationic amine, as a function of pH (Note: the rapid decrease in flotation with amine at ca. 12 is discussed in Section 12.7), and (b) surface charge of goethite (reported as zeta potential) as function of pH (Note: reference to 10^{-4} M NaCl is as background electrolyte is to keep a constant ionic strength which would otherwise alter zeta potential).

❑ شکل ۹-۱۲ (الف) پاسخ فلوتاسیون گوتیت (FeOOH) به دو کلکتور، سولفات آنیونی و آمین کاتیونی، به عنوان تابعی از pH (توجه: کاهش سریع فلوتاسیون با آمین در حدود ۱۲ در بخش ۱۲.۷ مورد بحث قرار گرفته است) و (ب) بار سطحی گوتیت (گزارش شده به عنوان پتانسیل زتا) به عنوان تابعی از pH (توجه: ارجاع به 10^{-4} M NaCl مولار به عنوان الکترولیت پس زمینه برای حفظ قدرت یونی ثابت است که در غیر این صورت پتانسیل زتا را تغییر می‌دهد).

□ منشا بار روی گوتیت: (الف) نشان دادن محل‌های O و Fe هیدراته، (ب) واکنش در pH پایین با H^+ و در pH بالا با OH^- ، و (ج) محل‌های سطح باردار مثبت و منفی حاصله.

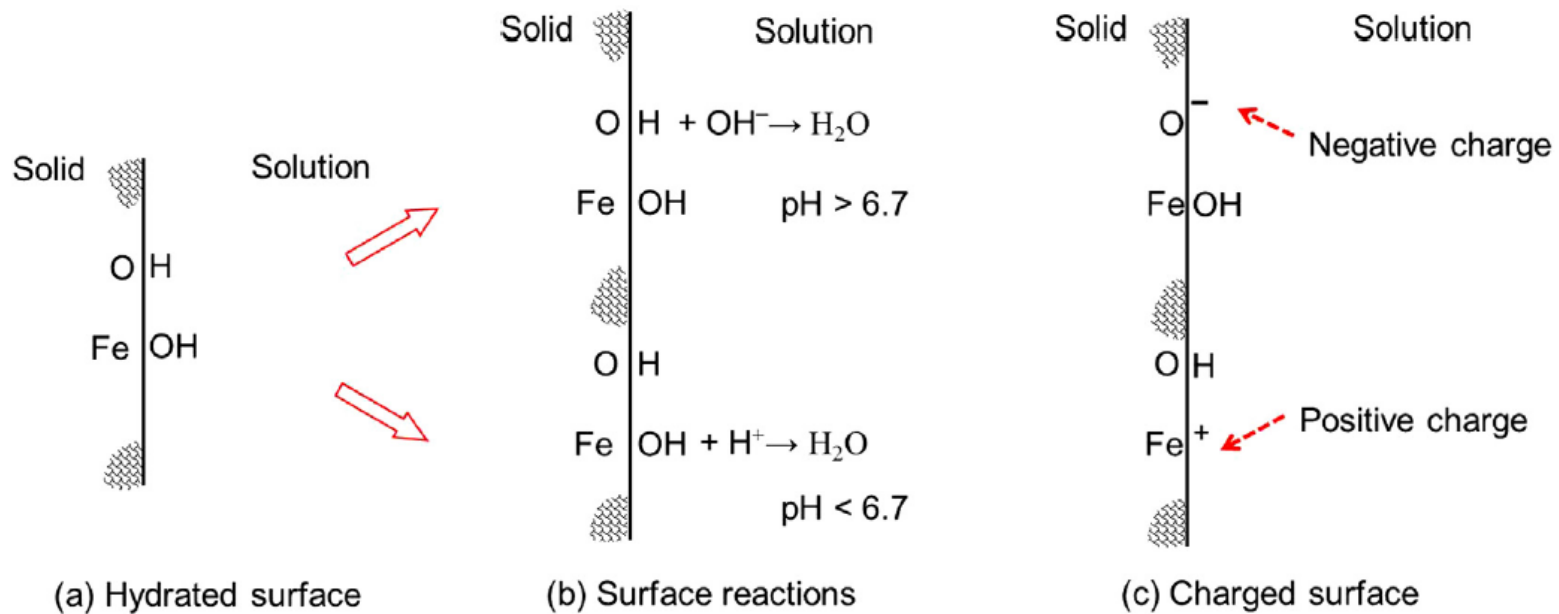


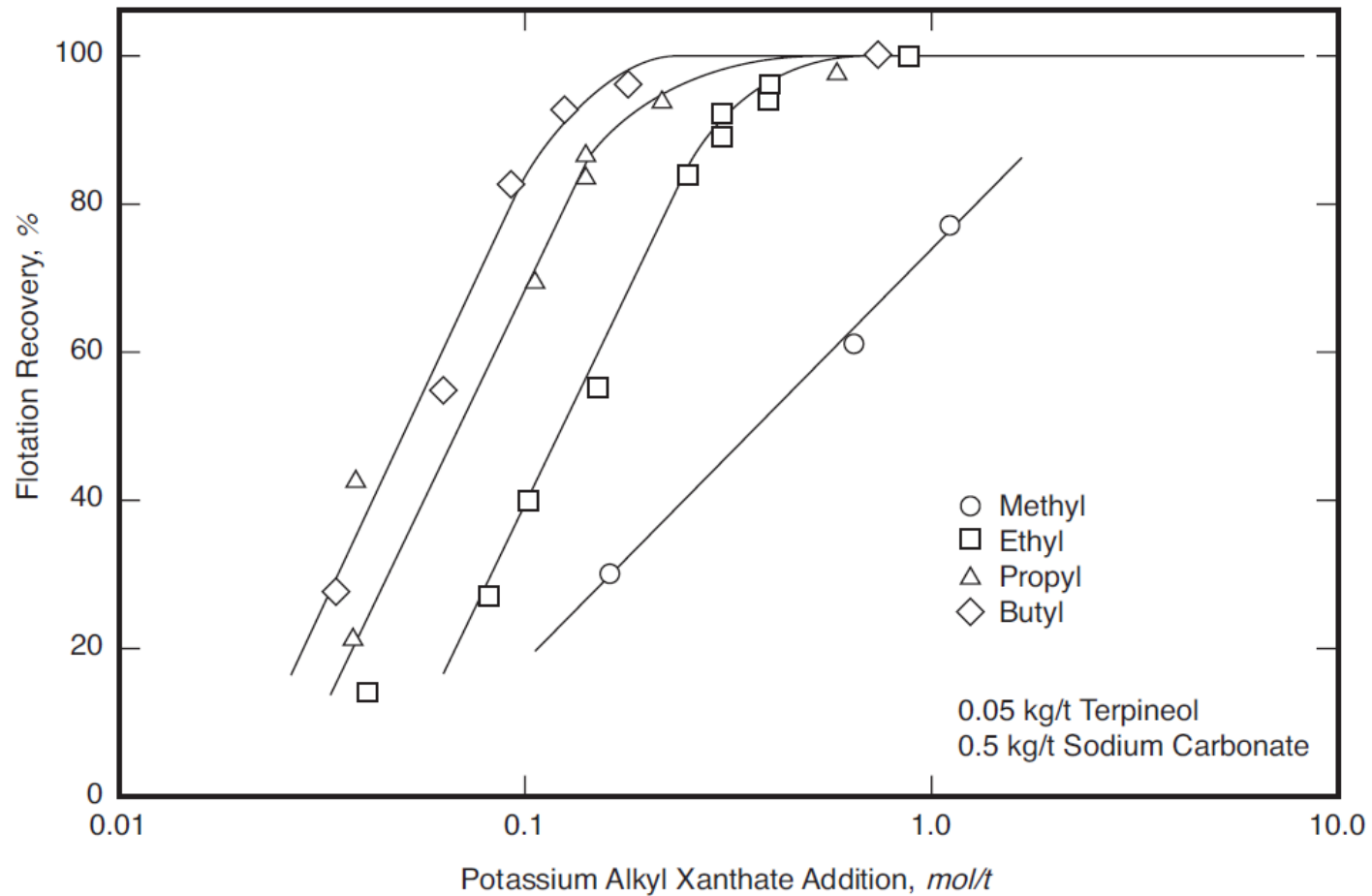
FIGURE 12.10 Origin of charge on goethite: (a) depiction of hydrated Fe and O sites, (b) reaction at low pH with H^+ and at high pH with OH^- , and (c) the resulting positive and negative charged surface sites.

TABLE 3 Reagents used for flotation in the United States (in metric tons)

	Reagent Amount		
	1925	1926	1980
Ore Treated	41,259,000	41,616,000	440,361,000
Frothers	2,195	2,935	12,489
Collectors			
Oils	8,818	2,665	115,218
Chemicals	1,875	1,896	108,883
Modifiers			
Acids	18,157	2,061	35,169
Alkalis	1,695	75,701	413,055
Other	NA*	NA	28,735
Activators	3,210	4,962	3,925
Depressants	754	1,104	33,389
Flocculants	NA	NA	18,069

*NA = Not available.

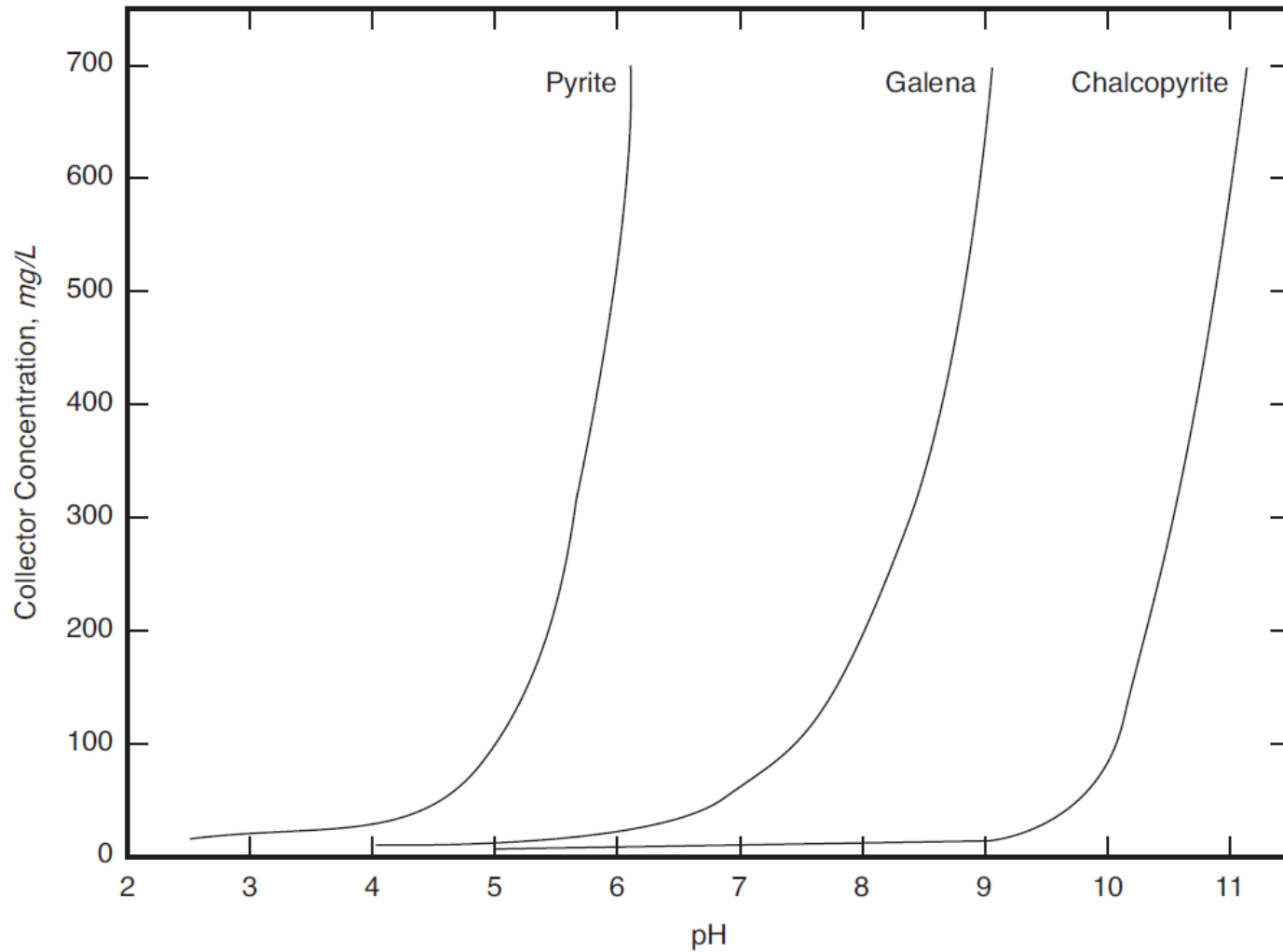
فلوتاسيون



Adapted from Gaudin et al. 1928.

FIGURE 3 Flotation of 100 × 600 mesh galena with alkyl xanthates of different alkyl chain lengths with reagent additions expressed in mol/t (mol wt of KEX is 160)

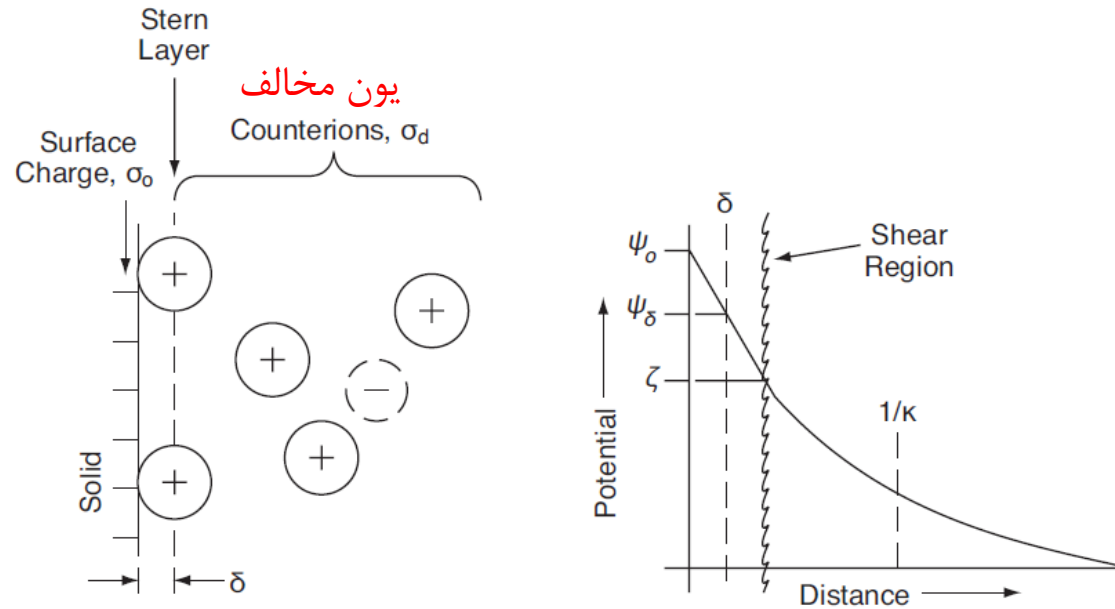
فلوتاسيون



Adapted from Wark and Cox 1934.

FIGURE 6 Critical pH curves for the flotation of pyrite, galena, and chalcopyrite with sodium diethyl dithiophosphate as collector

فلوتاسيون



NOTE: Shown are the surface potential, the Stern layer potential, the zeta potential at the slipping or shear plane, and the potential decrease to zero-out into the bulk solution. The distance $1/\kappa$ is the center of gravity of the diffuse layer of counterions.

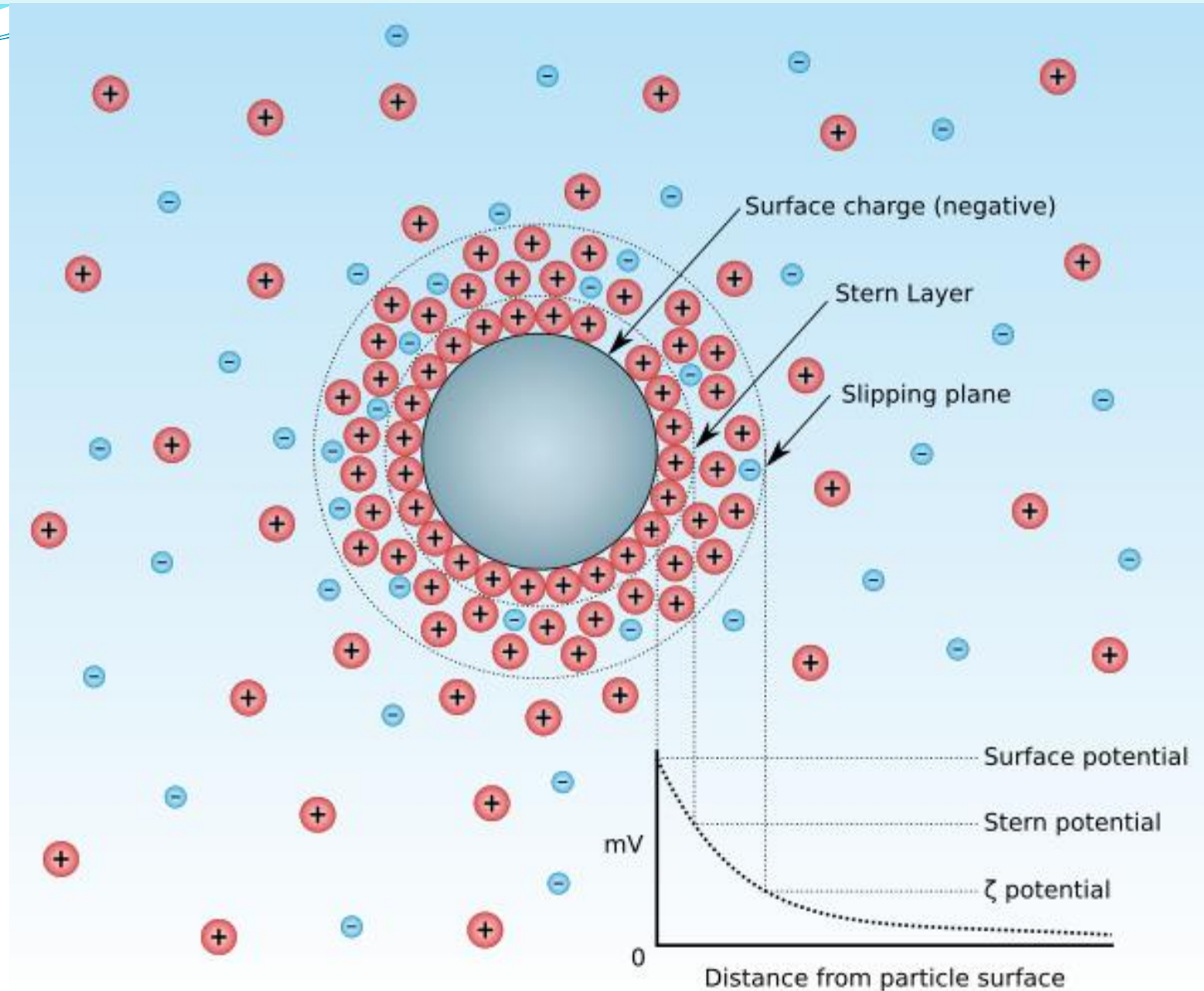
FIGURE 12 Simple schematic of the electrical double layer showing the surface charge on the solid and the counterions adsorbed in the diffuse layer, with their closest distance of approach being the Stern plane

Zeta (ζ) potential

- ❑ **Zeta potential** is the electrical potential at the slipping plane. This plane is the interface which separates mobile fluid from fluid that remains attached to the surface.
- ❑ In the colloidal chemistry literature, it is usually denoted using the Greek letter zeta (ζ), hence **ζ -potential**.
- ❑ The usual units are volts (V) or, more commonly, millivolts (mV).
- ❑ From a theoretical viewpoint, the zeta potential is the electric potential in the interfacial double layer (DL) at the location of the slipping plane relative to a point in the bulk fluid away from the interface.
- ❑ In other words, zeta potential is the potential difference between the dispersion medium and the stationary layer of fluid attached to the dispersed particle.

- ❑ پتانسیل زتا پتانسیل الکتریکی در صفحه لغزش است. این صفحه فصل مشترکی است که سیال متحرک را از سیال متصل به سطح جدا می کند.
- ❑ در ادبیات شیمی کلوئیدی، معمولاً با حرف یونانی زتا (ζ) نشان داده می شود، از این رو پتانسیل ζ است.
- ❑ واحدهای معمول ولت (V) یا معمولاً میلی ولت (mV) هستند.
- ❑ از دیدگاه نظری، پتانسیل زتا پتانسیل الکتریکی در لایه دوگانه سطحی (DL) در محل صفحه لغزش نسبت به نقطه ای در سیال توده دور از فصل مشترک است.
- ❑ به عبارت دیگر، پتانسیل زتا، اختلاف پتانسیل بین محیط پراکندگی و لایه ثابت سیال متصل به ذره پراکنده است.

Zeta (ζ) potential

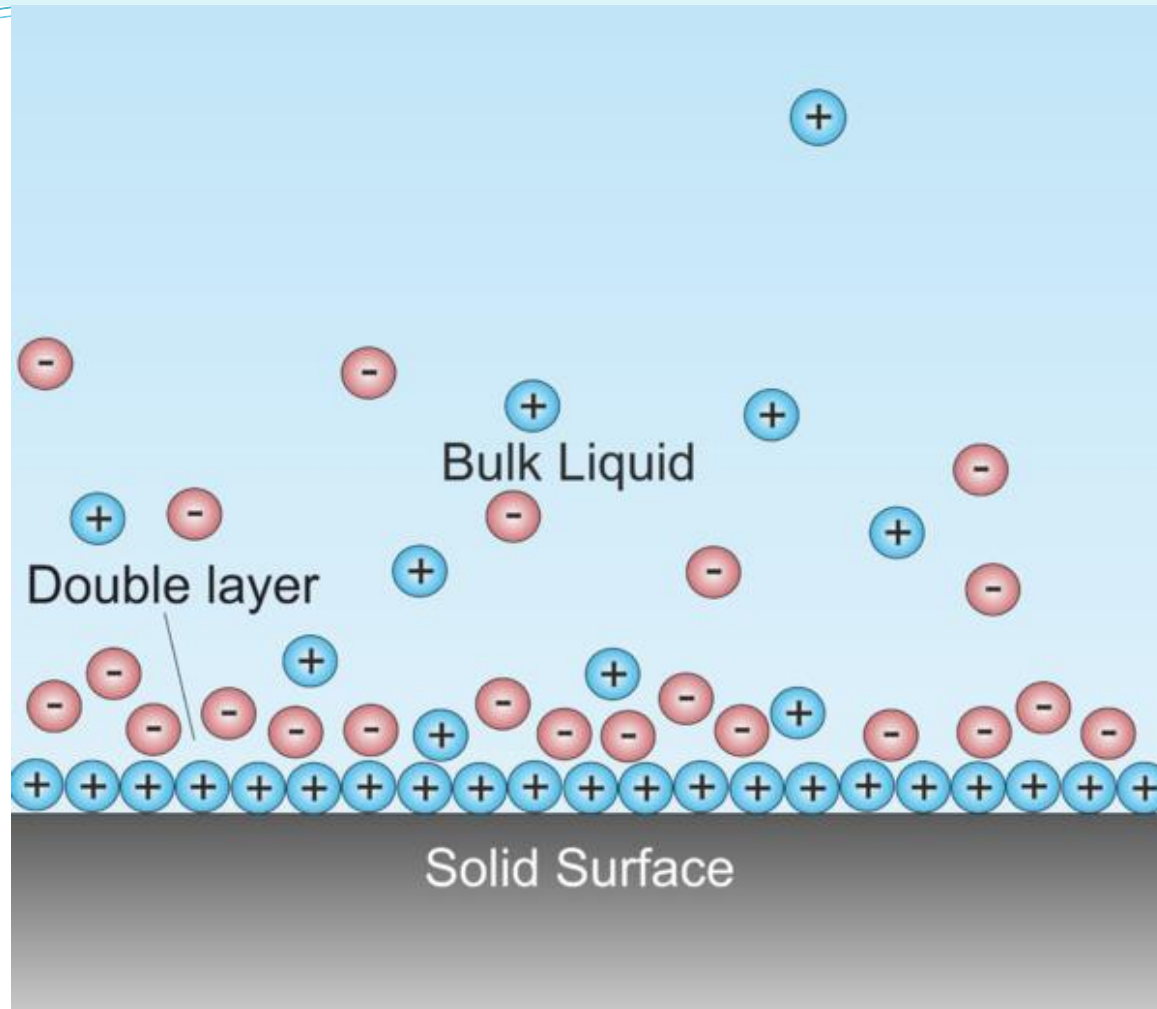


Double layer

- ❑ A **double layer (DL)**, also called an **electrical double layer, EDL** is a structure that appears on the surface of an object when it is exposed to a fluid.
- ❑ The object might be a solid particle, a gas bubble, a liquid droplet, or a porous body. The DL refers to two parallel layers of charge surrounding the object.
- ❑ The first layer, the surface charge (either positive or negative), consists of ions adsorbed onto the object due to chemical interactions.
- ❑ The second layer is composed of ions attracted to the surface charge via the Coulomb force, electrically screening the first layer.
- ❑ This second layer is loosely associated with the object. It is made of free ions that move in the fluid under the influence of electric attraction and thermal motion rather than being firmly anchored. It is thus called the "diffuse layer".

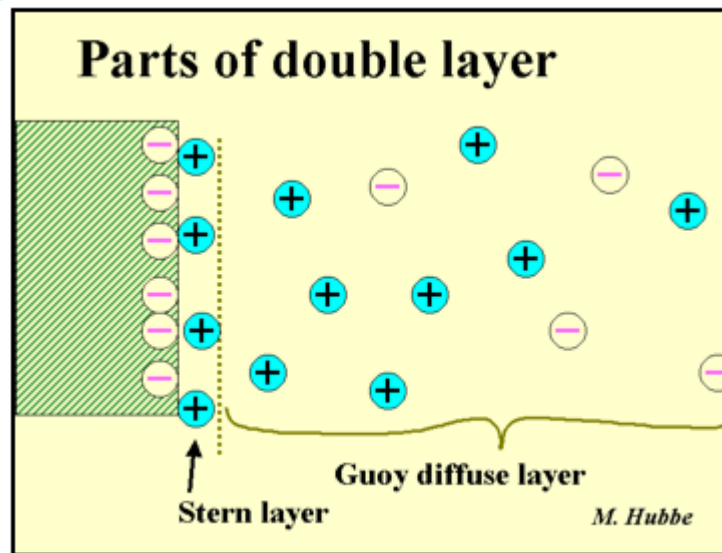
- ❑ لایه دوتایی (DL)، که لایه‌ای دوگانه الکتریکی نیز نامیده می‌شود) ساختاری است که وقتی جسم در معرض سیال قرار می‌گیرد، روی سطح ظاهر می‌شود.
- ❑ این جسم ممکن است یک ذره جامد، یک حباب گاز، یک قطره مایع یا یک جسم متخلخل باشد. DL به دو لایه بار موازی در اطراف جسم اشاره دارد.
- ❑ اولین لایه، بار سطحی (اعم از مثبت یا منفی)، متشکل از یون‌هایی است که به دلیل اندرکنش‌های شیمیایی روی جسم جذب می‌شوند.
- ❑ لایه دوم از یون‌هایی تشکیل شده است که از طریق نیروی کولن به بار سطحی جذب می‌شوند و لایه اول را به صورت الکتریکی غربال می‌کنند.
- ❑ این لایه دوم به طور ضعیفی با جسم مرتبط است. آن از یون‌های آزاد ساخته شده است که تحت تأثیر جاذبه الکتریکی و حرکت حرارتی در سیال حرکت می‌کنند نه اینکه محکم لنگر بزنند. بنابراین به آن «لایه پراکنده» می‌گویند.

Double layer



Schematic of the electrical double layer (EDL) in [aqueous solution](#) at the interface with a negatively-charged surface of a mineral solid. Blue + sphere: cations; red – spheres: anions. The number of cations is larger in the EDL close to the negatively-charged surface in order to neutralize these negative charges and to maintain electroneutrality. The drawing does not explicitly show the negative charges of the surface.

Stern layer



- ❑ The Stern Layer is the first (internal) layer of the electric double layer, which forms at a charged surface in an ionic solution.
- ❑ The Stern Layer is immobile relative to the surface and is comprised of a layer of ions charged oppositely to the surface which attach to the surface.
- ❑ The potential difference between the out boundary of the Stern layer and the bulk solution is referred to as the Stern potential.

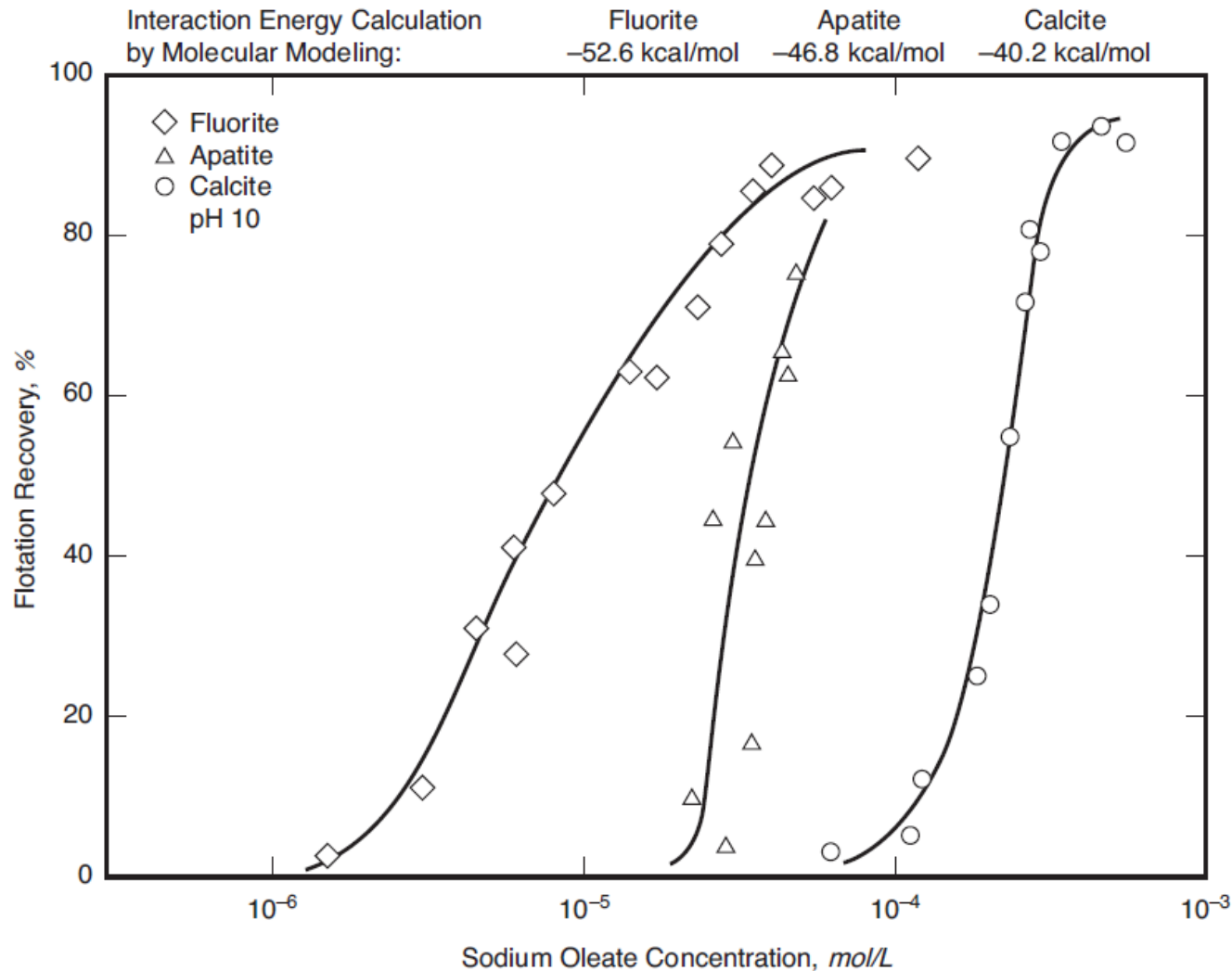
❑ لایه استرن اولین لایه (داخلی) لایه دوگانه الکتریکی است که در یک سطح باردار در محلول یونی تشکیل می‌شود.

❑ لایه استرن نسبت به سطح بی‌حرکت است و از لایه‌ای از یونها تشکیل شده است که بر خلاف سطح باردار شده و به سطح

می‌چسبند.

❑ اختلاف پتانسیل بین مرز بیرونی لایه استرن و محلول توده‌ای به عنوان پتانسیل استرن نامیده می‌شود.

فلوتاسيون



Adapted from Pugh and Stenius 1985; Pradip and Rai 2002, 2003.

FIGURE 28 Flotation recovery of fluorite, apatite, and calcite as a function of the concentration of sodium oleate at pH 10

as a floating agent for minerals

غوطه‌ور شدن

TABLE 2 Heats of immersion and contact angles of some materials in water*

Solid	$-\Delta H_{\text{imm}}$, <i>ergs/cm²</i>	Contact Angle, <i>degrees</i>
Teflon	6	108
Graphon	26	82
Quartz	260–370	0
SnO ₂ (cassiterite)	400–570	0
TiO ₂ (rutile)	550	0
Fe ₂ O ₃ (hematite)	530	0
Al ₂ O ₃ (alumina)	650–900	0

*The oxides were activated at 200°C.

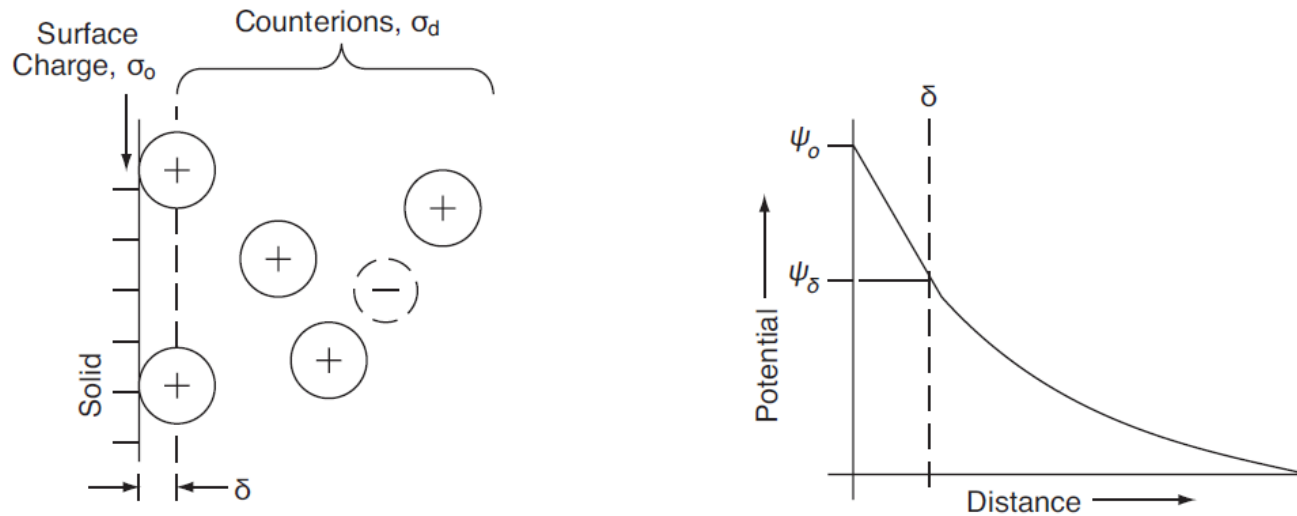
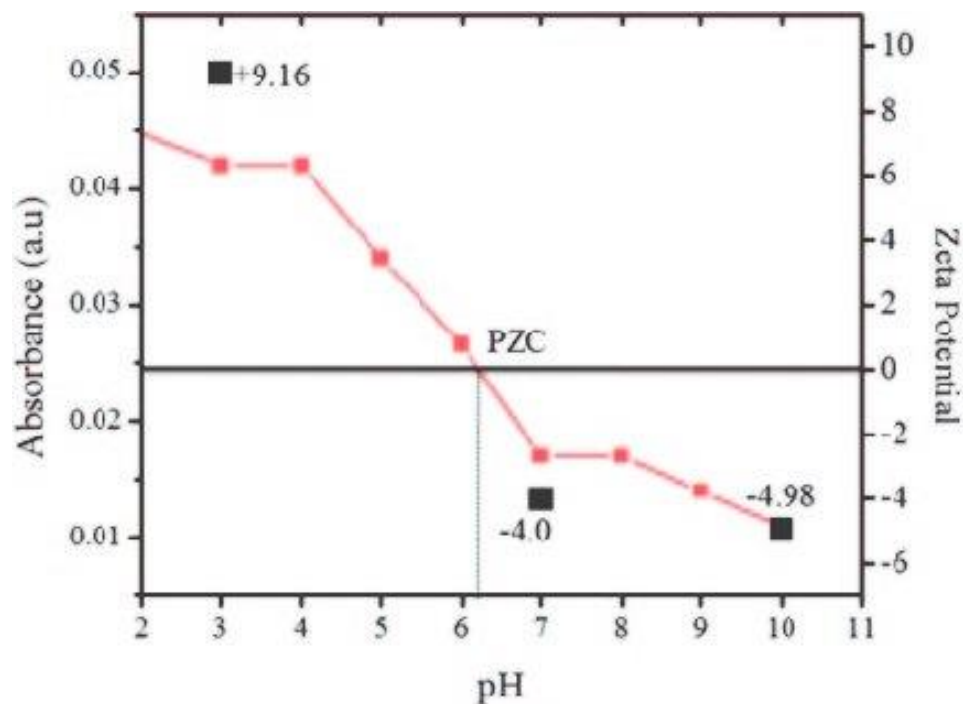


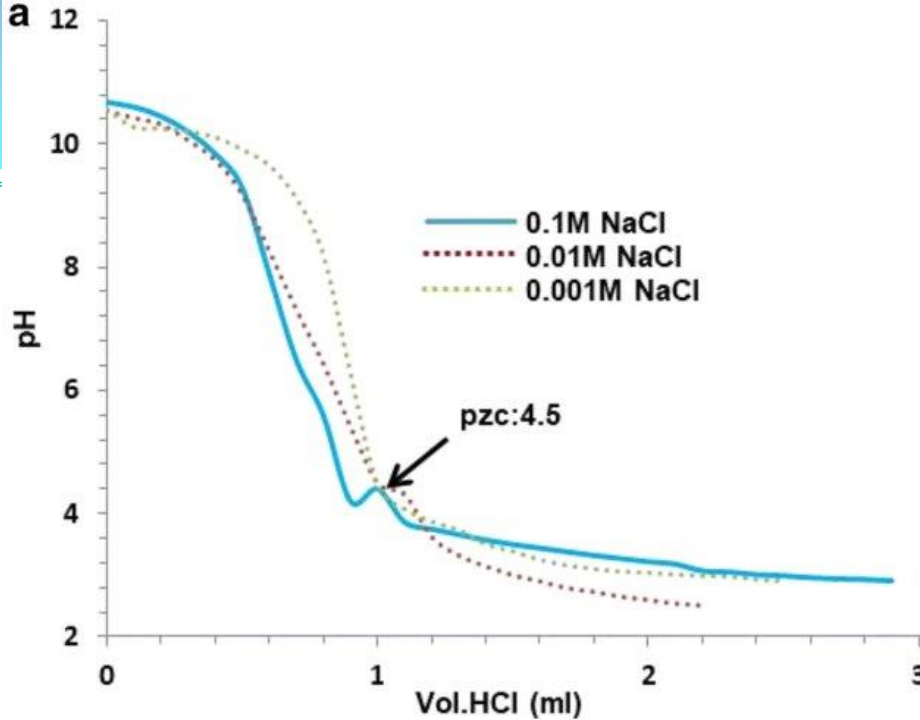
FIGURE 5 Schematic representation of the electrical double layer and the potential drop across the double layer at a solid–water interface

point of zero charge (PZC)

- ❑ The point of zero charge (PZC) defines the conditions of the solution (in particular, the pH value) for which the surface density of positive charges (contribution of cations) equals that of negative charges (anions).
- ❑ It is often regarded as a characteristic parameter for a given surface in a given aqueous solution.

- ❑ نقطه بار صفر (PZC) شرایط محلول (به ویژه مقدار pH) را که برای آن چگالی سطحی بارهای مثبت (سهم کاتیون‌ها) برابر با بارهای منفی (آنیون‌ها) است را مشخص می‌کند.
- ❑ آن اغلب به عنوان یک پارامتر ویژه برای یک سطح معین در یک محلول آبی معین در نظر گرفته می‌شود.

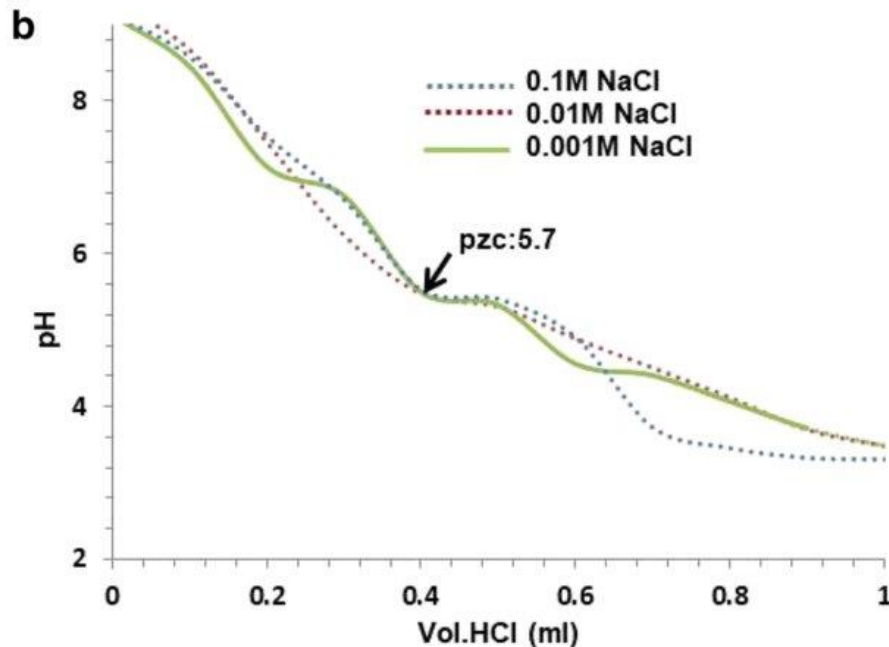




**point of zero
charge
(PZC)**

Titrimetric curves showing point of zero charge (pzc) of a) enzyme-treated tissue and b) chemical-treated tissue.

منحنی‌های تیتریومتری که نقطه بار صفر (pzc) (الف) بافت تیمار شده با آنزیم و (ب) بافت تیمار شده با مواد شیمیایی را نشان می‌دهد.



□ point of zero charge, or PZC

TABLE 3 PZC for some ionic solids

Material	PZC
Barite, BaSO_4	pBa 6.7
Calcite, CaCO_3	pH 9.5*
Fluorapatite, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{OH})$	pH 6*
Fluorite, CaF_2	pCa 3
Hydroxyapatite, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$	pH 7*
Scheelite, CaWO_4	pCa 4.8
Silver chloride, AgCl	pAg 4
Silver iodide, AgI	pAg 5.6
Silver sulfide Ag_2S	pAg 10.2

Source: Fuerstenau 1971.

*The activities of the other potential-determining ions can be calculated from the hydrolysis equilibria and solubility data.

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

potential of hydrogen

$$\text{pBa} = -\log [\text{Ba}^{2+}]$$

$$\text{pAg} = -\log [\text{Ag}^+]$$

$$\text{pCa} = -\log [\text{Ca}^{2+}]$$

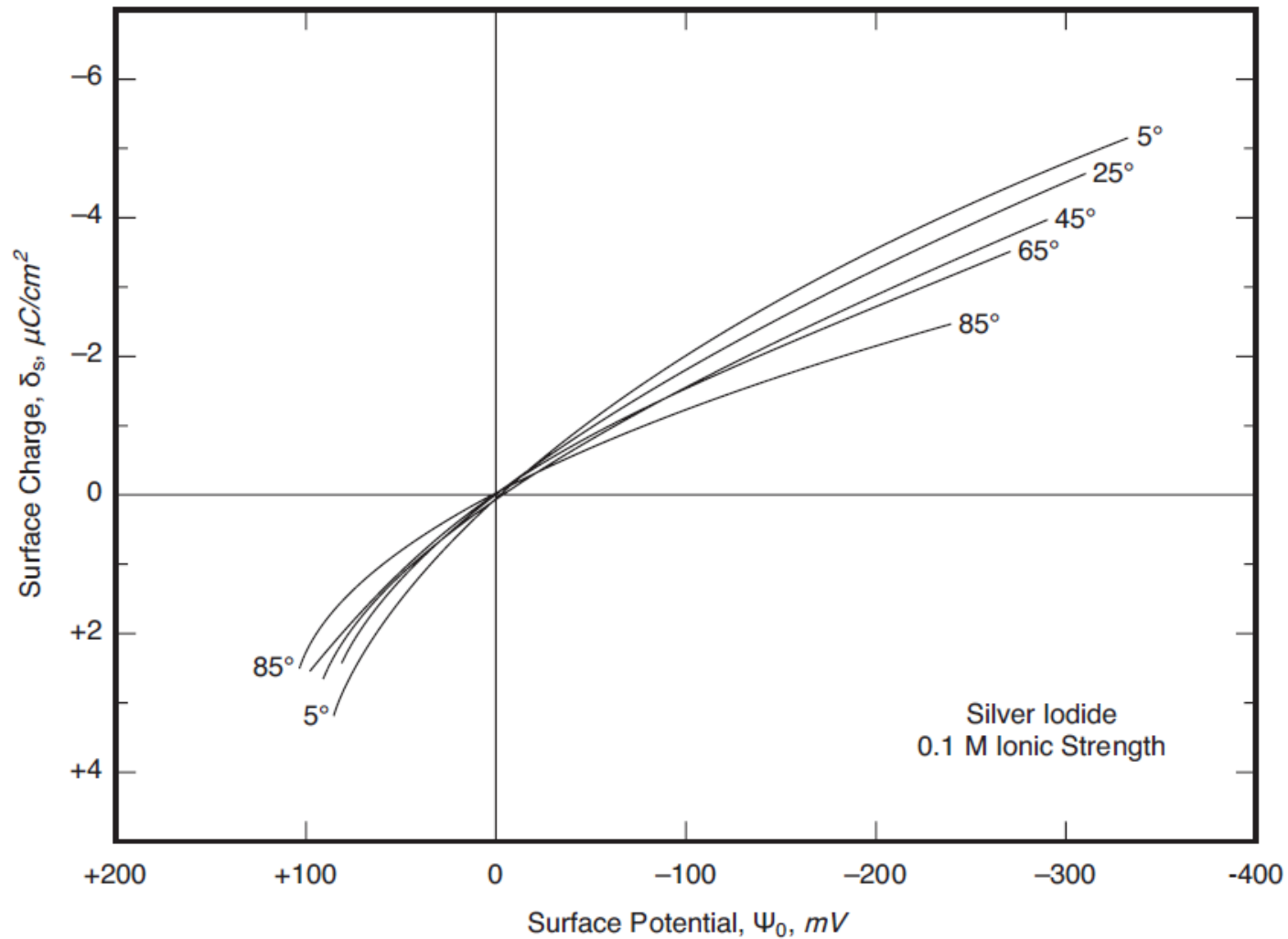
TABLE 4 PZC of some oxides*

Material	PZC, <i>pH</i>
SiO ₂ , silica gel	1–2
SiO ₂ , α-quartz	2–3
SnO ₂ , cassiterite	4.5
ZrO ₂ , zirconia	4
TiO ₂ , rutile	5.8–6.7
Fe ₂ O ₃ , hematite (natural)	4.8–6.7
Fe ₂ O ₃ , hematite (synthetic)	8.6
FeOOH, goethite	6.8
Al ₂ O ₃ , corundum	9.1
AlOOH, boehmite	7.8–8.8
MgO, magnesite	12

Source: Fuerstenau 1970.

*These are typical results. The sources of oxide—its trace impurities, method of pretreatment, etc.—cause variations in observed values.

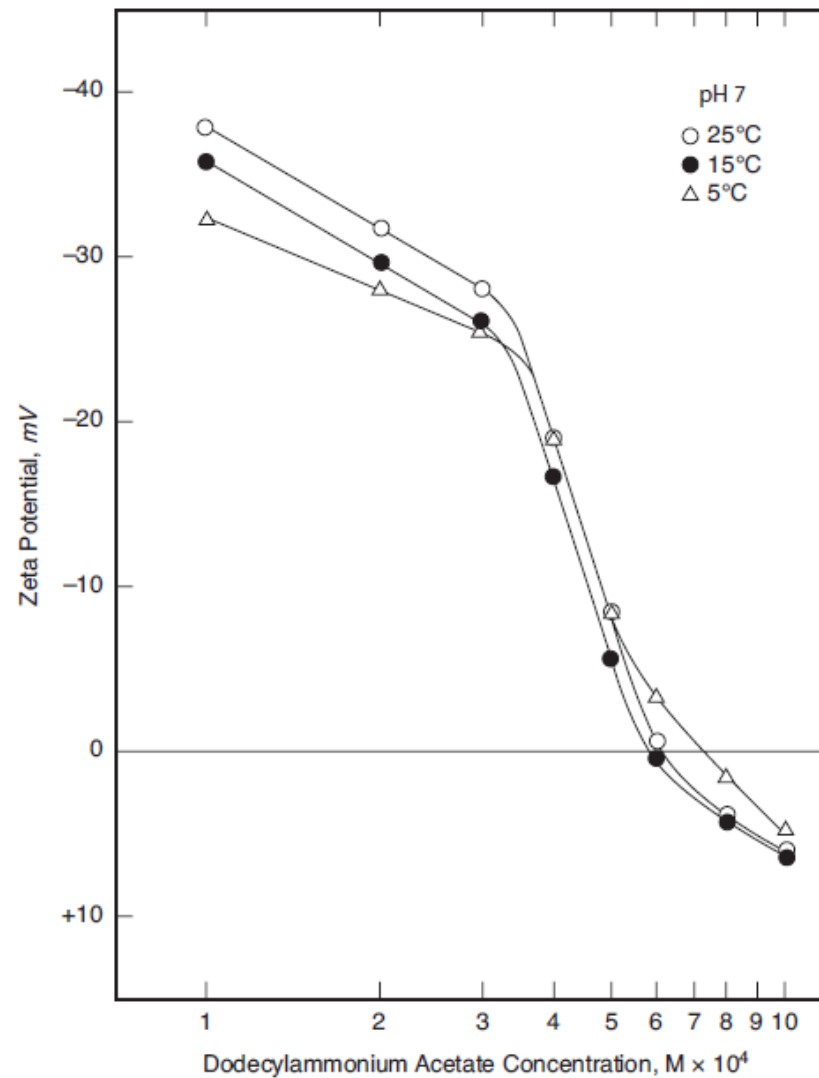
فلوتاسيون



Source: Lyklema 1966.

FIGURE 9 Temperature dependence of the surface charge on AgI particles, showing the decrease in surface charge with increasing temperature. All curves are normalized to the PZC at reference temperature

فلوتاسيون

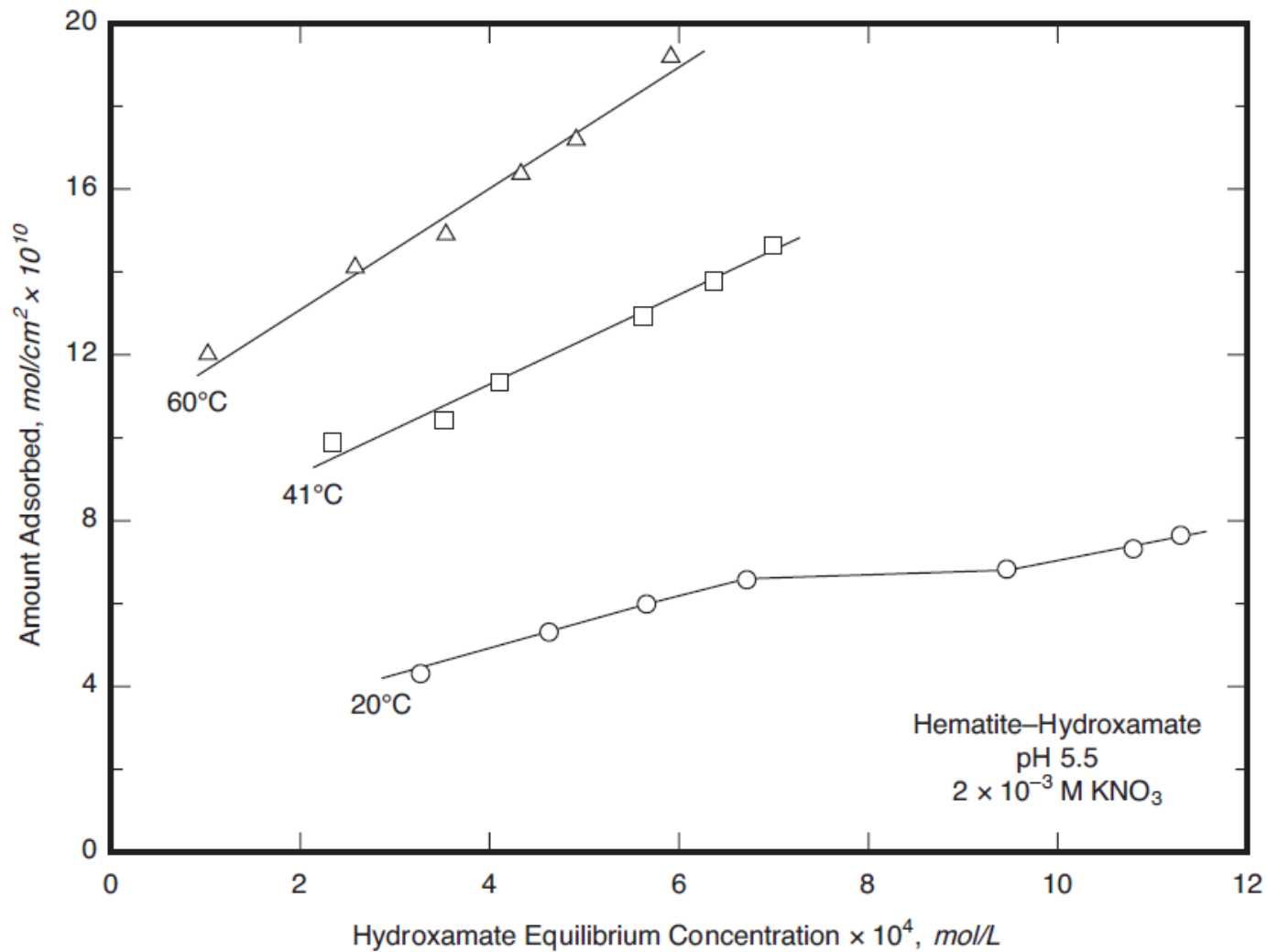


Source: Ball and Fuerstenau 1971.

Cationic Collector for the Flotation of Quartz

FIGURE 14 Zeta potential of quartz as a function of dodecylammonium acetate concentration at different temperatures

فلوتاسيون



Source: Raghavan and Fuerstenau 1975.

FIGURE 18 Effect of temperature on the adsorption density of potassium octylhydroxamate on hematite

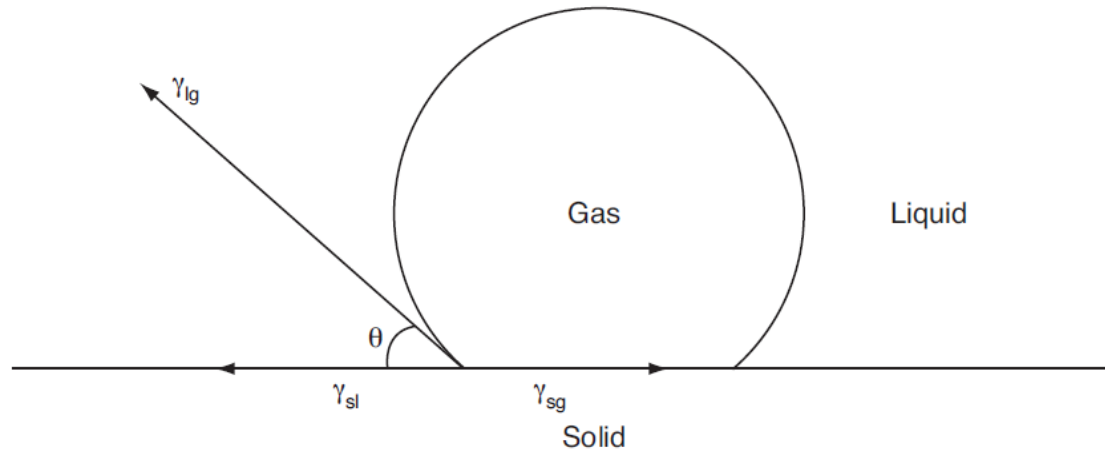
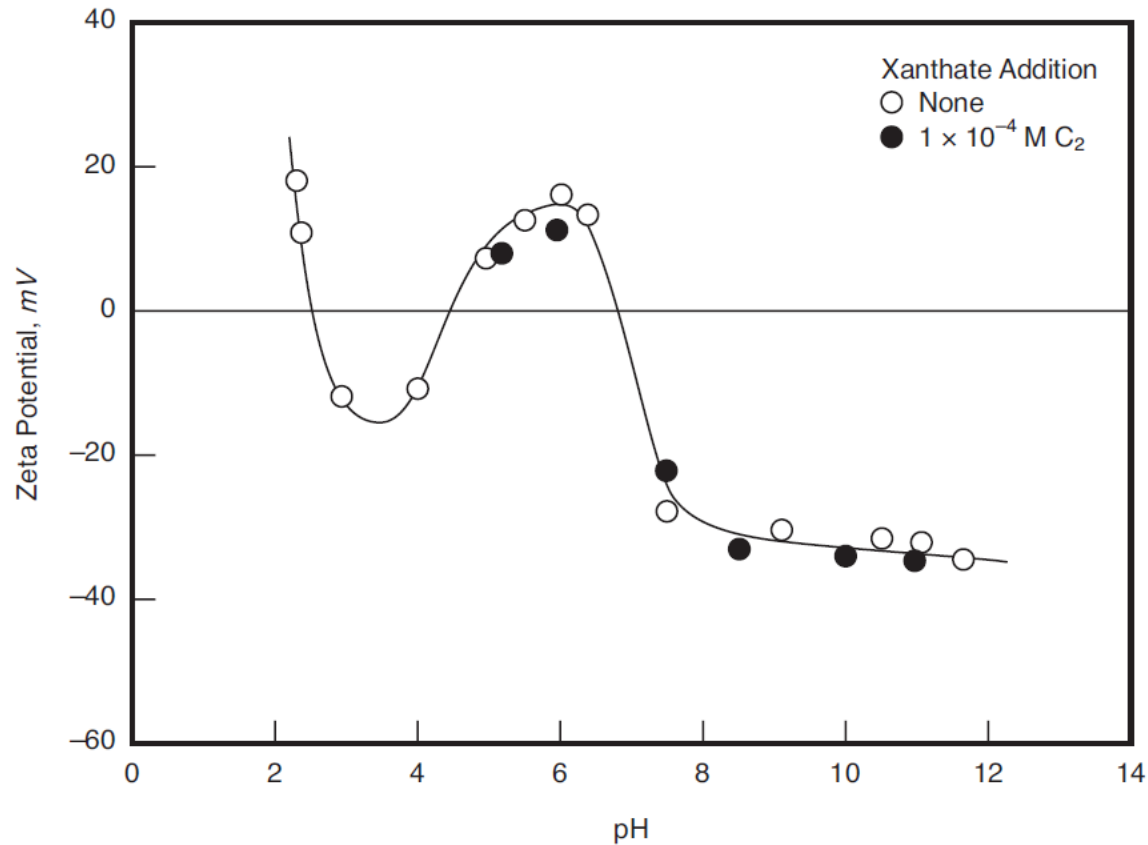


FIGURE 1 Solid-liquid-gas interface depicting contact angle and surface tension forces acting at the boundaries



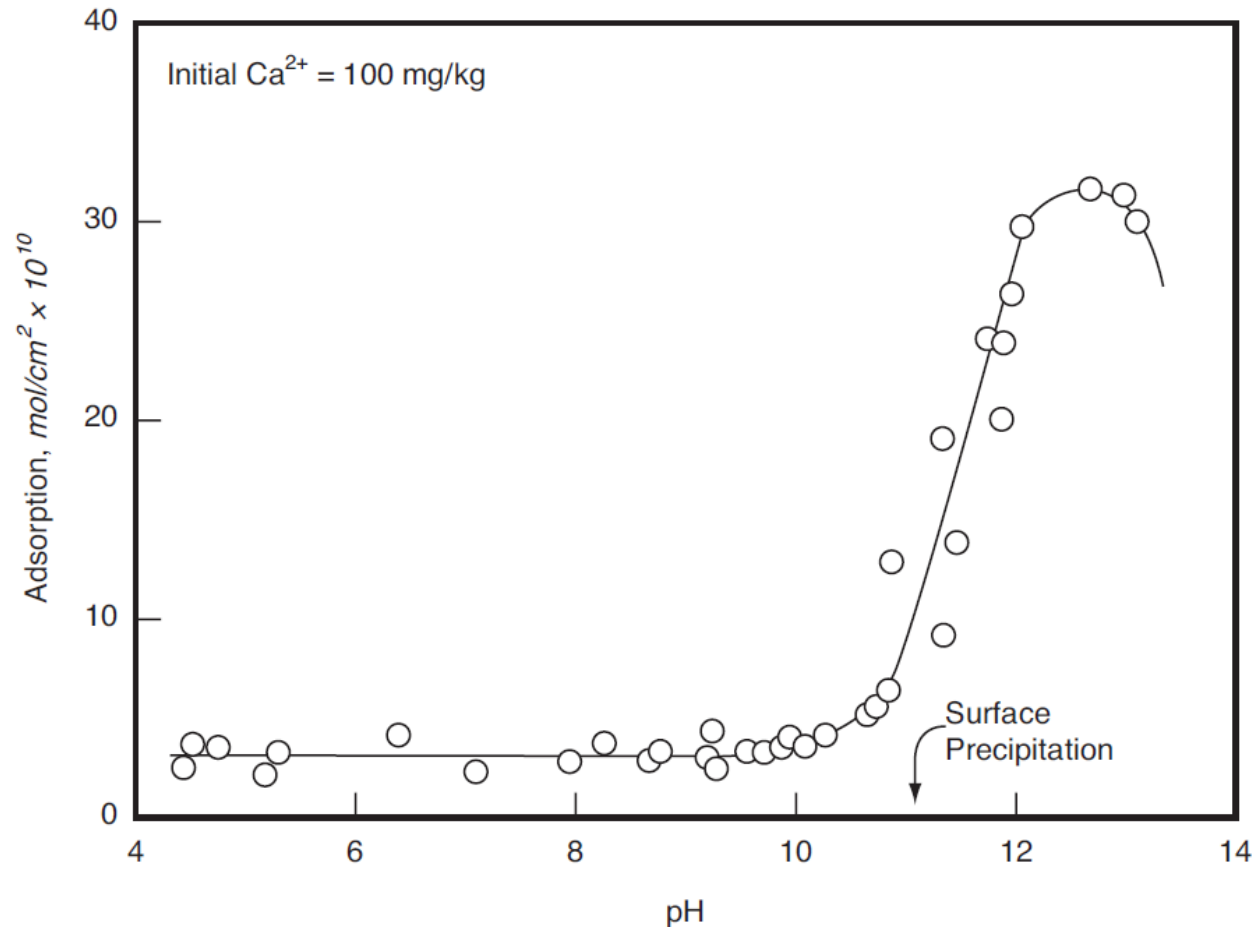
Source: M.C. Fuerstenau, Kuhn, and Elgillani 1968.

FIGURE 13 Zeta potential of pyrite as a function of pH in the absence and presence of ethyl xanthate in the presence of air

پیریت (FeS_2)

Pyrite: The Real Story Behind “Fool’s Gold”





Source: Clark and Cooke 1968.

FIGURE 14 Adsorption of calcium species on quartz as a function of pH from solutions 100 ppm in calcium

ڪوارتز (SiO_2)

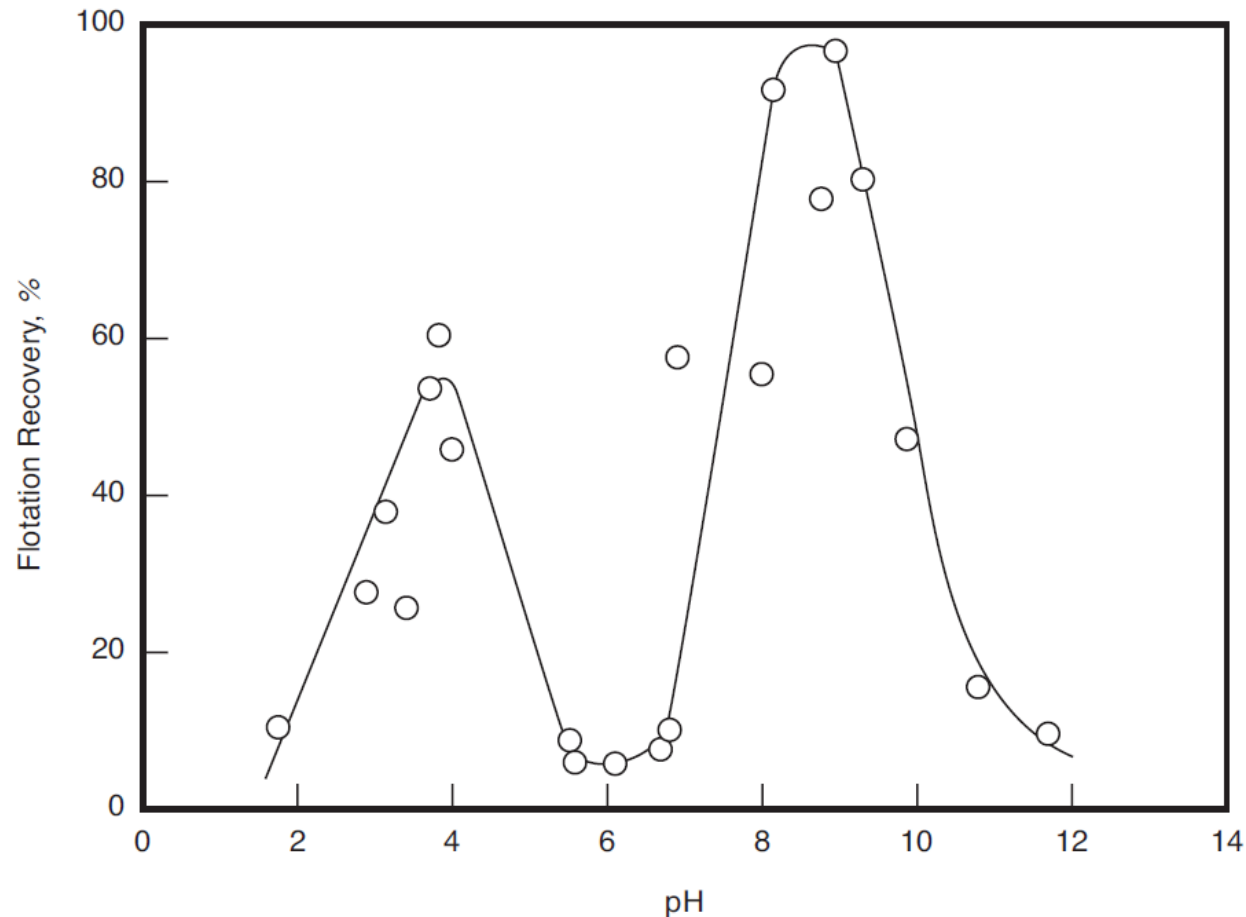
What is quartz? Silicon dioxide, also known as silica, is an oxide of silicon with the chemical formula SiO_2 , commonly found in nature as quartz.



فلوتاسیون

□ بازیابی فلوتاسیون پیرولوزیت (MnO_2)

Oleate is a C18, long straight-chain monounsaturated fatty acid anion; and the conjugate base of oleic acid, arising from deprotonation of the carboxylic acid group.



Source: M.C. Fuerstenau and Rice 1968.

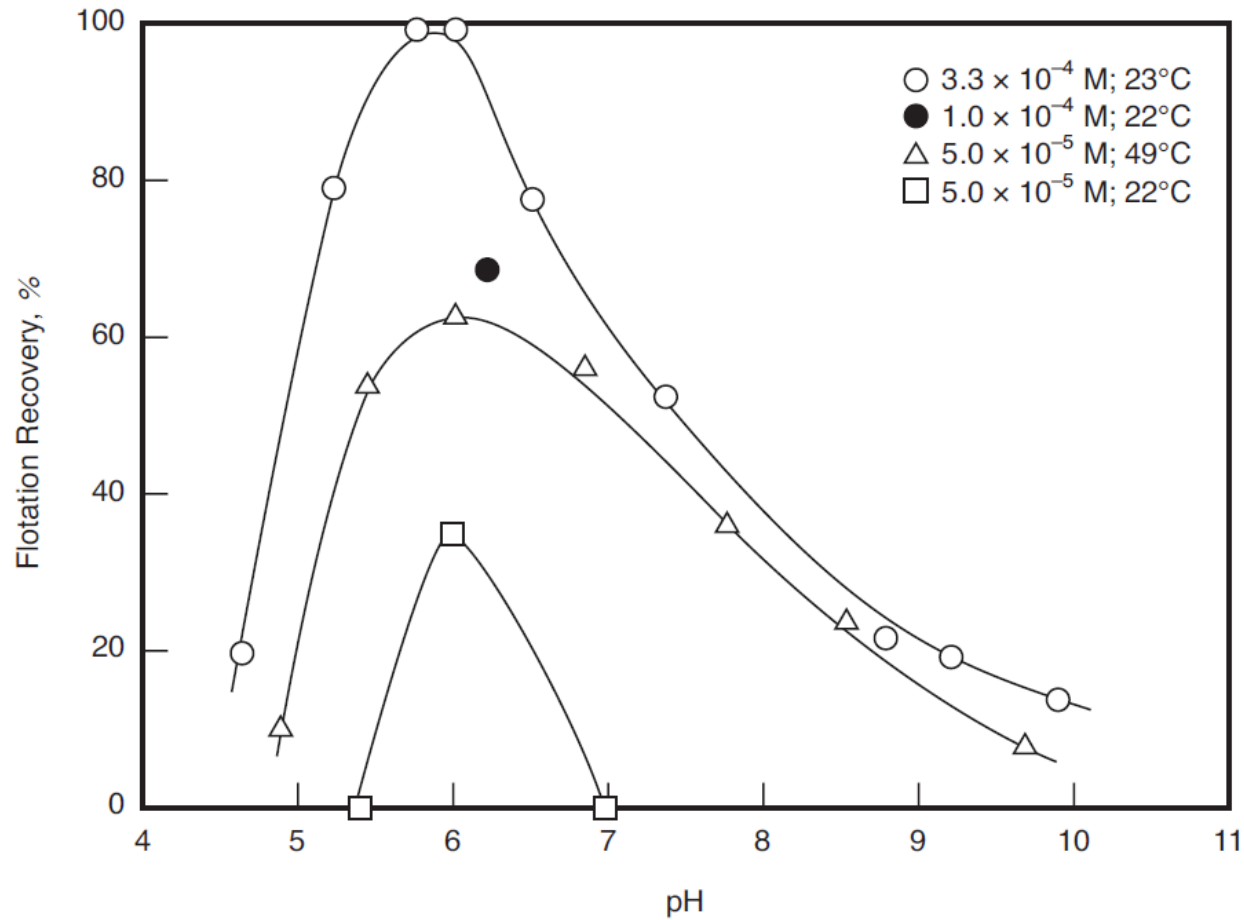
FIGURE 16 Flotation recovery of pyrolusite as a function of pH with 1×10^{-4} M oleate

پیرولوزیت (MnO_2)



فلوتاسیون

بازیابی فلوتاسیون کریزوکولا ($\text{Cu}_2\text{H}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) □



Source: Peterson et al. 1965.

FIGURE 17 Flotation recovery of chrysocolla as a function of pH with various concentrations of octyl hydroxamate

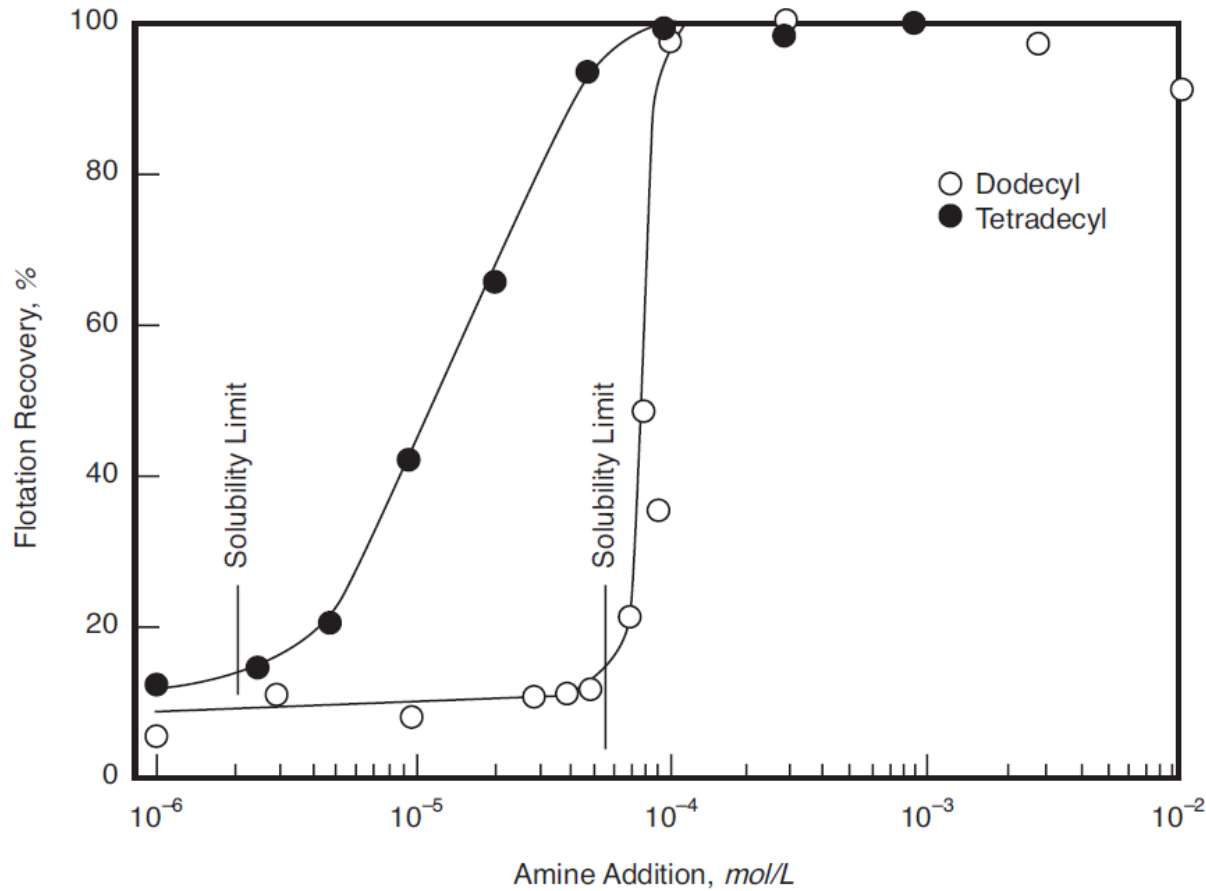
کریزوکولا ($\text{Cu}_2\text{H}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)



فلوتاسيون

□ بازيايى فلوتاسيون سيلويت (KCl)

Sylvite, or sylvine, is potassium chloride (KCl) in natural mineral form.



Source: Roman, Fuerstenau, and Seidel 1968.

FIGURE 22 Flotation recovery of sylvite with various amines

سيلويت (KCl)



فلوتاسيون

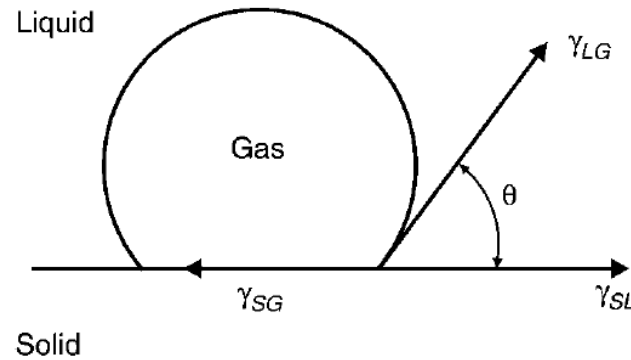


FIGURE 8.1 Schematic of the equilibrium contact between an air bubble and a solid immersed in a liquid

Contact angle is related to interfacial tension, γ , between the gas (G), solid (S), and liquid (L) by the Young-Dupre equation:

$$\gamma_{SG} = \gamma_{SL} + \gamma_{SG} \cos \theta \quad (\text{Eq. 8.1})$$

$$\cos \theta = \gamma_{SL} - \gamma_{SG} \quad (\text{Eq. 8.2})$$

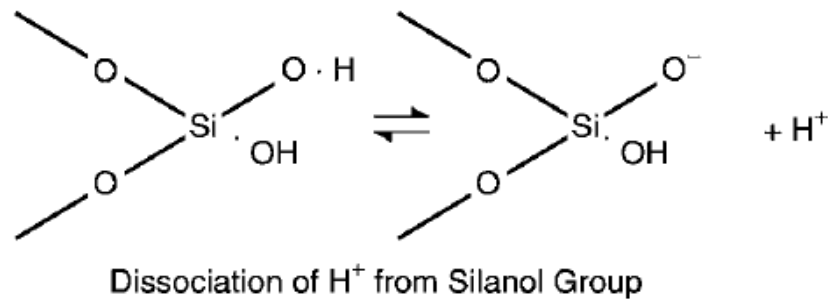
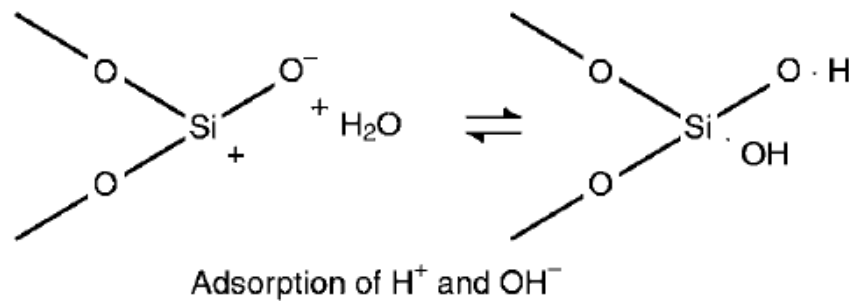
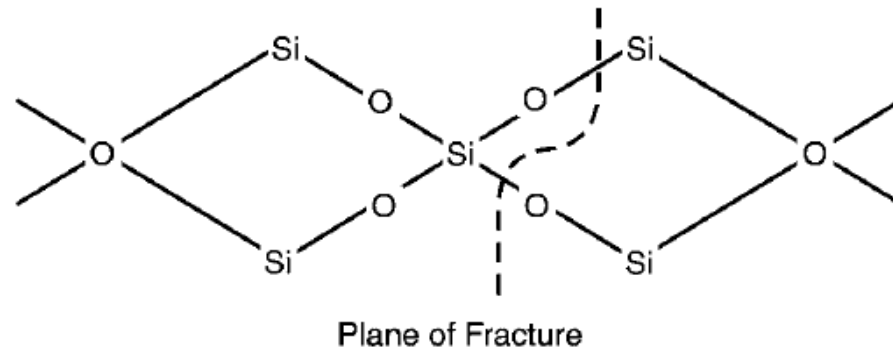
Free energy change on particle-bubble contact results from creation of a solid-gas interface and destruction of an equivalent area of solid-liquid and liquid-gas interfaces. The relationship can be written as

$$\Delta G_{ad} = \gamma_{SG} - \gamma_{SL} - \gamma_{LG} \quad (\text{Eq. 8.3})$$

Combining Eqs. 8.2 and 8.3 yields

$$\Delta G_{ad} = \gamma_{LG}(\cos \theta - 1) \quad (\text{Eq. 8.4})$$

فلوتاسيون



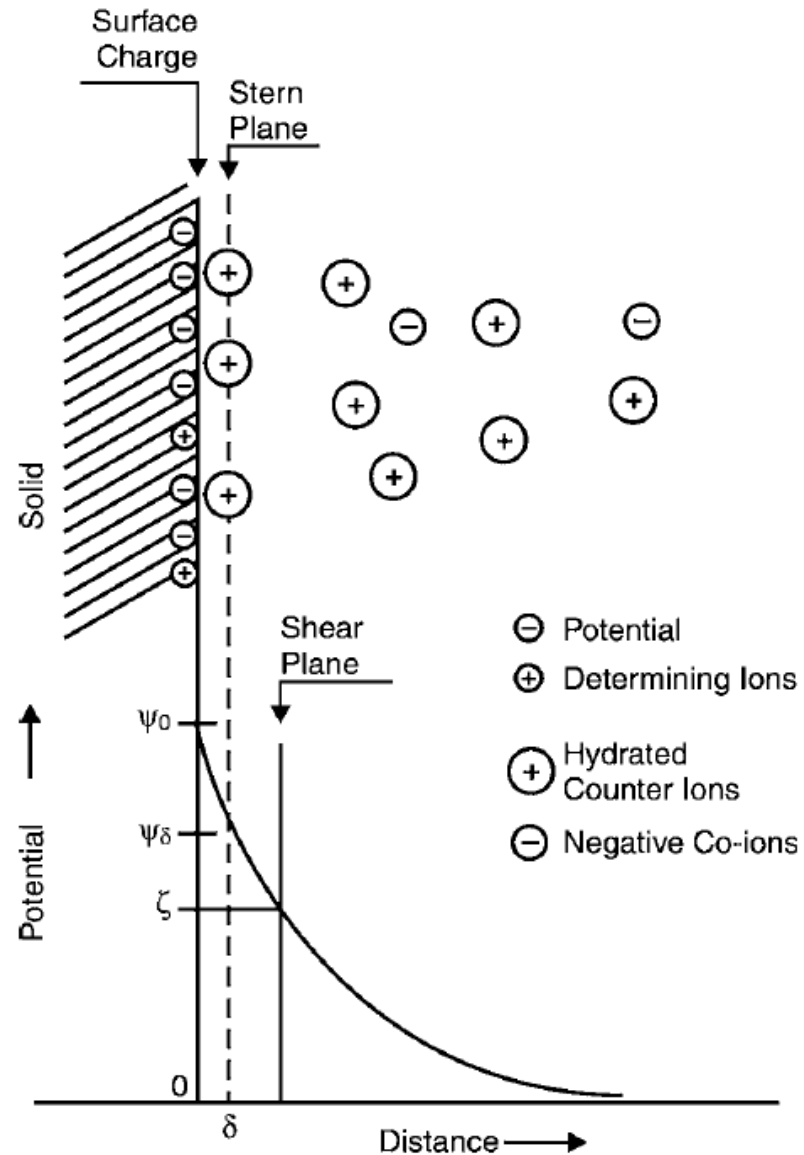
Source: Yopps and Fuerstenau 1964.

FIGURE 8.4 Schematic of surface charge development on quartz

TABLE 8.1 PZC for selected oxide minerals

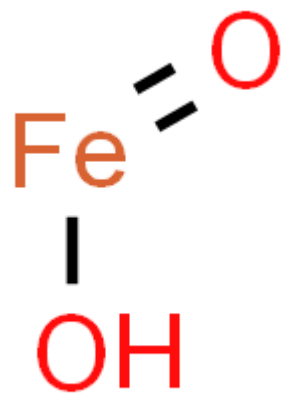
Mineral	pH
Quartz, SiO_2	2
Rutile, TiO_2	6
Hematite, Fe_2O_3	7
Corundum, Al_2O_3	9
Magnesia, MgO	12

فلوتاسيون



Source: Somasundaran 1975.

FIGURE 8.5 Schematic of electrical double layer



فلوتاسیون

پتانسیل زتای گوتیت (Fe(OH)O) (FeO₂H) □

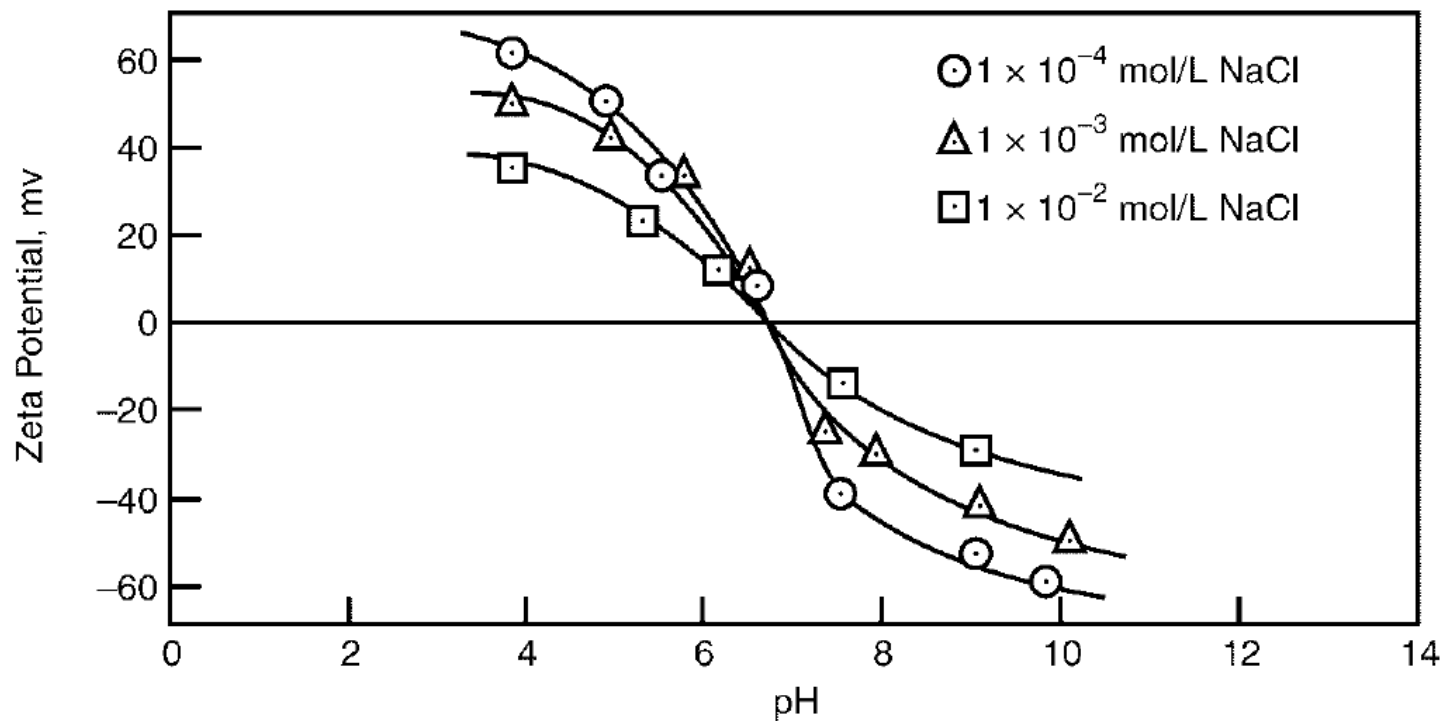


FIGURE 8.6 Zeta potential of goethite as a function of pH and ionic strength

گوتیت $(\text{Fe}(\text{OH})\text{O})$ (FeO_2H)



TABLE 8.3 Formulas for cationic collectors

Amine	Formula
n-amyl amine	$C_5H_{11}NH_2$
n-dodecylamine	$C_{12}H_{25}NH_2$
Di-n-amylamine	$(C_5H_{11})_2NH$
Tri-n-amylamine	$(C_5H_{11})_3N$
Tetramethylammonium chloride	$[(CH_3)_4N]^+Cl^-$
Tallow amine acetate	RNH_3Ac (96% C_{18})

TABLE 8.4 Structural formulas of sodium salts of various anionic collectors

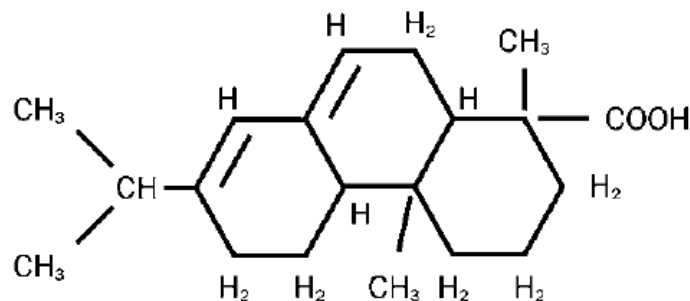
Collector	Structural Formula
Carboxylate	$*R-C \begin{array}{l} \diagup O^- \\ \diagdown \\ \parallel O \end{array} \quad \dots Na^+$
Sulfonate	$R-\overset{\overset{O}{\parallel}}{\underset{\underset{O}{\parallel}}{S}}-O^- \quad \dots Na^+$
Alkyl sulfate	$R-O-\overset{\overset{O}{\parallel}}{\underset{\underset{O}{\parallel}}{S}}-O^- \quad \dots Na^+$
Hydroxamate	$R-C \begin{array}{l} \parallel O \\ \diagdown \\ \text{---} N \end{array} \begin{array}{l} H \\ \\ O^- \end{array} \quad \dots Na^+$

*R represents the hydrocarbon chain.

TABLE 8.5 Structure and solubility of selected fatty acids

تفکیک نشده

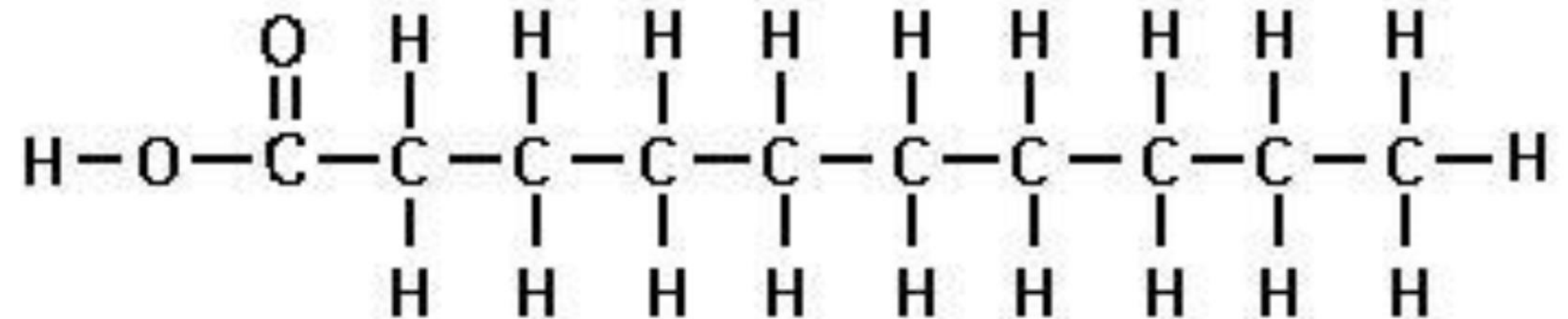
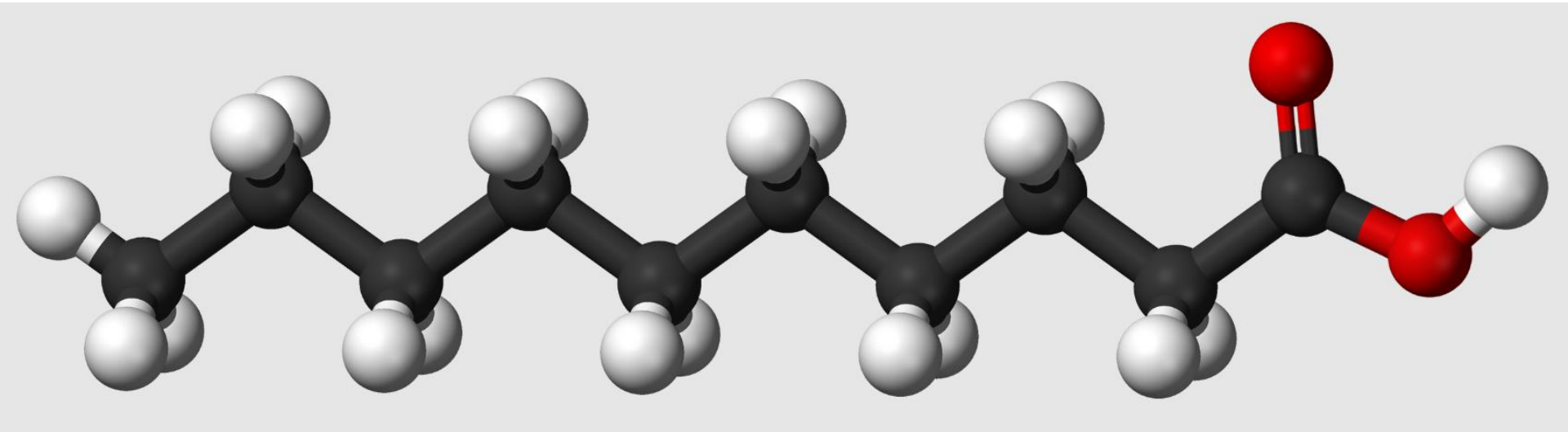
Fatty Acid	Formula	Solubility of Undissociated Molecule (mol/L), 20°C
Capric	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	3.0×10^{-4}
Lauric	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	1.2×10^{-5}
Myristic	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	1.0×10^{-6}
Palmitic	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	6.0×10^{-7}
Stearic	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	3.0×10^{-7}
Oleic	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	
Linoleic	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	
Linolenic	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	
Abietic		



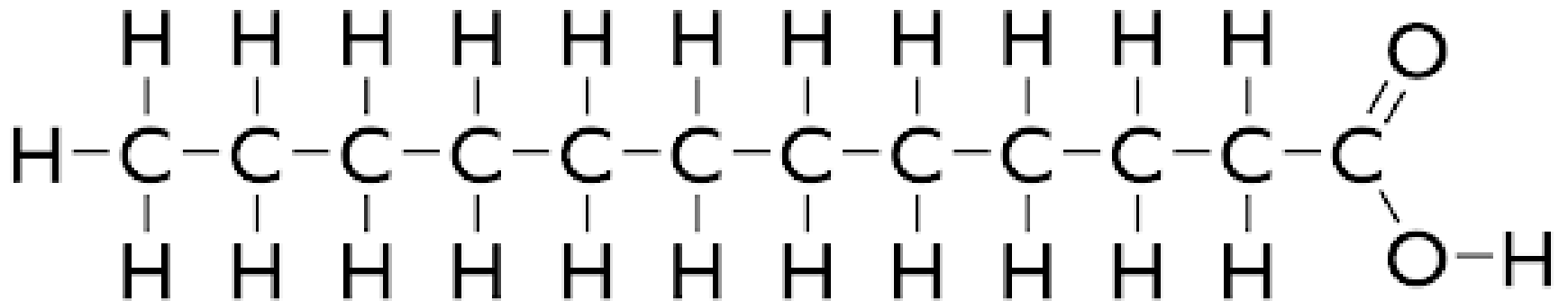
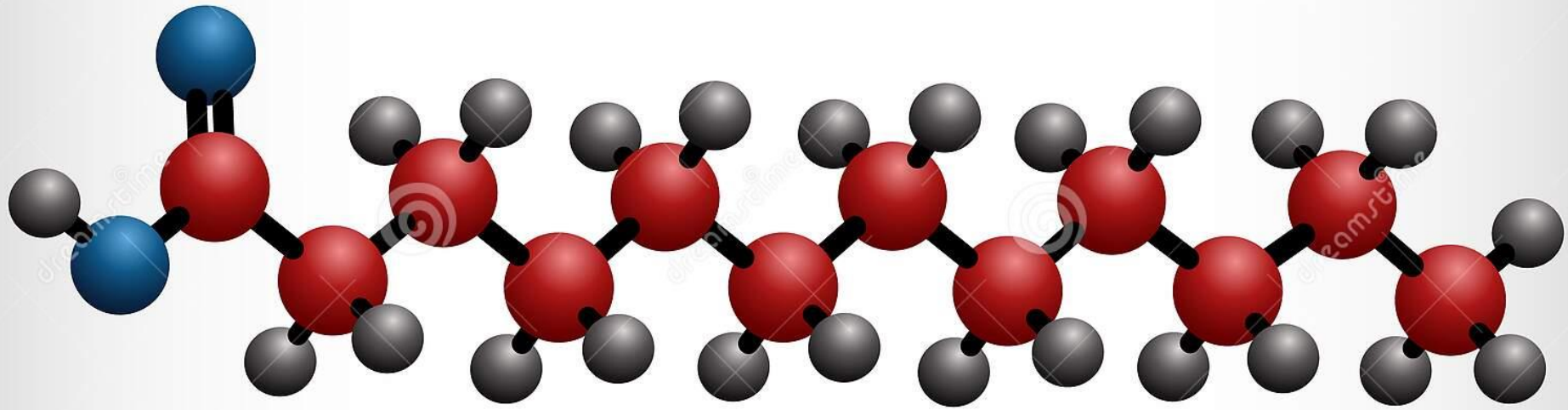
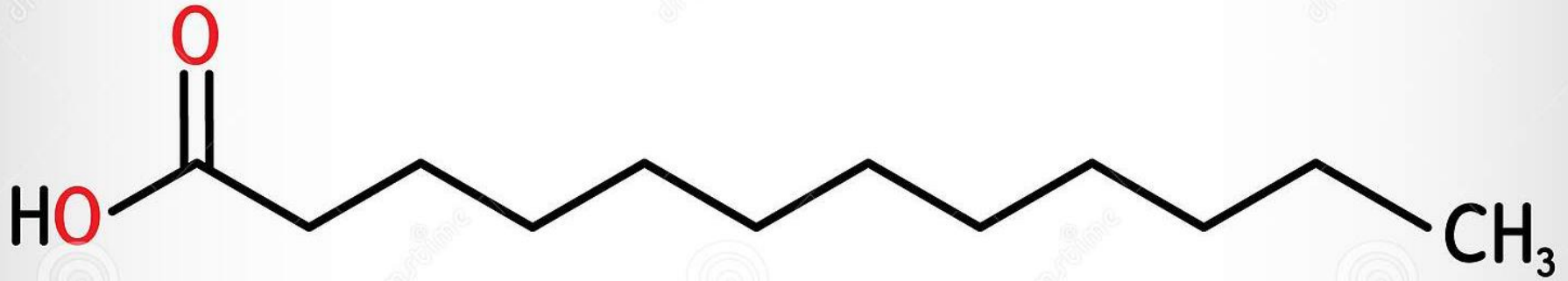
Source: Schubert 1967.

اسید کاپریک (C₁₀H₂₀O₂) (Capric acid)

Capric acid, also known as **decanoic acid** or **decylic acid**



(C₁₂H₂₄O₂) (Lauric acid) اسید لوریک



اسید اولئیک (Oleic acid) ($C_{18}H_{34}O_2$)

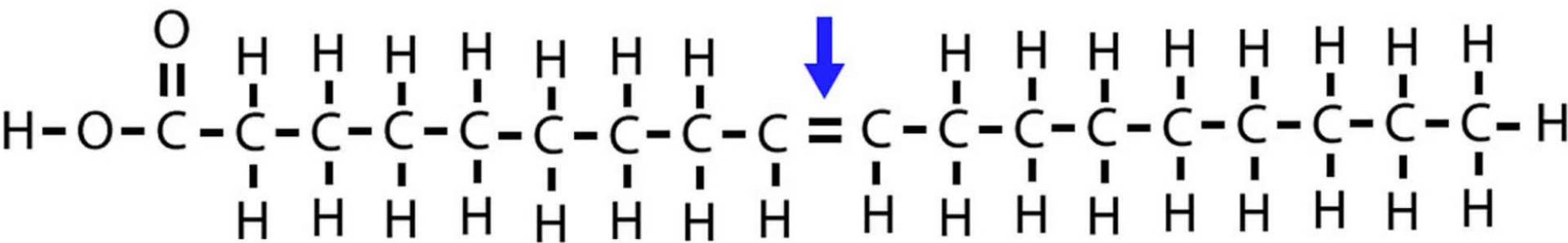
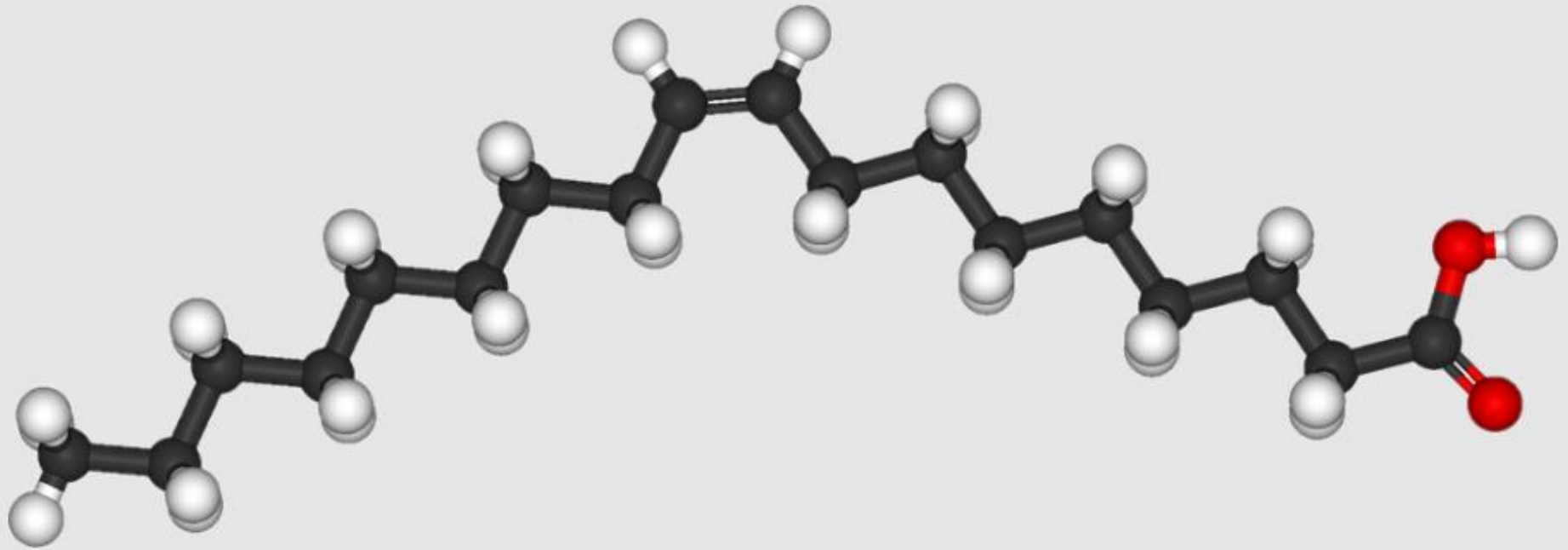
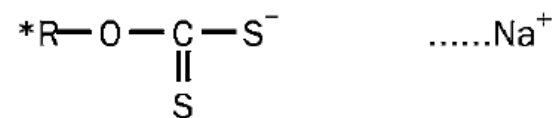
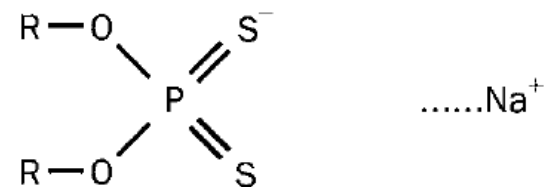


TABLE 8.6 Various anionic sulfhydryl collectors

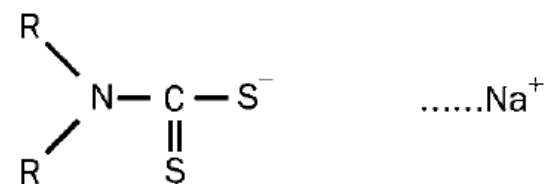
Xanthate



Thiophosphate



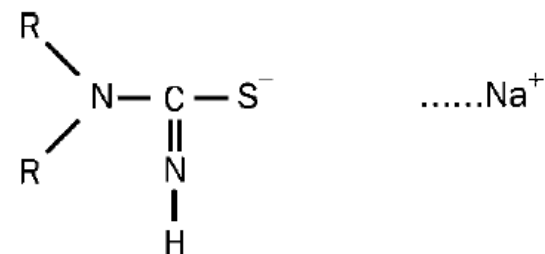
Thiocarbamate



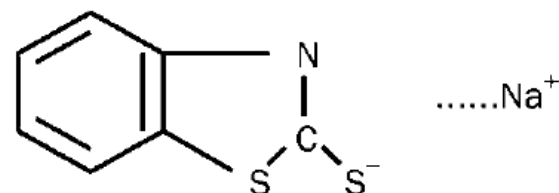
Mercaptan



Thiourea



Mercaptobenzothiazole



*R represents the hydrocarbon chain.

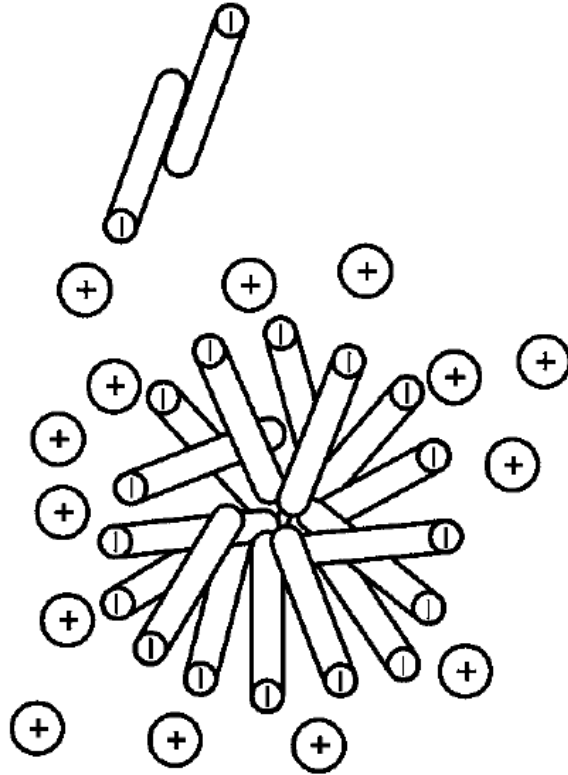


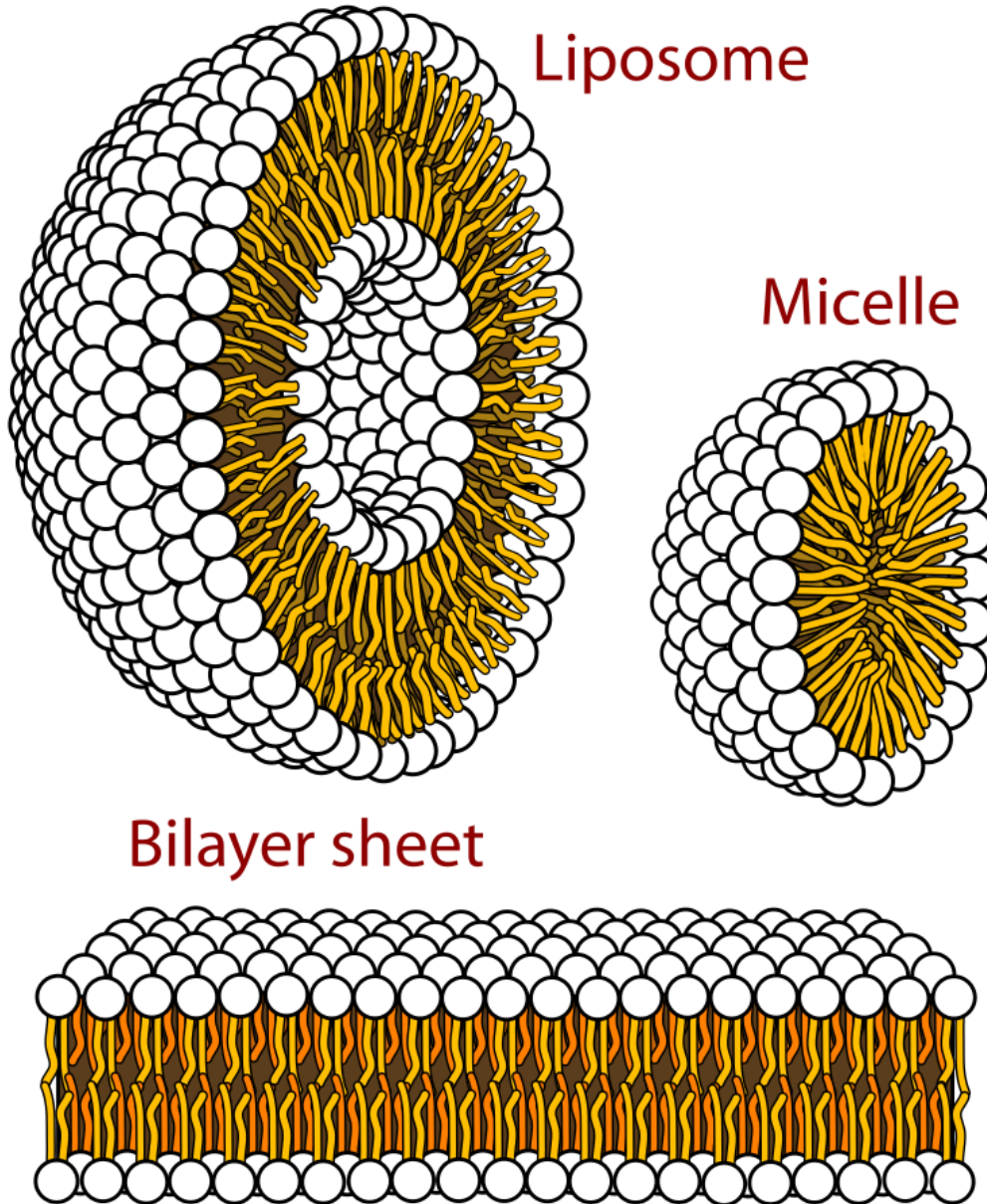
FIGURE 8.7 Schematic of a micelle

میسل (Micelle)

- ❑ A micelle (/maɪ'sɛl/) or micella (/maɪ'sɛlə/) (plural micelles or micellae, respectively) is an **aggregate** (or supramolecular **assembly**) of surfactant amphipathic lipid molecules dispersed in a liquid, forming a colloidal suspension (also known as associated colloidal system).
- ❑ A typical micelle in water forms an aggregate with the **hydrophilic "head" regions** in contact with surrounding solvent, sequestering the **hydrophobic single-tail** regions in the micelle center.

- ❑ میسل یک توده (انباشته) (یا تجمع فوق مولکولی) از مولکول‌های لیپیدی آمفی پاتیک سطح ساز است که در یک مایع پراکنده شده و یک سوسپانسیون کلوئیدی را تشکیل می‌دهد (همچنین به عنوان سیستم کلوئیدی مرتبط شناخته می‌شود).
- ❑ یک میسل معمولی در آب با نواحی «سر» آبدوست در تماس با حلال اطراف، توده‌ای را تشکیل می‌دهد و نواحی تک-دم آبریز را در مرکز میسل جدا می‌کند.

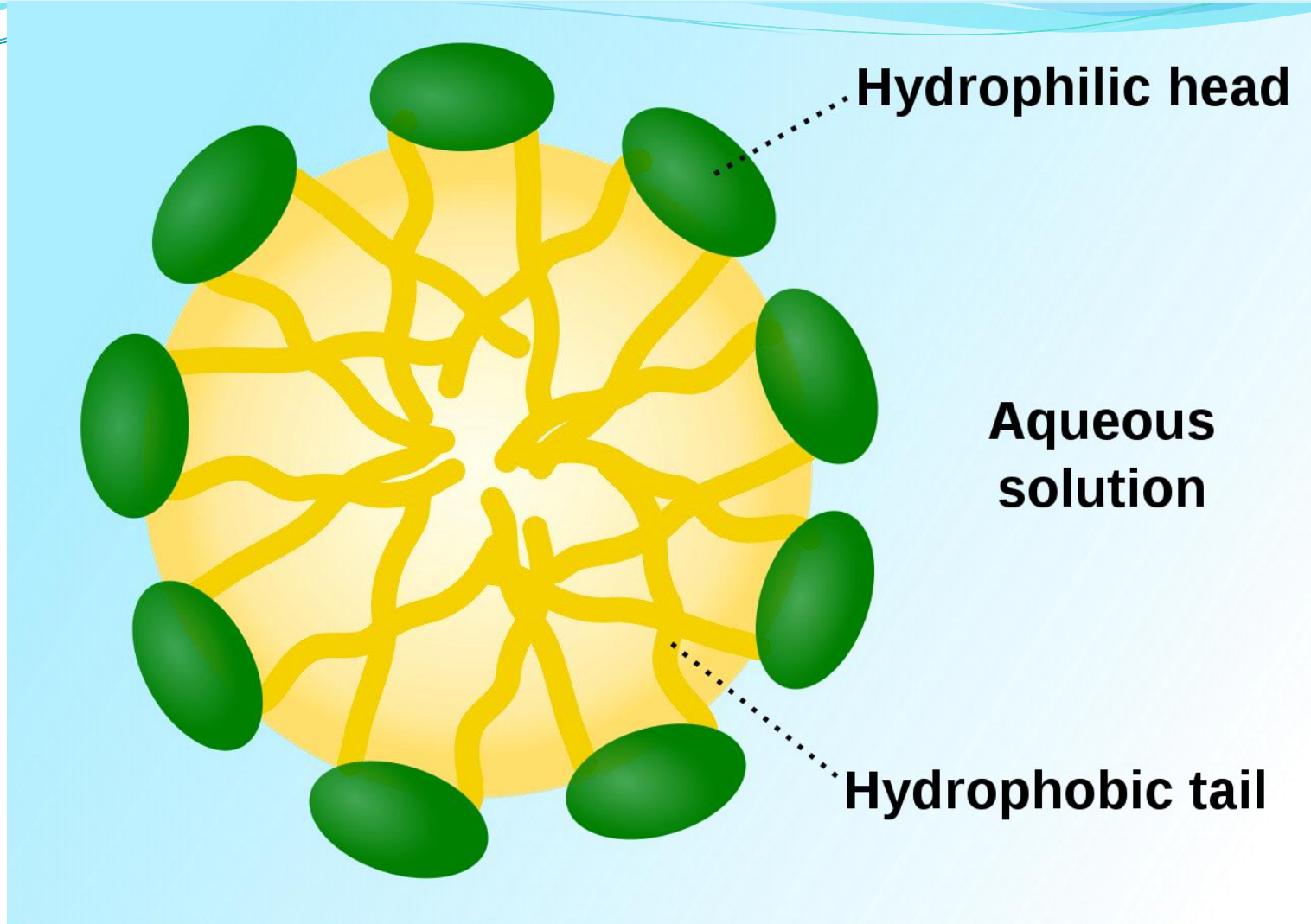
میسل (Micelle)



Cross-section view of the structures that can be formed by phospholipids in aqueous solutions (unlike this illustration, micelles are usually formed by single-chain lipids, since it is difficult to fit two chains into this shape).

نمای مقطع عرضی از ساختارهایی که می‌توانند توسط فسفولیپیدها در محلول‌های آبی تشکیل شوند (بر خلاف این تصویر، میسل‌ها معمولاً توسط لیپیدهای تک زنجیره‌ای تشکیل می‌شوند، زیرا قرار دادن دو زنجیره در این شکل دشوار است).

میسل (Micelle)



Scheme of a micelle formed by phospholipids in an aqueous solution

TABLE 8.8 Critical micelle concentrations of various amines (mol/L)

Decylamine	3.2×10^{-2}
Dodecylamine	1.3×10^{-2}
Tetradecylamine	4.1×10^{-3}
Hexadecylamine	8.3×10^{-4}
Octadecylamine	4.0×10^{-4}

Source: Aplan and Fuerstenau 1962.

TABLE 8.9 Critical micelle concentrations of various carboxylates, sulfonates, and alkyl sulfates

Chain Length	CMC, mol/L		
	Carboxylate	Sulfonate	Alkyl Sulfate
C ₁₂	2.6×10^{-2}	9.8×10^{-3}	8.2×10^{-3}
C ₁₄	6.9×10^{-3}	2.5×10^{-3}	2.0×10^{-3}
C ₁₆	2.1×10^{-3}	7.0×10^{-4}	2.1×10^{-4}
C ₁₈ *	1.8×10^{-3}	7.5×10^{-4}	3.0×10^{-4}

*Temperature, 50°C; other determinations at room temperature.

فلوتاسیون

□ حلالیت (انحلال پذیری) محصولات کربوکسیلات های فلزی گوناگون

TABLE 8.10 Solubility products of various metal carboxylates

	Ag^+	Pb^{2+}	Cu^{2+}	Zn^{2+}	Cd^{2+}	Fe^{2+}	Ni^{2+}	Mn^{2+}	Ca^{2+}	Ba^{2+}	Mg^{2+}	Al^{2+}	Fe^{3+}
Palmitate	12.2	22.9	21.6	20.7	20.2	17.8	18.3	18.4	18.0	17.6	16.5	31.2	34.3
Stearate	13.1	24.4	23.0	22.2	—	19.6	19.4	19.7	19.6	19.1	17.7	33.6	—
Oleate	10.9	19.8	19.4	18.1	17.3	15.4	15.7	15.3	15.4	14.9	13.8	30.0	34.2

Source: Du Reitz 1975.

Palmitic acid: $\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$

Stearic acid: $\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$

Oleic acid: $\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$

TABLE 8.11 Solubility products of various metal xanthates

	Ag^+	Pb^{2+}	Cu^{2+}	Ni^{2+}	Co^{2+}	Fe^{2+}	Zn^{2+}	Mn^{2+}
Ethyl	18.6	16.7	24.2	12.5	—	—	8.2	—
Isopropyl	18.6	17.8	24.7	13.4	—	—	—	—
Butyl	19.5	18.0	26.2	—	—	—	—	—
<i>i</i> -Butyl	19.2	17.3	26.3	—	—	—	—	—
Amyl (<i>i</i> -)	19.7	17.6	27.0	14.5	—	—	—	—
Hexyl (<i>n</i> -)	20.8	20.3	29.0	16.5	14.3	—	—	—
Octyl (<i>i</i> -)	20.4	21.3	—	17.7	—	—	—	—
<i>n</i> -Nonyl	22.6	24.0	30.0	22.3	21.3	11.0	16.2	9.9

Source: Du Reitz 1975.

TABLE 8.12 Common frothers

Frother	Constituent	جزء سازنده
Cresylic acid	Xylenol	
MIBC	Methyl isobutyl carbinol	
Polyglycols	Polypropylene	
Pine oil	Terpineol	

Cresylic acid (Xylenol)

- ❑ **Cresylic Acid** is formulated with the combination of **cresols** and **xyleneols** with **alkylphenols**.
- ❑ **Cresols** (also **hydroxytoluene** or **cresylic acid**) are a group of aromatic organic compounds.
- ❑ They are widely-occurring phenols (sometimes called *phenolics*) which may be either natural or manufactured.
- ❑ They are also categorized as methylphenols.
- ❑ Cresols commonly occur as either solids or liquids because their melting points are generally close to room temperature.
- ❑ Like other types of phenols, they are slowly oxidized by exposure to air, and the resulting impurities often give the samples a yellow to brownish red tint.
- ❑ Cresols have an odor characteristic to that of other simple phenols, reminiscent to some of a "coal tar" smell.
- ❑ The name "cresol" is an adduct of phenol and their traditional source, creosote.

- ❑ کرسیلیک اسید با ترکیبی از کرزول ها و زایلنول ها با آلکیل فنل ها فرموله می شود.
- ❑ کرزول ها (همچنین هیدروکسی تولوئن یا کرسیلیک اسید) گروهی از ترکیبات ارگانیک معطر هستند.
- ❑ آن ها فنل هایی هستند که به طور گسترده یافت می شوند (گاهی اوقات فنولیک نامیده می شوند) که ممکن است طبیعی یا ساخته شده باشند.
- ❑ آن ها همچنین به عنوان متیل فنل ها طبقه بندی می شوند.
- ❑ کرسول ها معمولاً به صورت جامد یا مایع به وجود می آیند زیرا نقطه ذوب آن ها معمولاً به دمای اتاق نزدیک است.
- ❑ مانند سایر انواع فنل ها، آن ها به آرامی با قرار گرفتن در معرض هوا اکسید می شوند و ناخالصی های حاصل اغلب به نمونه ها رنگ زرد تا قرمز مایل به قهوه ای می دهند.
- ❑ کرسول ها بویی شبیه به سایر فنل های ساده دارند که یادآور بوی «قیر زغال سنگ» است.
- ❑ نام «کرزول» ترکیبی از فنل و منبع سنتی آن ها، کرئوزوت است.

Cresylic acid (Xylenol)

- ☐ **Xylenols** are organic compounds with the formula $(\text{CH}_3)_2\text{C}_6\text{H}_3\text{OH}$.
- ☐ They are volatile colorless solids or oily liquids.
- ☐ They are derivatives of phenol with two methyl groups at various positions relative to the hydroxyl group.
- ☐ Six isomers exist, of which 2,6-xylenol with both methyl groups in an ortho position with respect to the hydroxyl group is the most important.
- ☐ The name xylenol is a portmanteau of the words xylene and phenol.

☐ زایلنول‌ها ترکیبات آلی با فرمول $(\text{CH}_3)_2\text{C}_6\text{H}_3\text{OH}$ هستند.

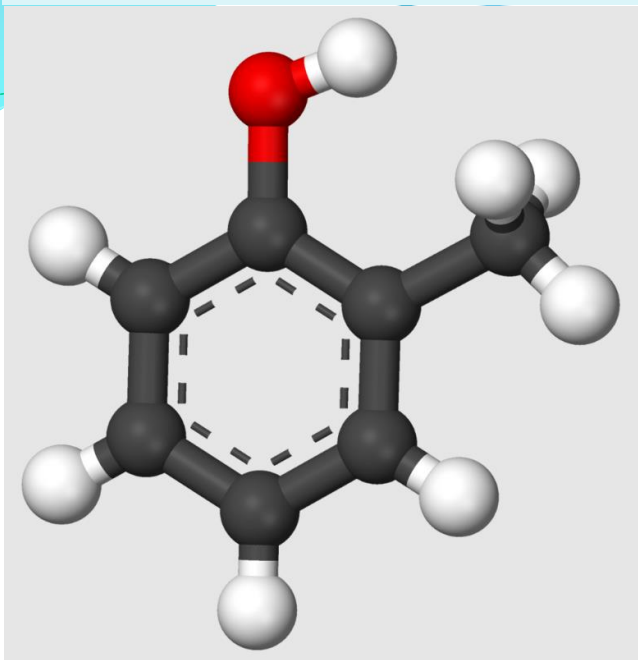
☐ آن‌ها جامدات بی‌رنگ فرار یا مایعات روغنی هستند.

☐ آن‌ها مشتقات فنل با دو گروه متیل در موقعیت‌های مختلف نسبت به گروه هیدروکسیل هستند.

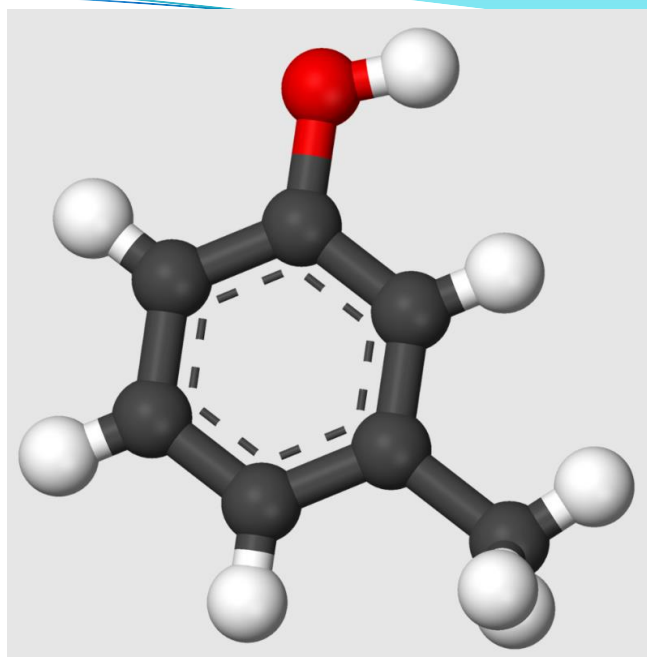
☐ شش ایزومر وجود دارند که ۲،۶-زایلنول با هر دو گروه متیل در موقعیت ارتو نسبت به گروه هیدروکسیل مهم‌ترین آن‌هاست.

☐ نام زایلنول ترکیبی از دو کلمه زایلن و فنل است.

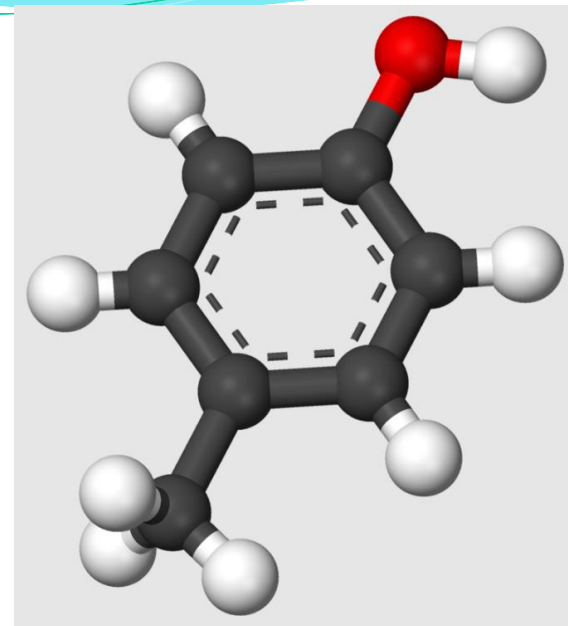
Cresylic acid (C_7H_8O)



Ortho-cresol-3D-balls



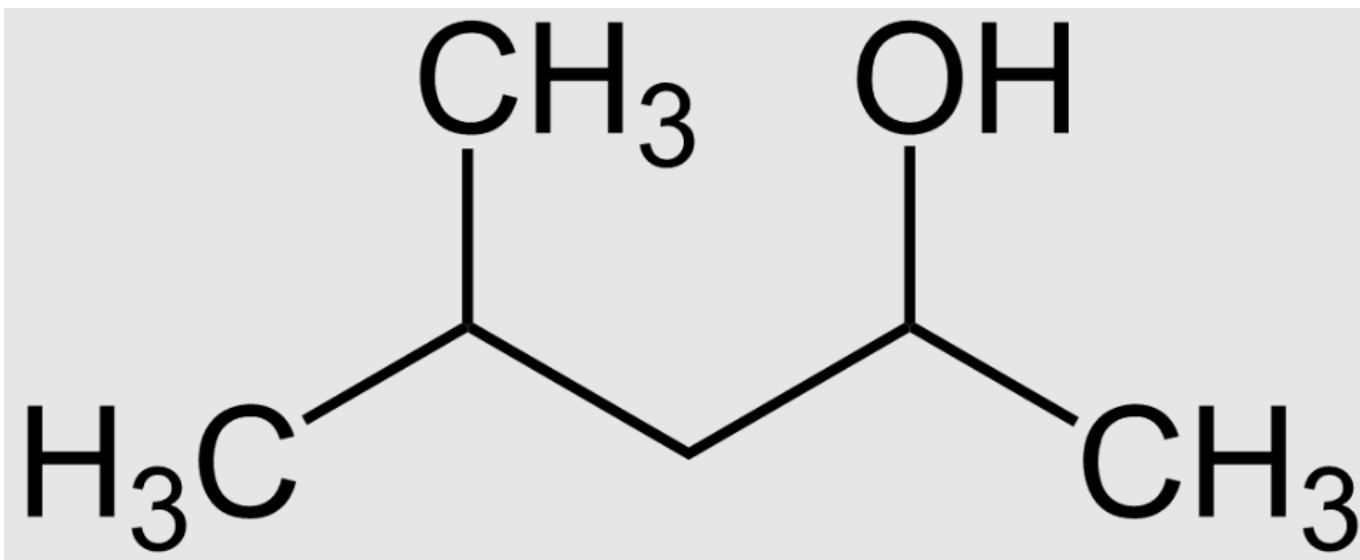
Meta-cresol-3D-balls



Para-cresol-3D-balls

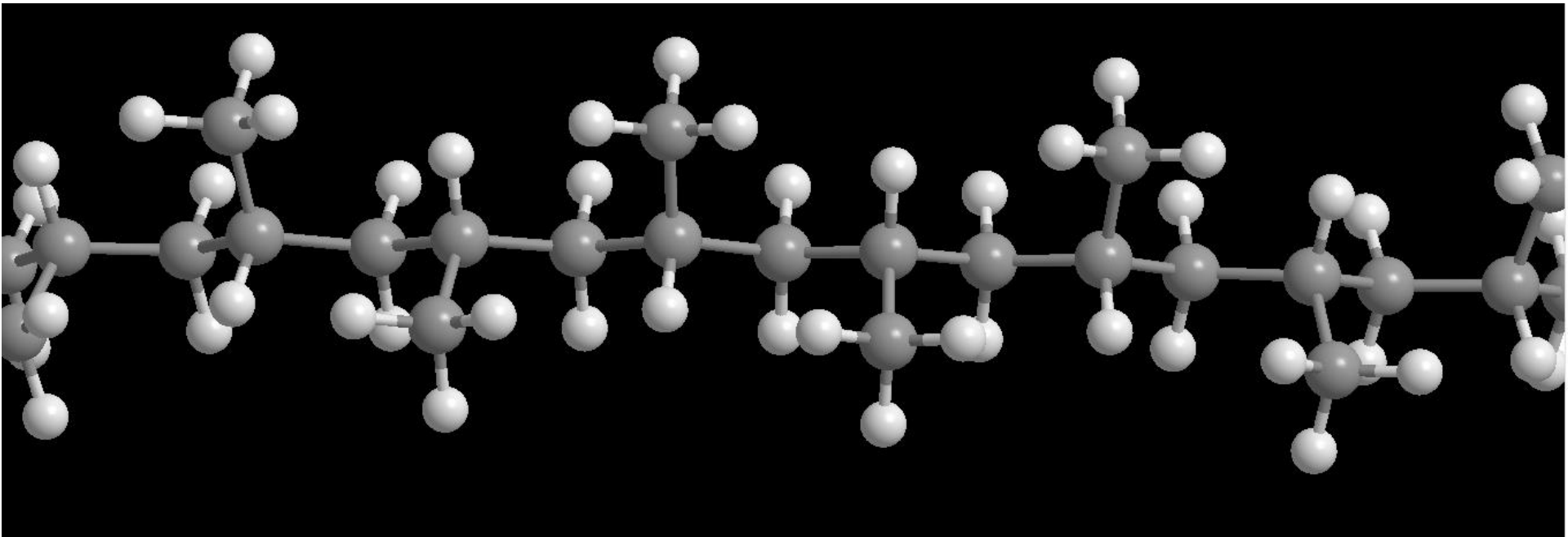
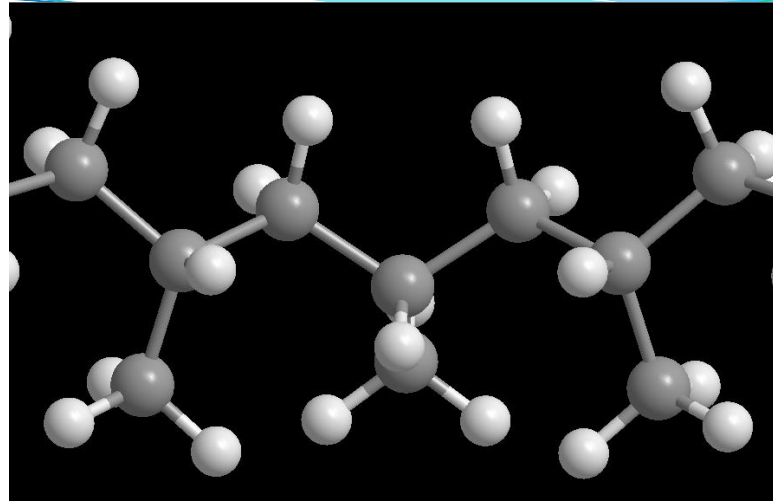
MIBC (Methyl isobutyl carbinol)

4-Methyl-2-pentanol (IUPAC name: 4-methylpentan-2-ol) or methyl isobutyl carbinol (MIBC)



Polyglycols (Polypropylene)

Polypropylene $(C_3H_6)_n$

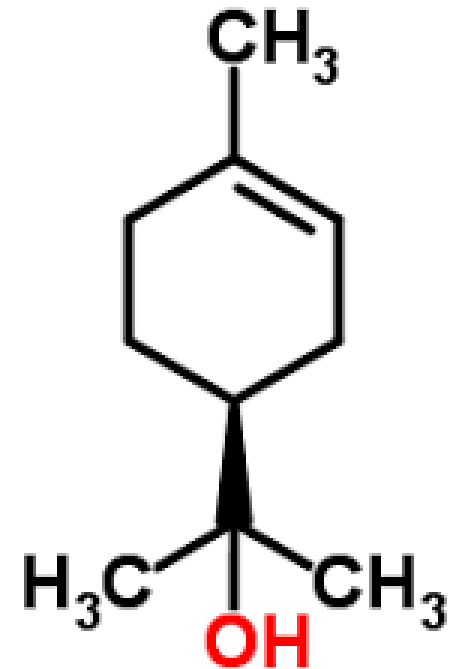
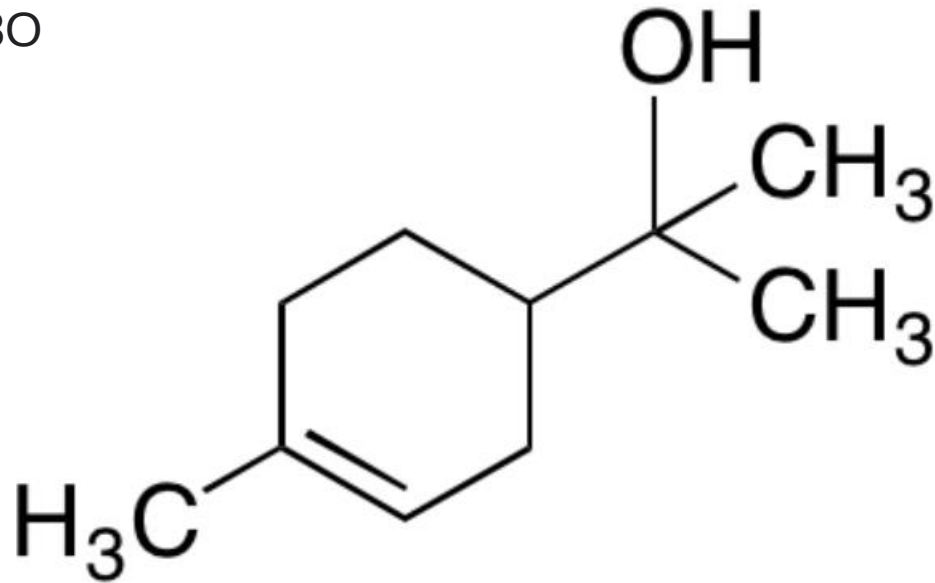


روغن کاج (Pine oil) (Terpineol)

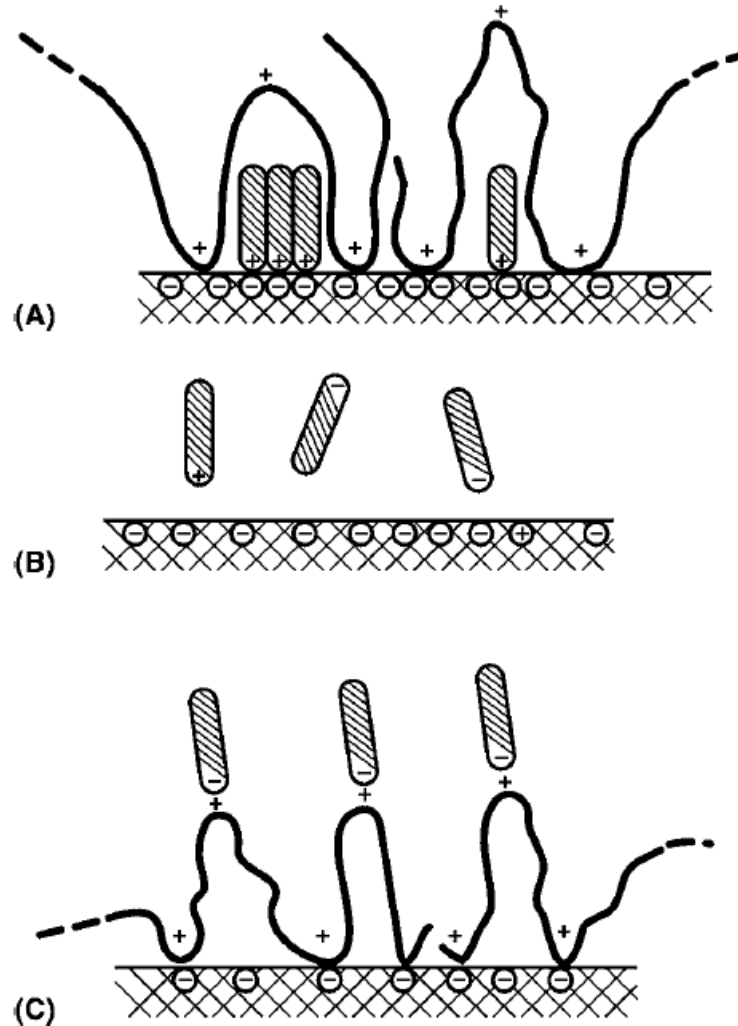


روغن کاج (Pine oil) (Terpineol)

Terpineol: C₁₀H₁₈O



فلوتاسيون



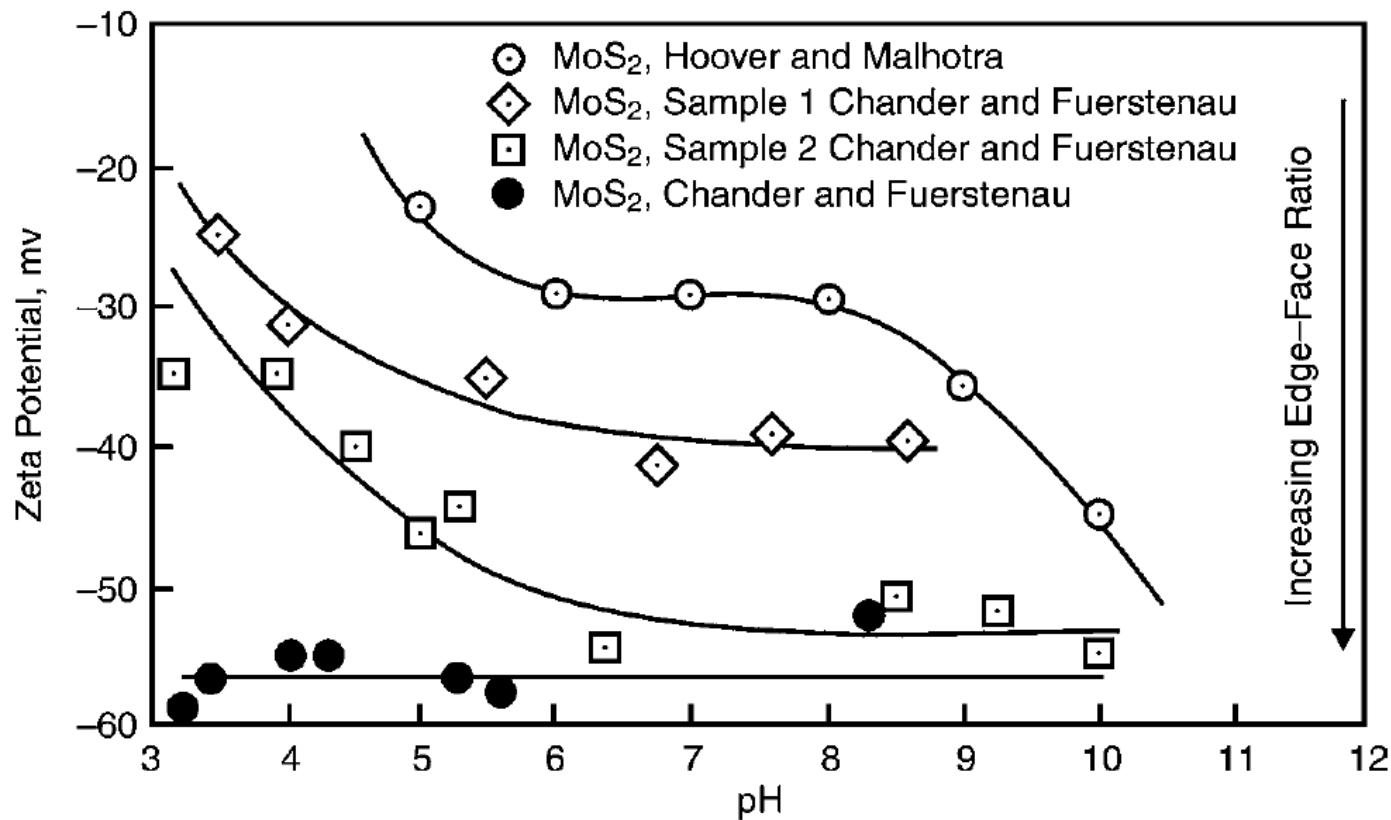
Source: Somasundaran and Cleverdon 1985.

FIGURE 8.9 (A) Schematic of the cationic polymer PAMA and dodecylamine co-adsorption on quartz particles resulting in their flotation depression, (B) schematic representation of quartz/dodecyl sulfonate system, (C) schematic representation of the cationic polymer PAMA and dodecyl sulfonate co-adsorption on quartz particles resulting in their flotation activation

TABLE 8.13 Naturally hydrophobic minerals and their respective contact angles

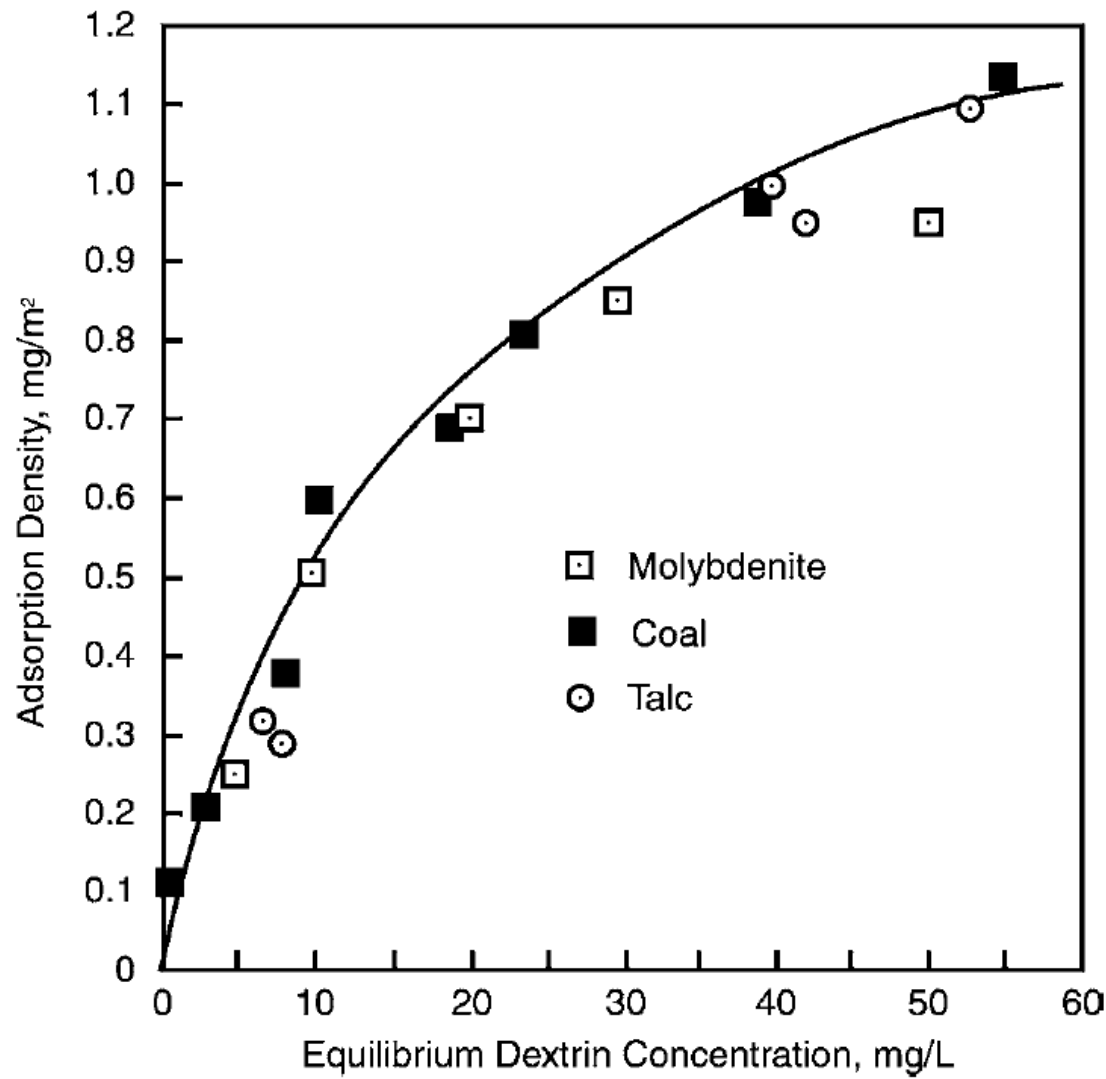
Mineral	Composition	Surface Plane	Contact Angle, degree
Graphite	C	0001	86
Coal	Complex HC		20–60
Sulfur	S		85
Molybdenite	MoS ₂	0001	75
Stibnite	Sb ₂ S ₃	010	
Pyrophyllite	Al ₂ (Si ₄ O ₁₀)(OH) ₂	001	
Talc	Mg ₃ (Si ₄ O ₁₀)(OH) ₂	001	88
Iodyrite	AgI		20

Source: Gaudin, Miaw, and Spedden 1957; Derjaguin and Shukakidse 1960–1961; Arbiter et al. 1975; Chander, Wie, and Fuerstenau 1975.



Source: Chander and Fuerstenau 1972; Hoover and Malhotka 1976.

FIGURE 8.10 Zeta potentials of various samples of molybdenite and molybdc oxide as a function of pH



Source: Miller, Laskowski, and Change 1983.

FIGURE 8.11 Adsorption isotherm of dextrin on various naturally hydrophobic minerals

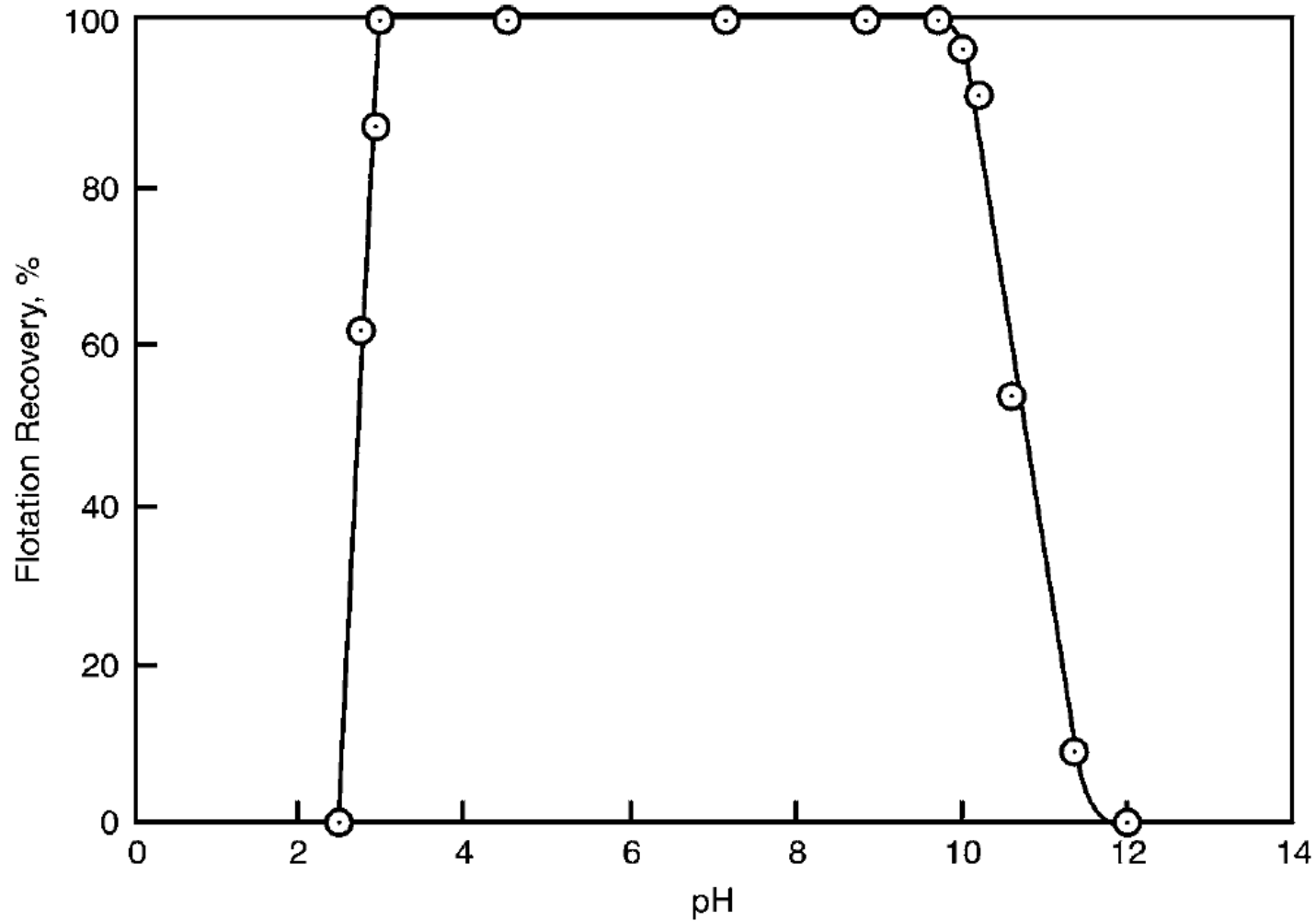
TABLE 8.14 Rest potentials and products of interaction of sulfide minerals with 6.25×10^{-4} mol/L ethyl xanthate at pH 7

Mineral	Rest Potential, v*	Product
Pyrite	0.22	Dixanthogen
Arsenopyrite	0.22	Dixanthogen
Pyrrhotite	0.21	Dixanthogen
Chalcopyrite	0.14	Dixanthogen
Bornite	0.06	Metal xanthate
Galena	0.06	Metal xanthate

Source: Allison et al. 1972.

*Reference, S.C.E., standard calomel electrode.

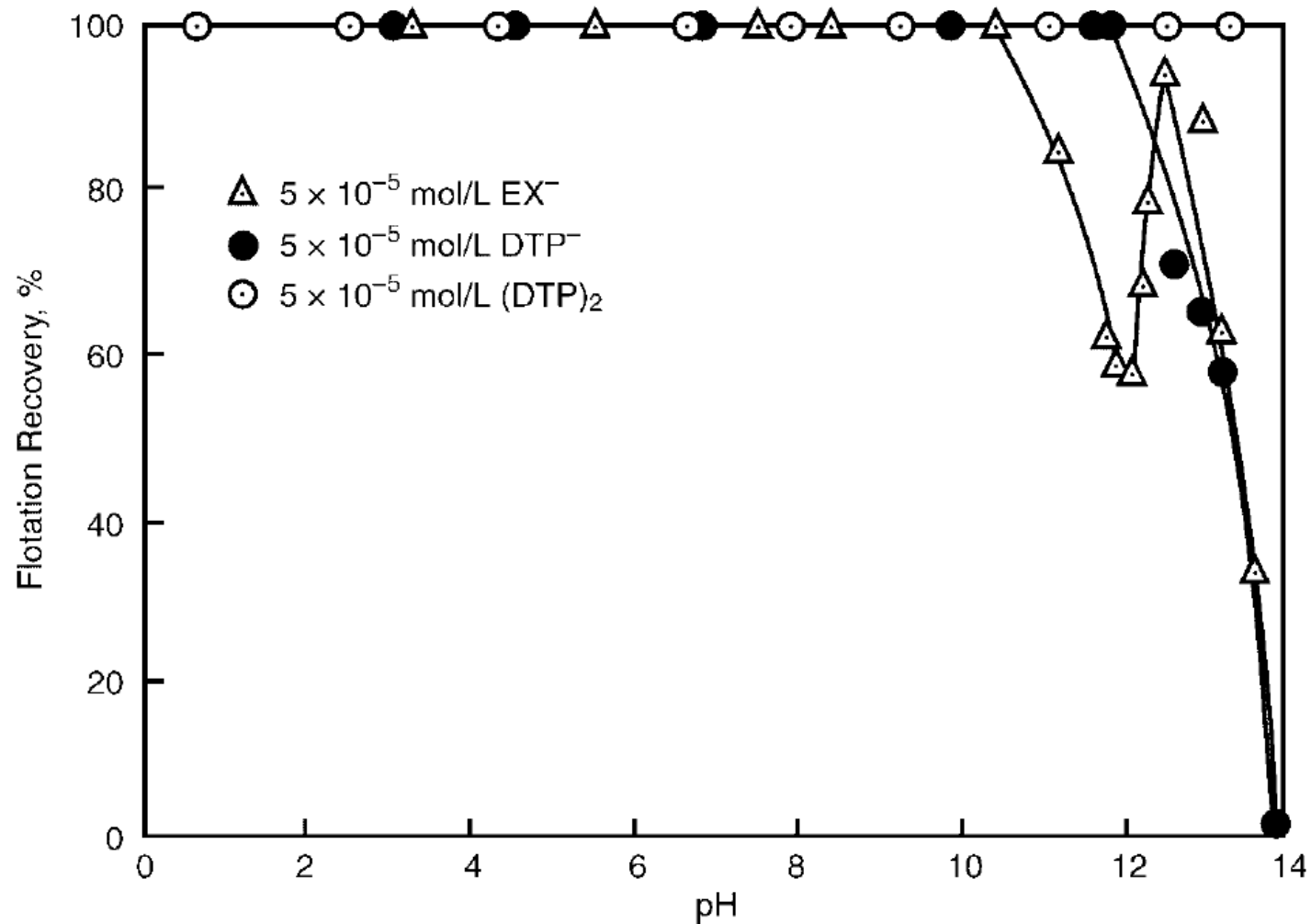
فلوتاسيون



Source: Fuerstenau, Miller, and Kuhn 1985.

FIGURE 8.12 Flotation recovery of galena as a function of pH with 1×10^{-5} mol/L ethyl xanthate in the presence of air

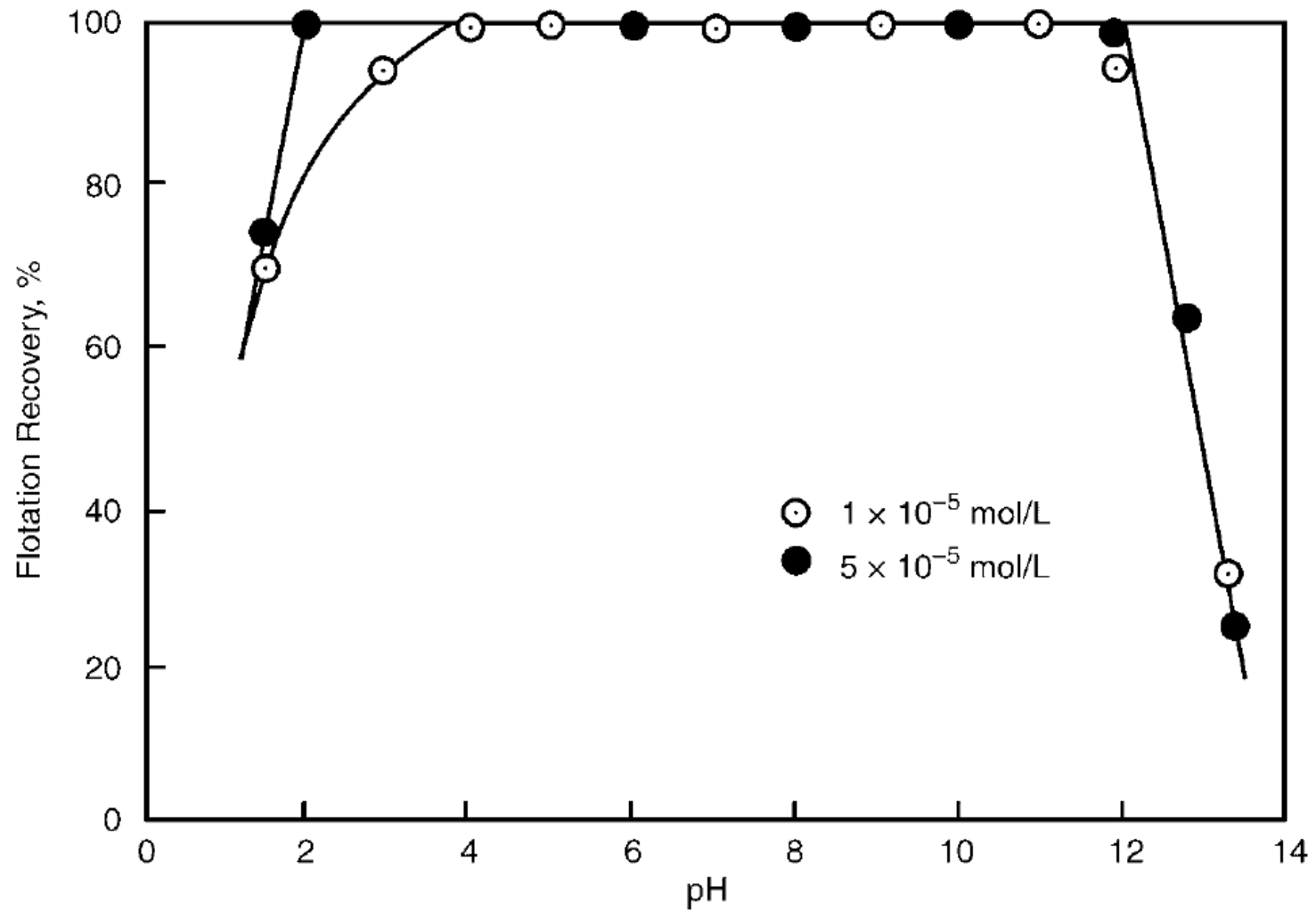
فلوتاسيون



Source: Fuerstenau, Huiatt, and Kuhn 1971.

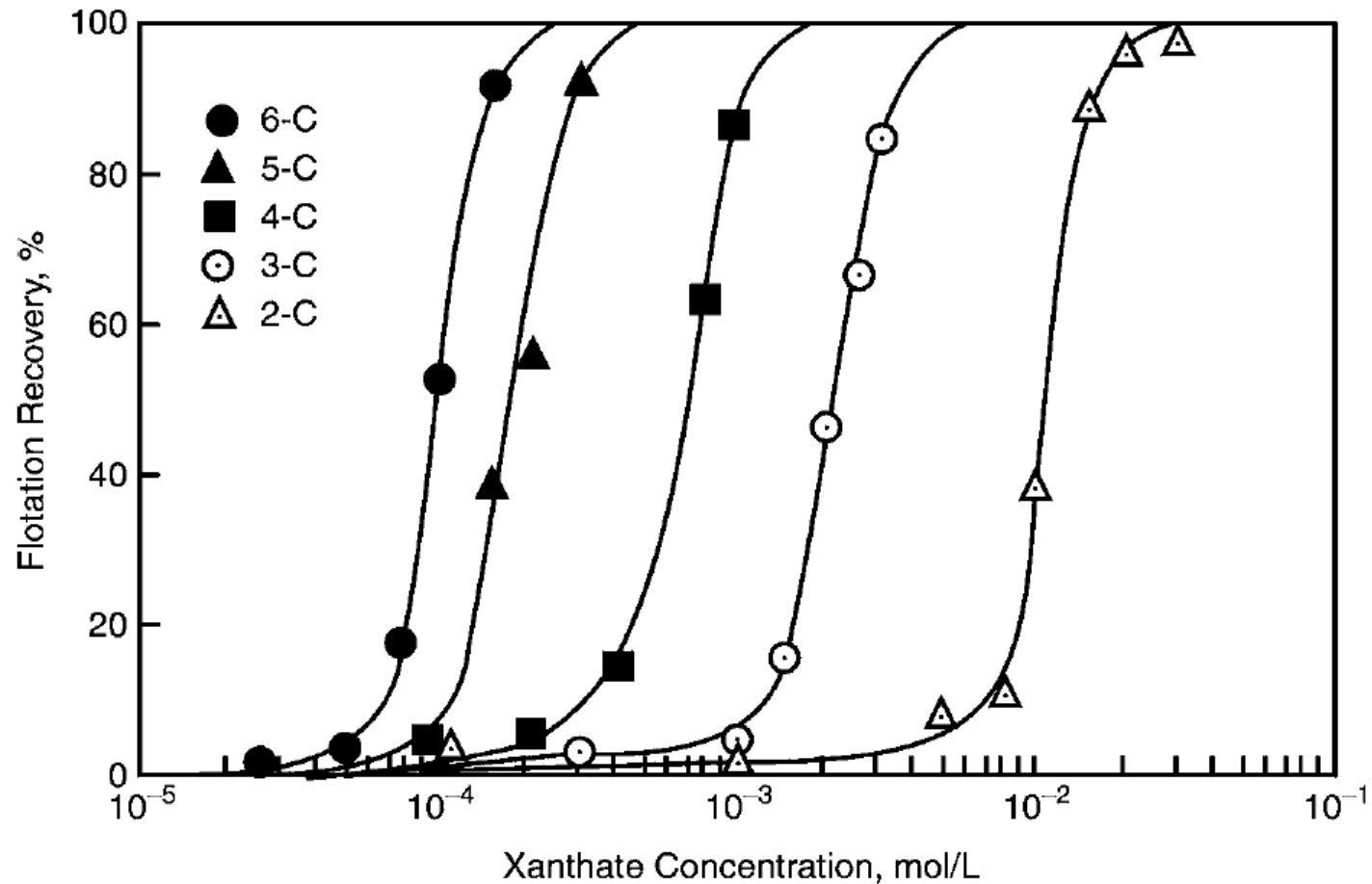
FIGURE 8.13 Flotation recovery of chalcocite as a function of pH with various additions of ethyl xanthate, diethyl dithiophosphate, and diethyl dithiophosphatogen

فلوتاسيون



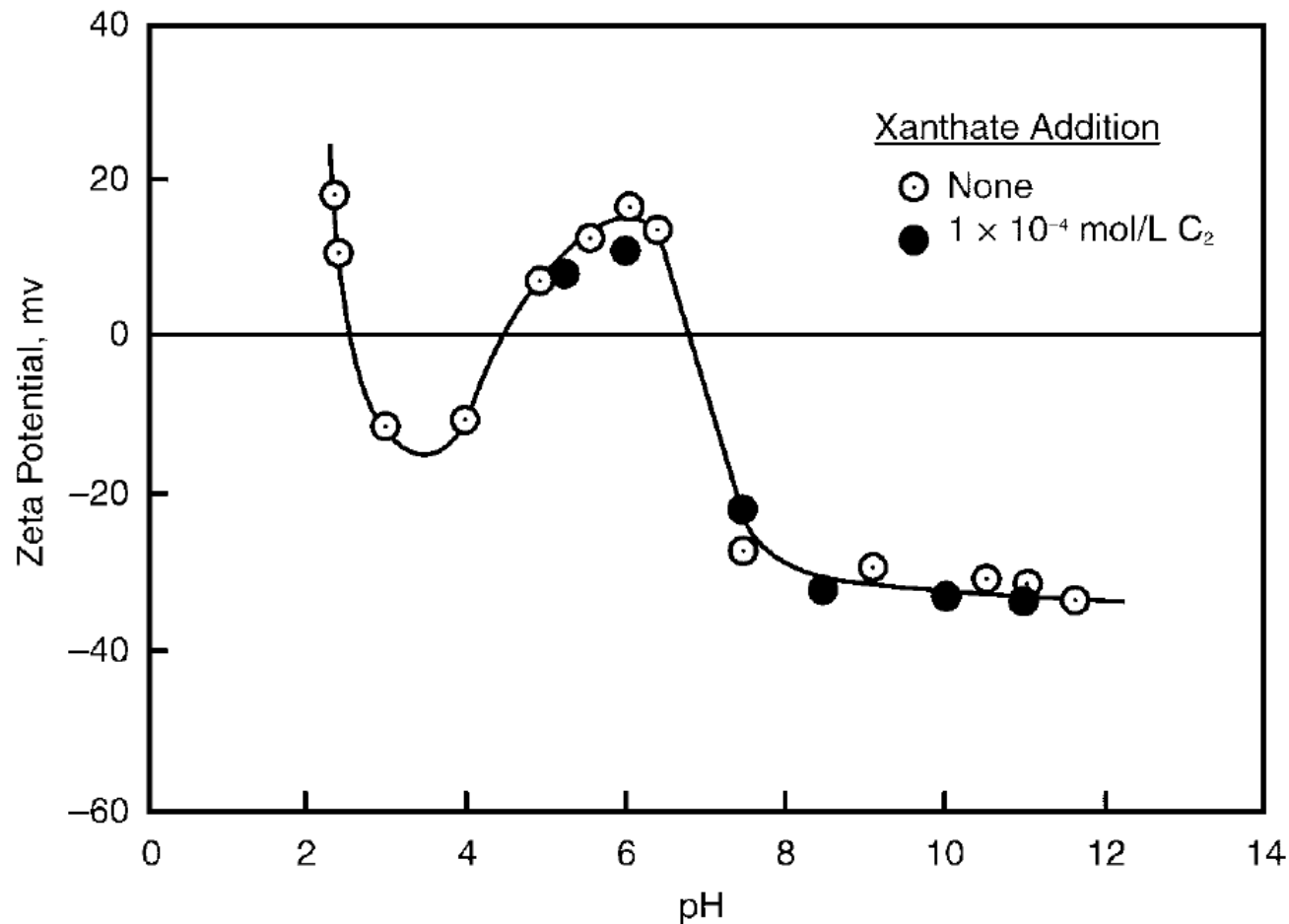
Source: Fuerstenau, Miller, and Kuhn 1985.

FIGURE 8.14 Flotation recovery of chalcopyrite as a function of pH with two additions of ethyl xanthate



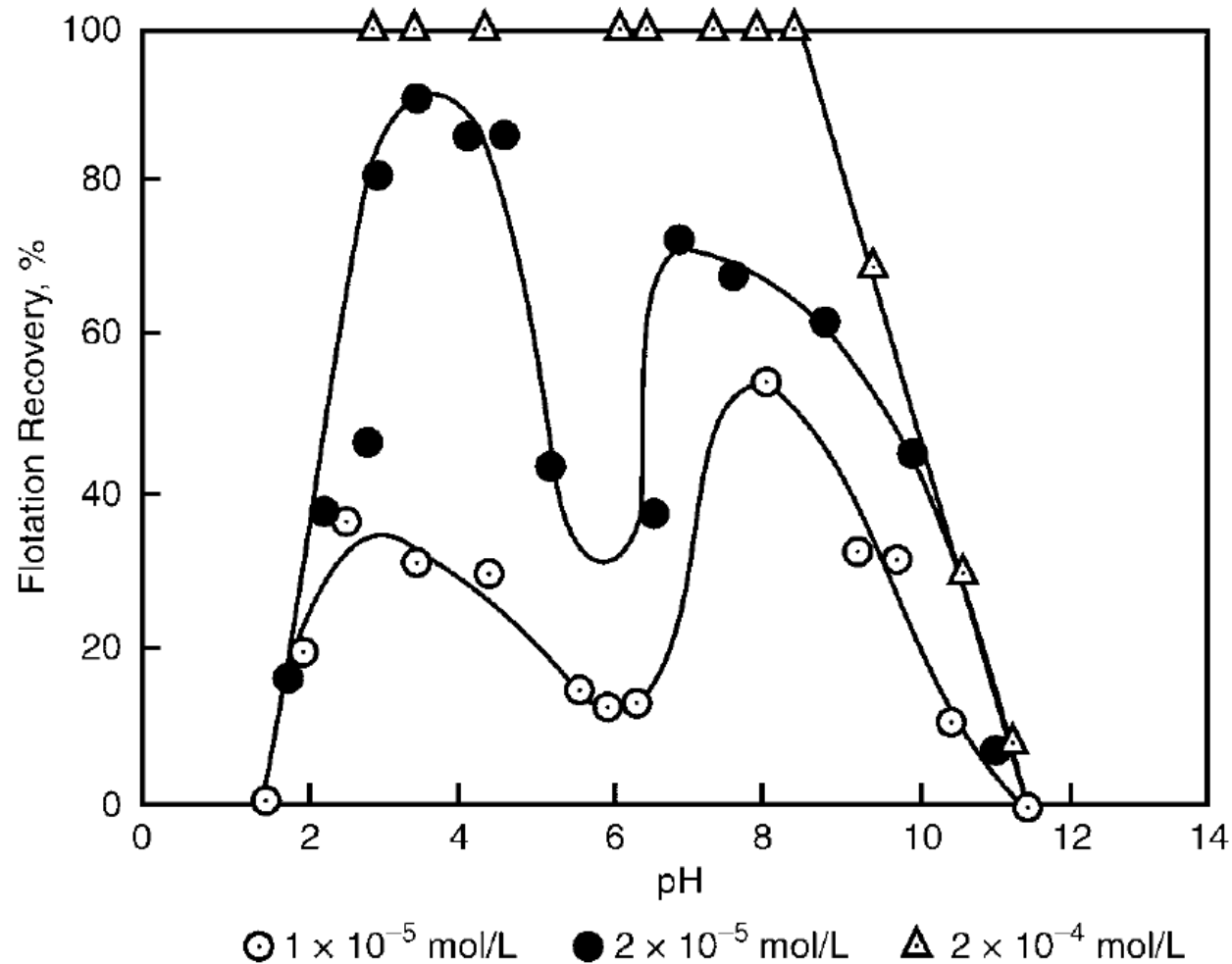
Source: Fuerstenau, Clifford, and Kuhn 1974.

FIGURE 8.15 Flotation recovery of sphalerite as a function of xanthate concentration and hydrocarbon chain length at pH 3.5



Source: Fuerstenau, Kuhn, and Elgillani 1968.

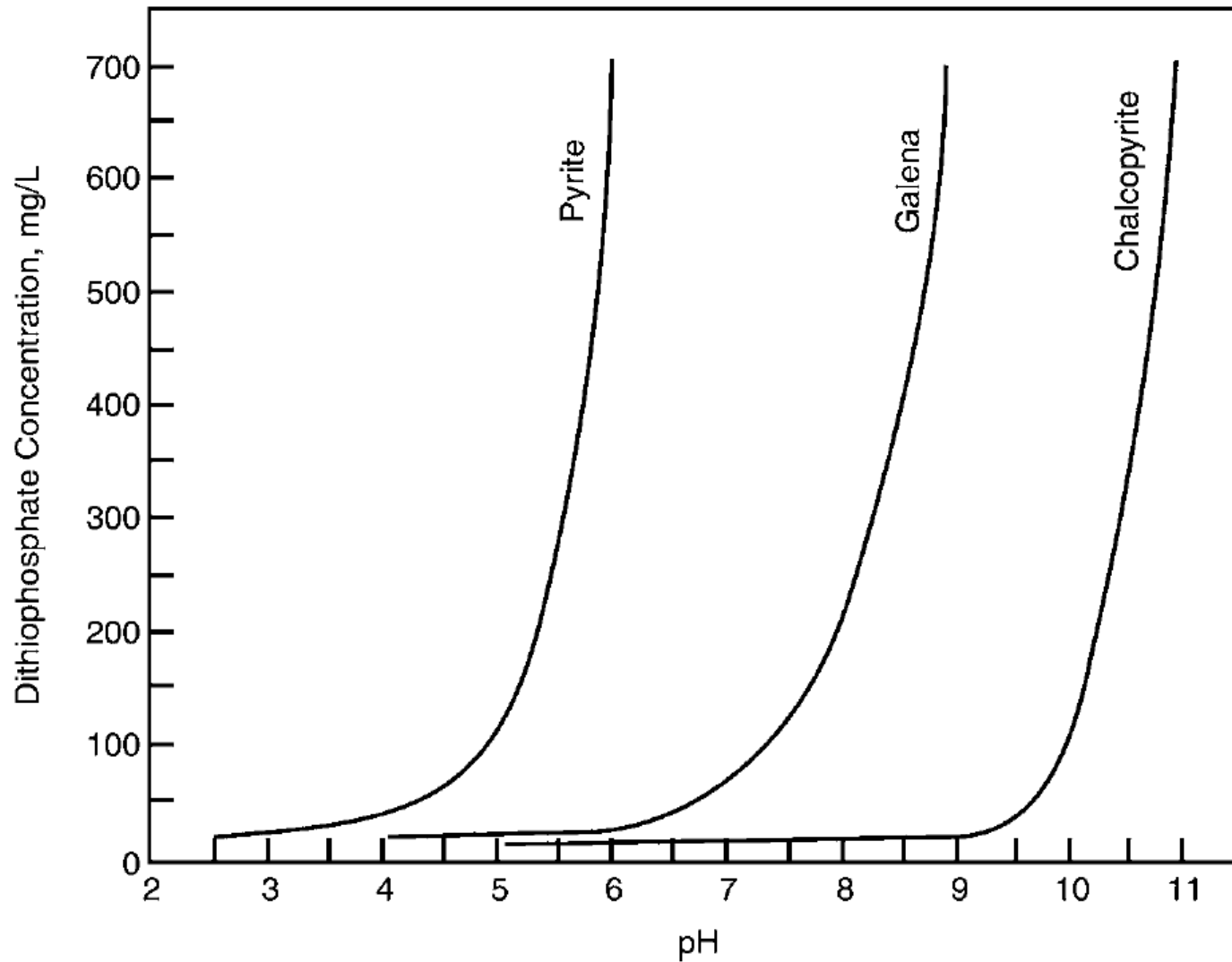
FIGURE 8.16 Zeta potential of pyrite as a function of pH in the absence and presence of ethyl xanthate in the presence of air



Source: Fuerstenau, Kuhn, and Elgillani 1968.

FIGURE 8.17 Flotation recovery of pyrite as a function of pH with various additions of ethyl xanthate

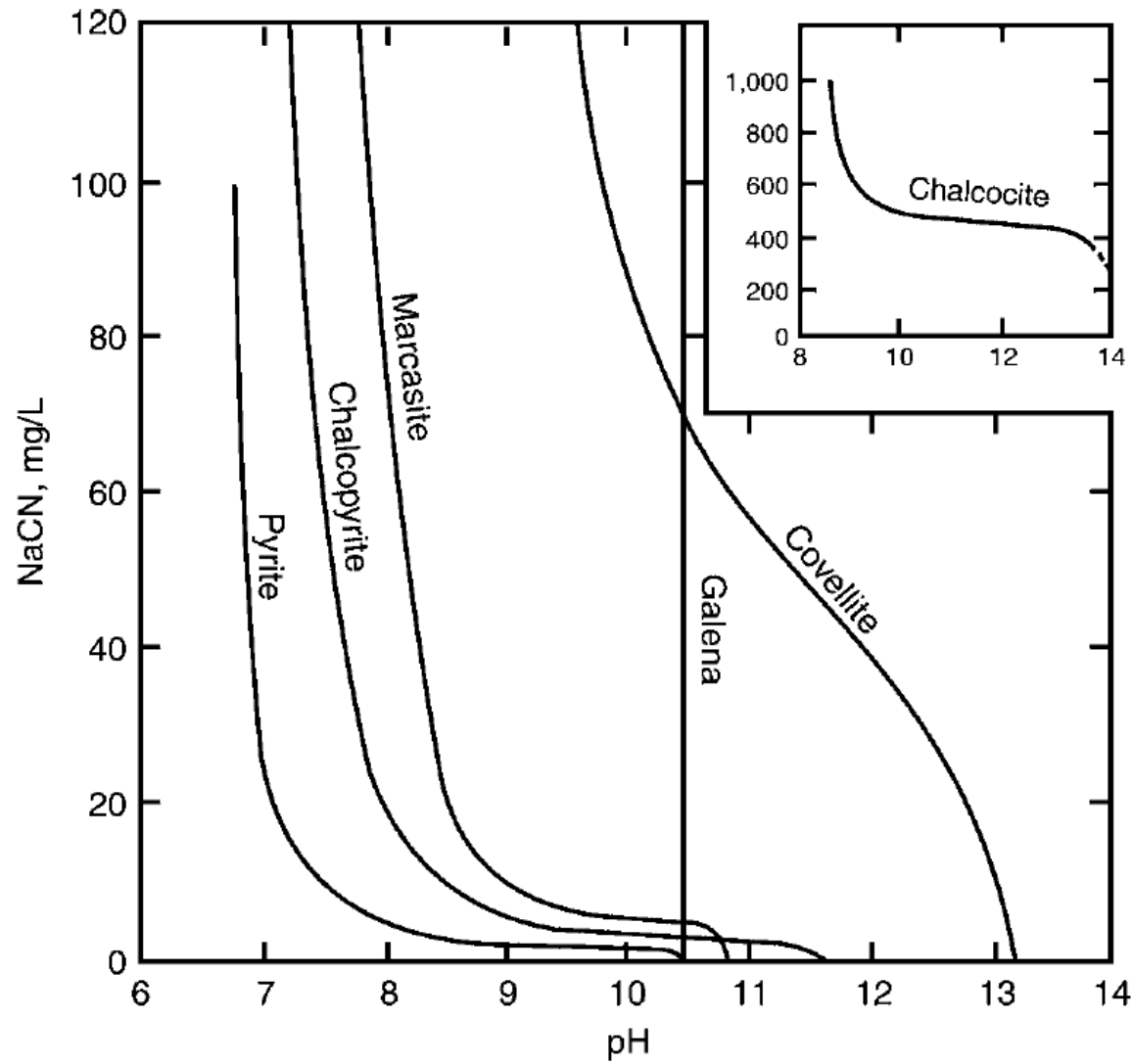
فلوتاسيون



Source: Wark and Cox 1934.

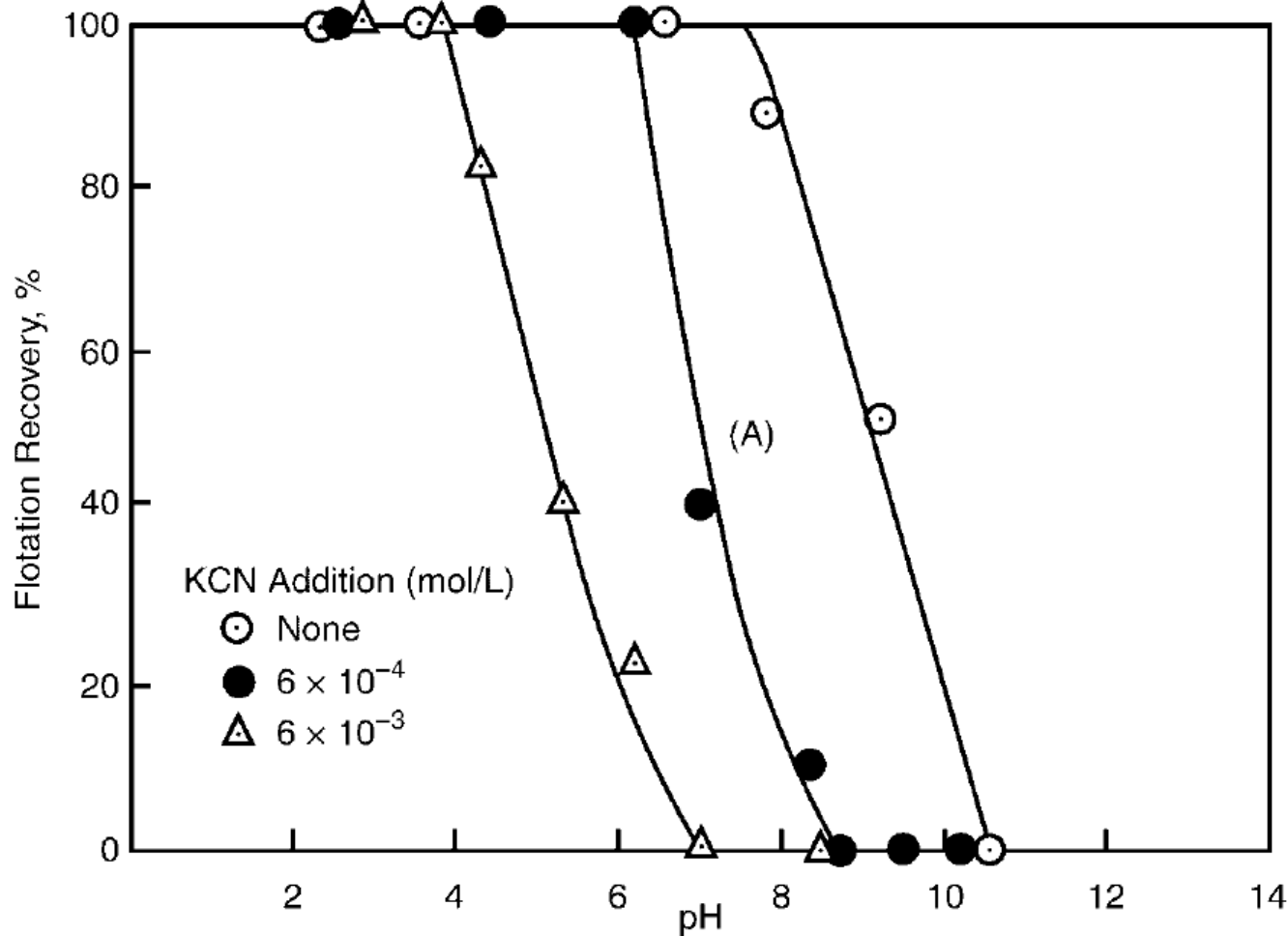
FIGURE 8.18 Bubble contact curves for several sulfide minerals as a function of diethyl dithiophosphate concentration and pH

فلوتاسيون



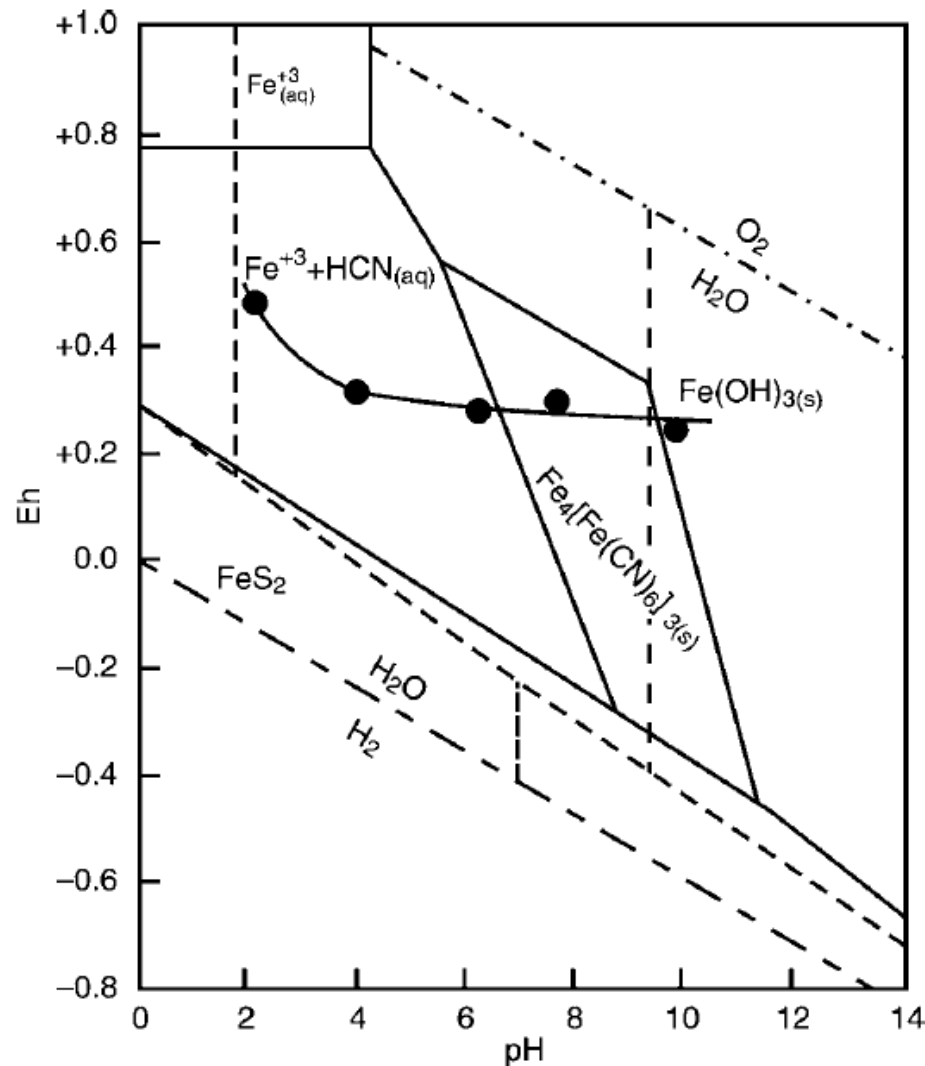
Source: Sutherland and Wark 1955.

FIGURE 8.20 Bubble contact curves for several sulfide minerals



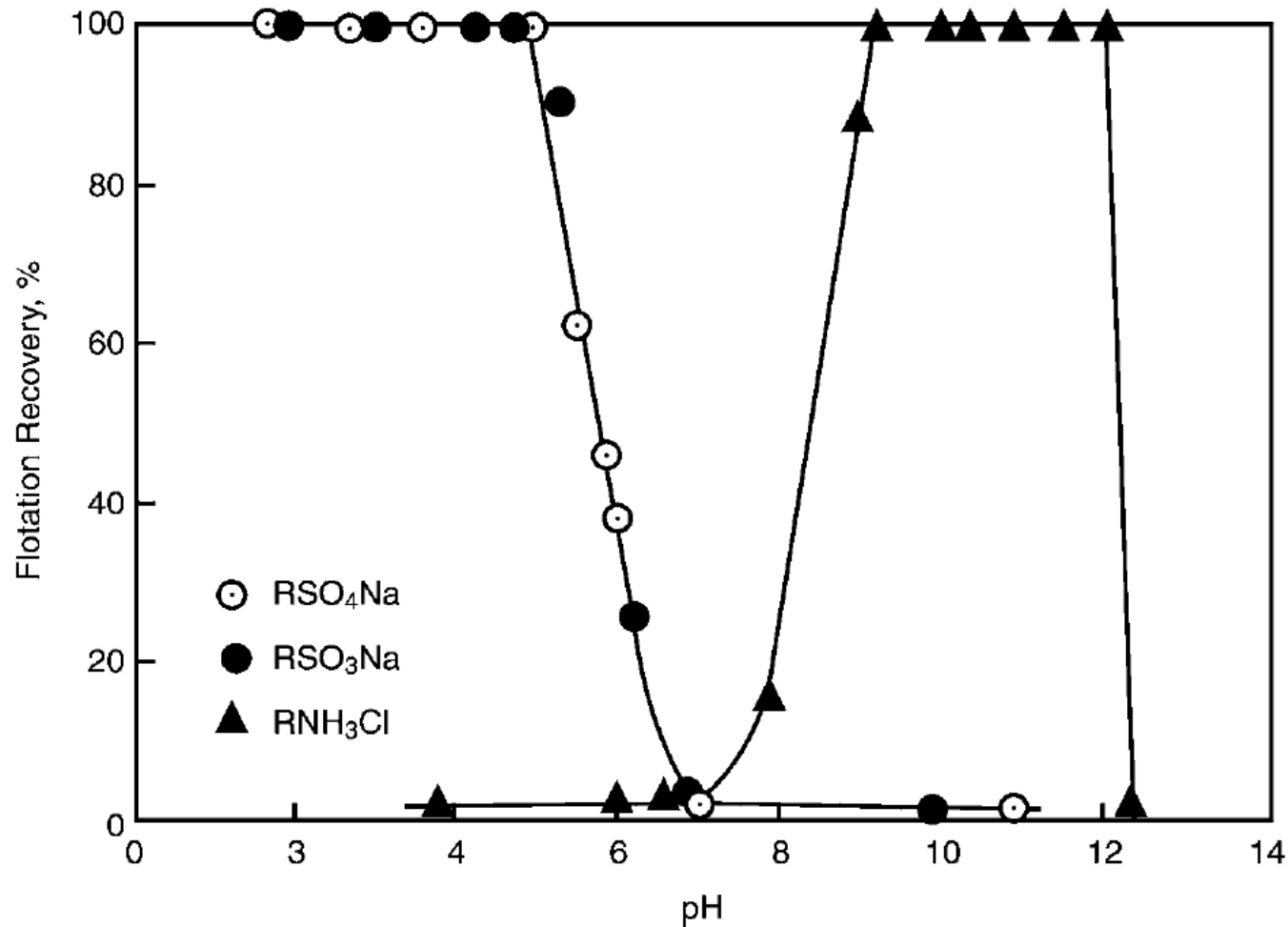
Source: Elgillani and Fuerstenau 1968.

FIGURE 8.21 Flotation recovery of pyrite as a function of pH with 5×10^{-4} mol/L ethyl xanthate in the absence and presence of cyanide



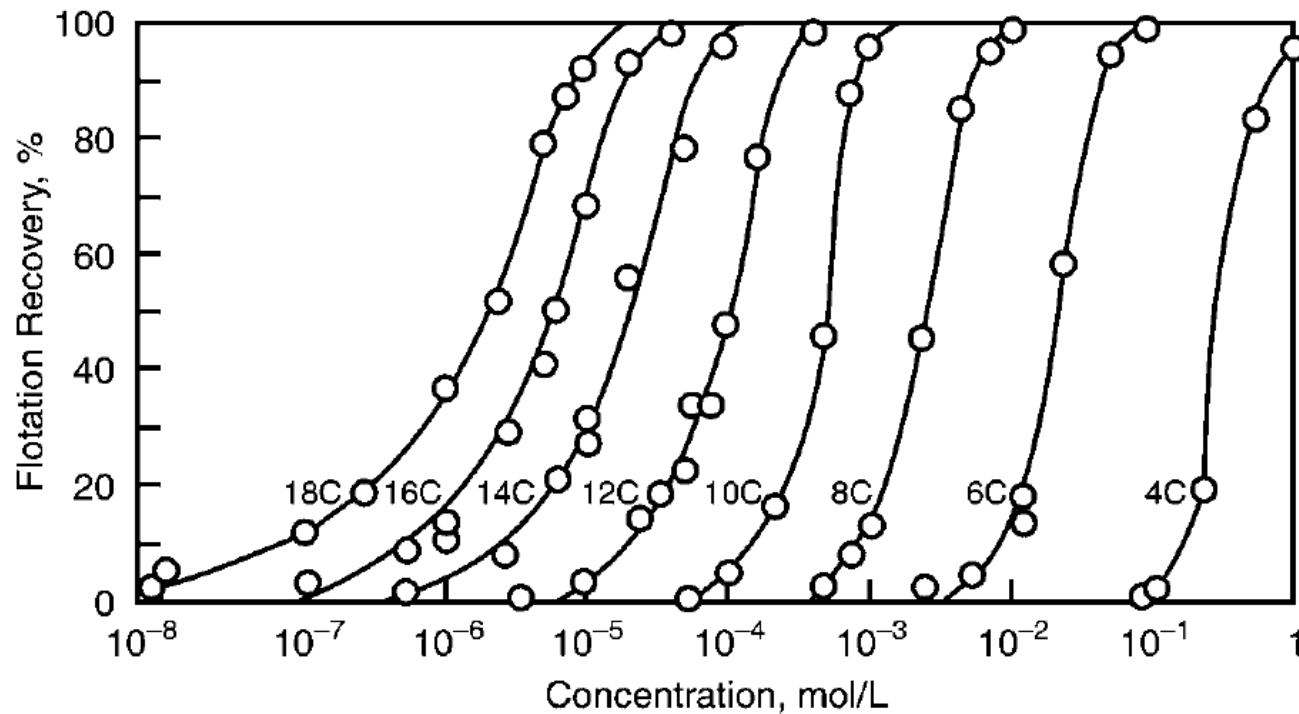
Source: Elgillani and Fuerstenau 1968.

FIGURE 8.22 Stability of FeS_2 , Fe(OH)_3 , and $\text{Fe}_4[\text{Fe(CN)}_6]_3$ at 3×10^{-4} mol/L total dissolved sulfur, 5×10^{-5} mol/L total dissolved iron, and 6×10^{-4} mol/L cyanide addition. Black circles indicate Eh values corresponding to Curve A in Figure 8.21.



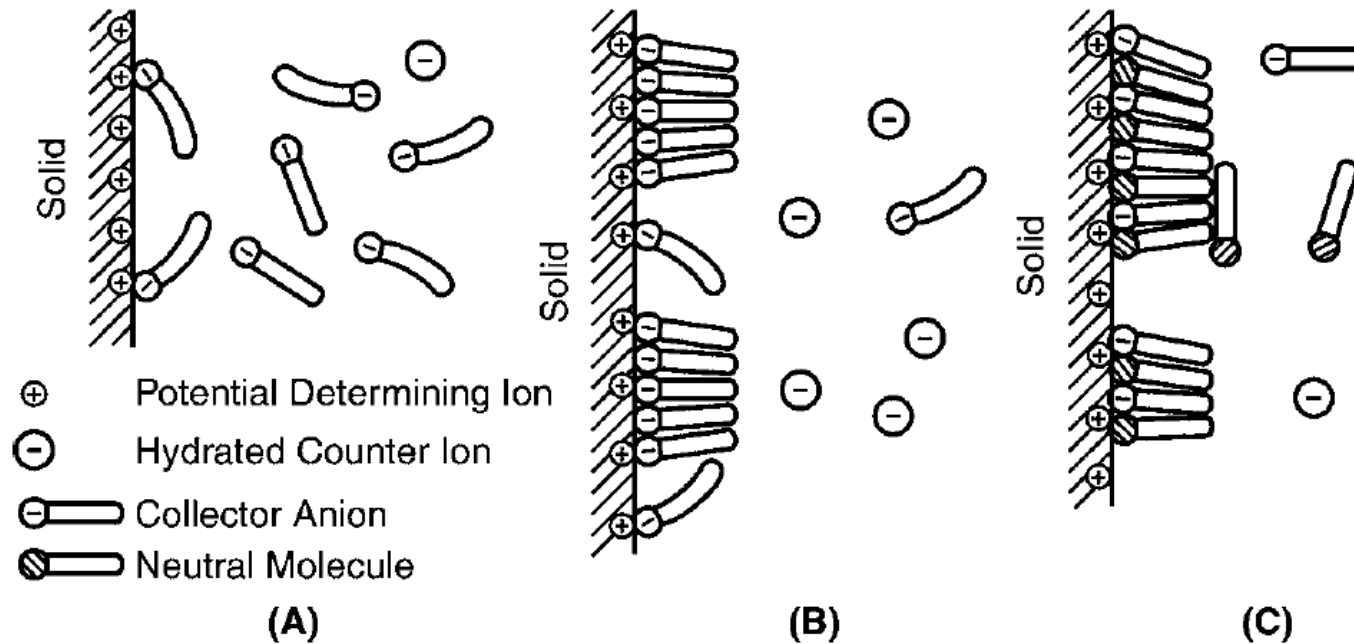
Source: Iwasaki, Cooke, and Colombo 1960.

FIGURE 8.23 Flotation recovery of goethite as a function of pH with 1×10^{-3} mol/L additions of cationic and anionic collectors



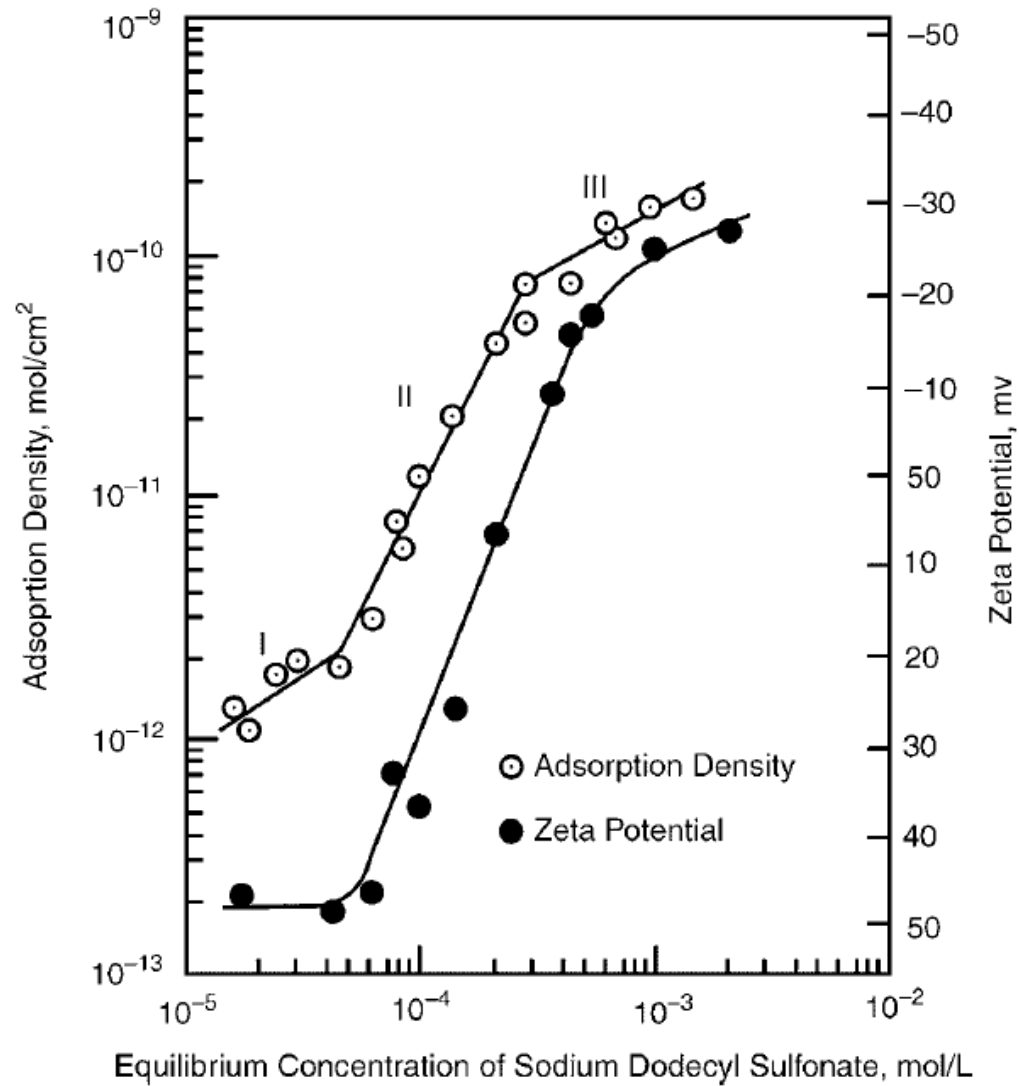
Source: Fuerstenau, Healy, and Somasundaran 1964.

FIGURE 8.24 The effect of hydrocarbon chain length on relative flotation response of quartz in the presence of various ammonium acetates at neutral pH



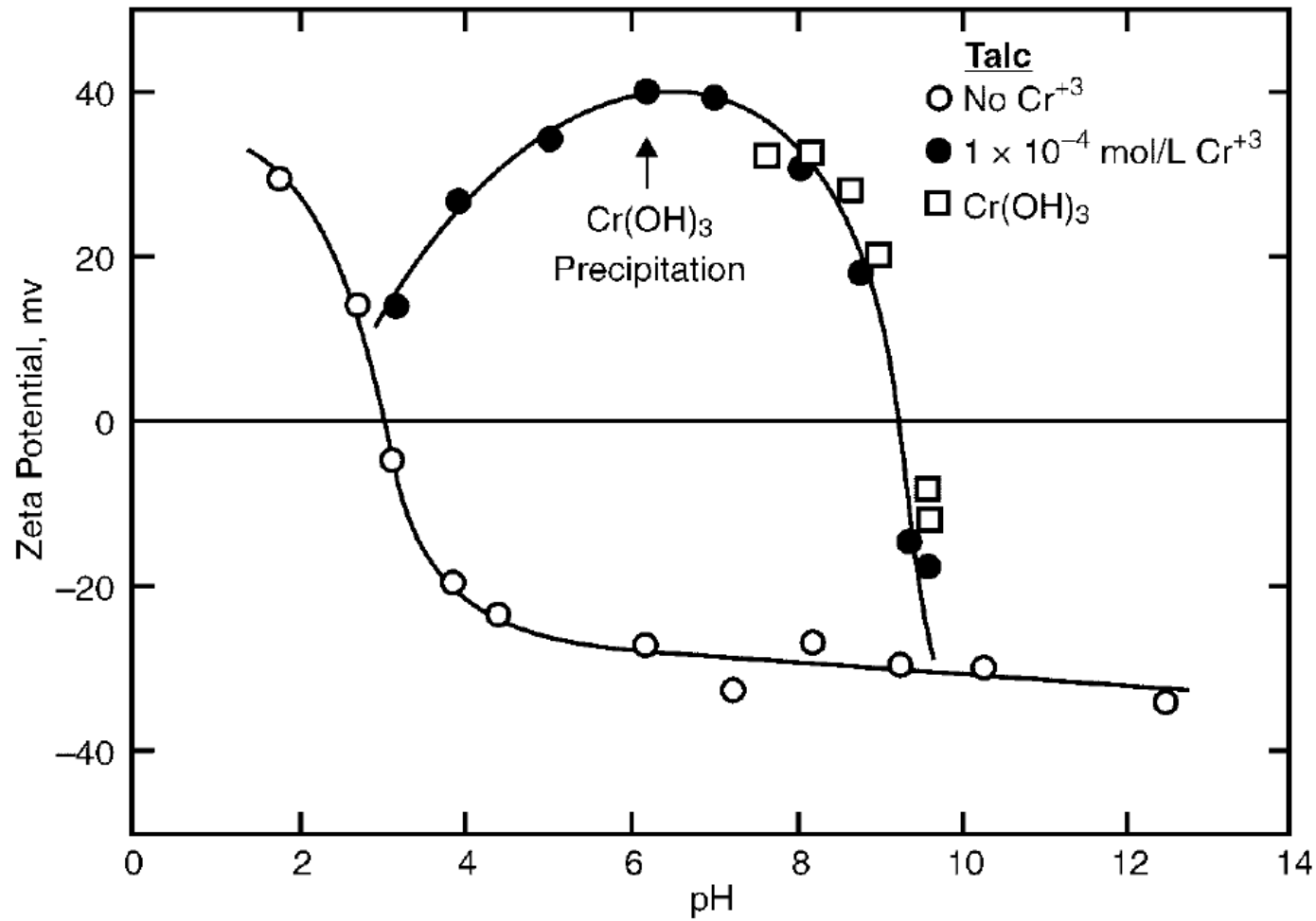
Source: Aplan and Fuerstenau 1962.

FIGURE 8.25 Schematic representation of the electrical double layer in the presence of surface-active organic compounds: (A) adsorption as single ions at low collector concentration, (B) hemimicelle formation at higher concentration, and (C) co-adsorption of collector ions and neutral molecules



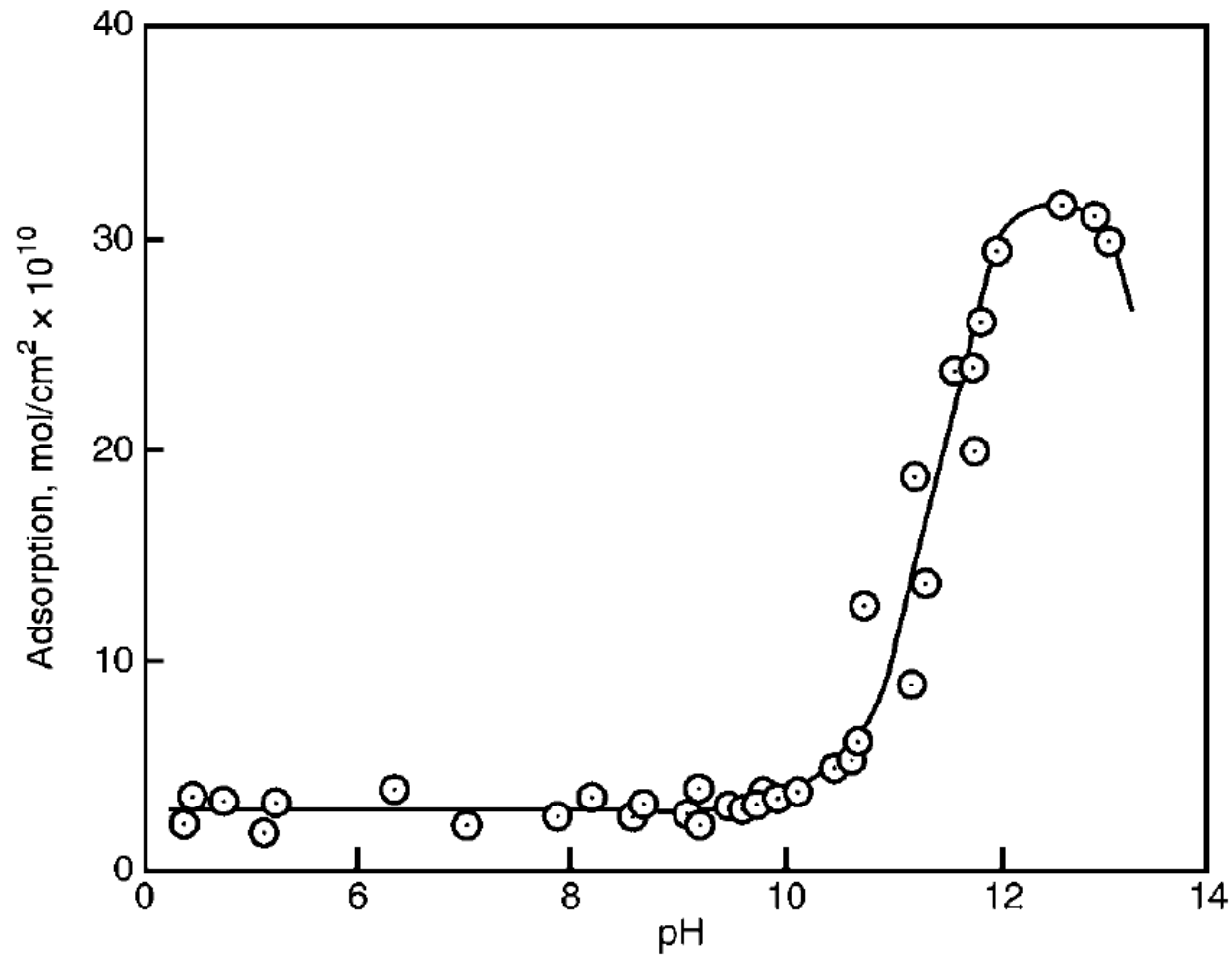
Source: Wakamatsu and Fuerstenau 1973.

FIGURE 8.26 Adsorption density and zeta potential of alumina as a function of dodecyl sulfonate concentration at pH 7.2 and 2×10^{-3} mol/L ionic strength



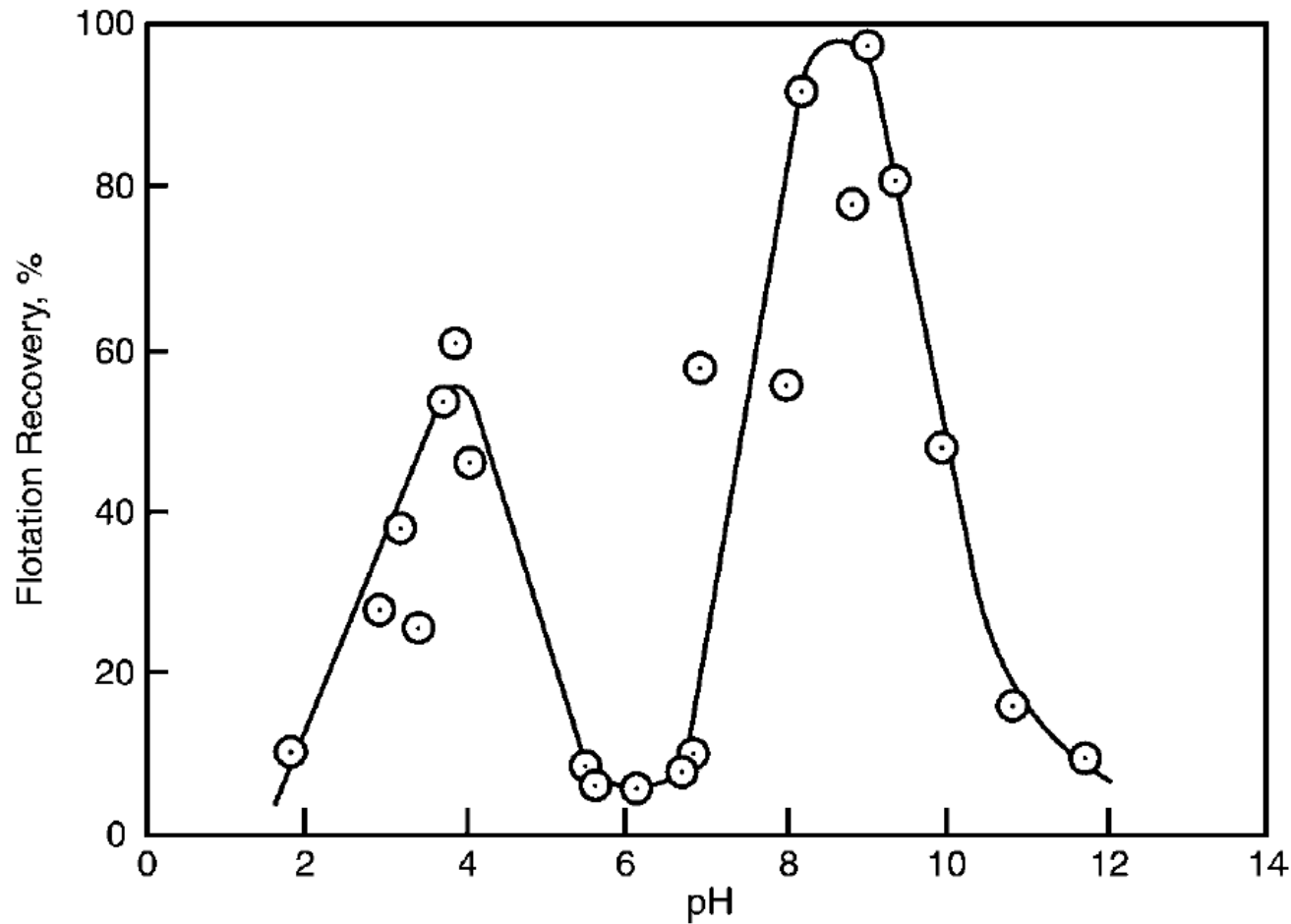
Source: Fuerstenau, Valdivieso, Fuerstenau 1988.

FIGURE 8.29 Zeta potential of talc and precipitated Cr(OH)_3 as a function of pH



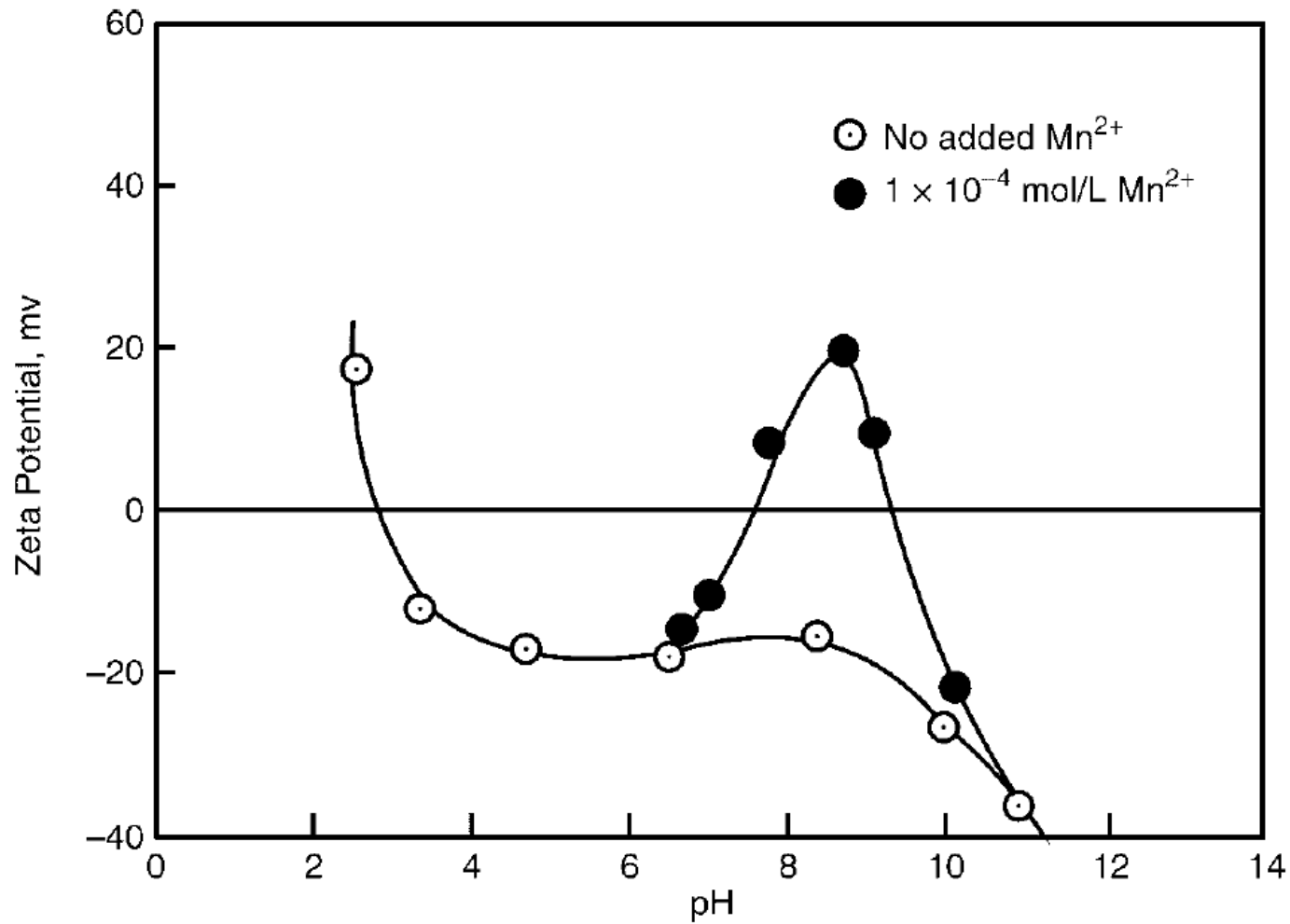
Source: Clark and Cooke 1968.

FIGURE 8.30 Adsorption of calcium species on quartz as a function of pH from solutions containing 100 ppm in Ca^{2+}



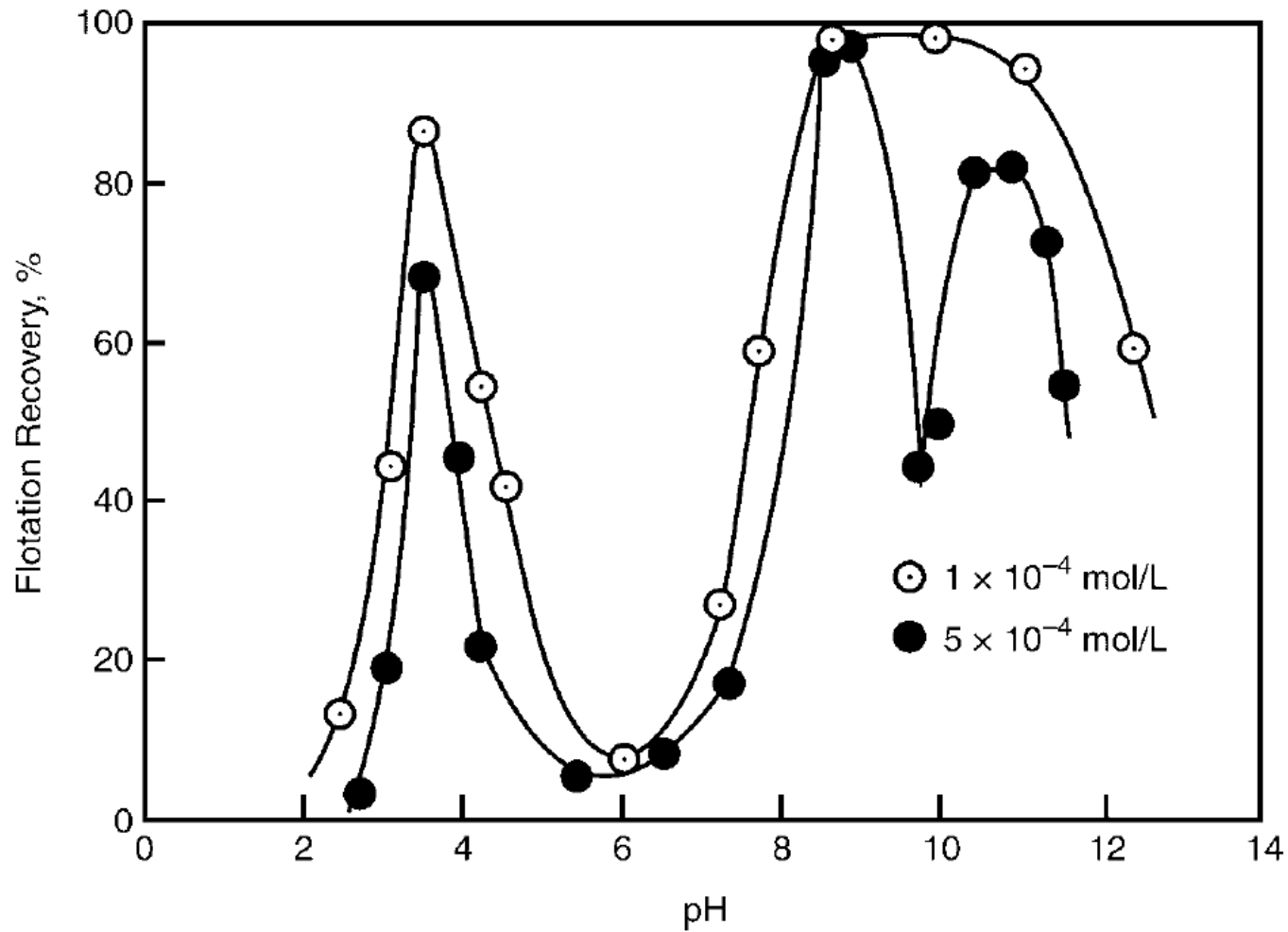
Source: Fuerstenau and Rice 1968.

FIGURE 8.31 Flotation recovery of pyrolusite as a function of pH with 1×10^{-4} mol/L oleate



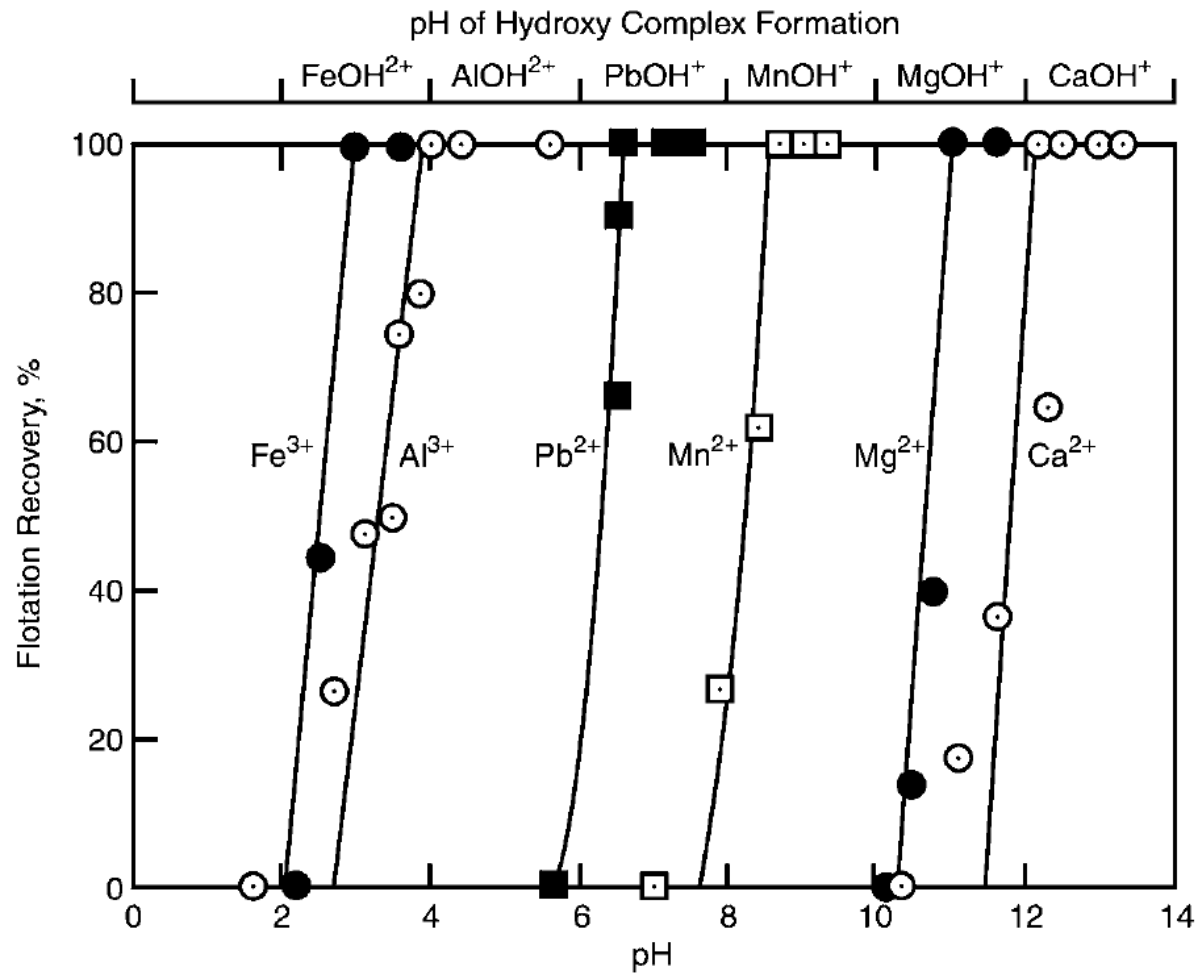
Source: Palmer, Gutierrez, and Fuerstenau 1975.

FIGURE 8.33 Zeta potential of rhodonite as a function of pH in the absence and presence of Mn^{2+}



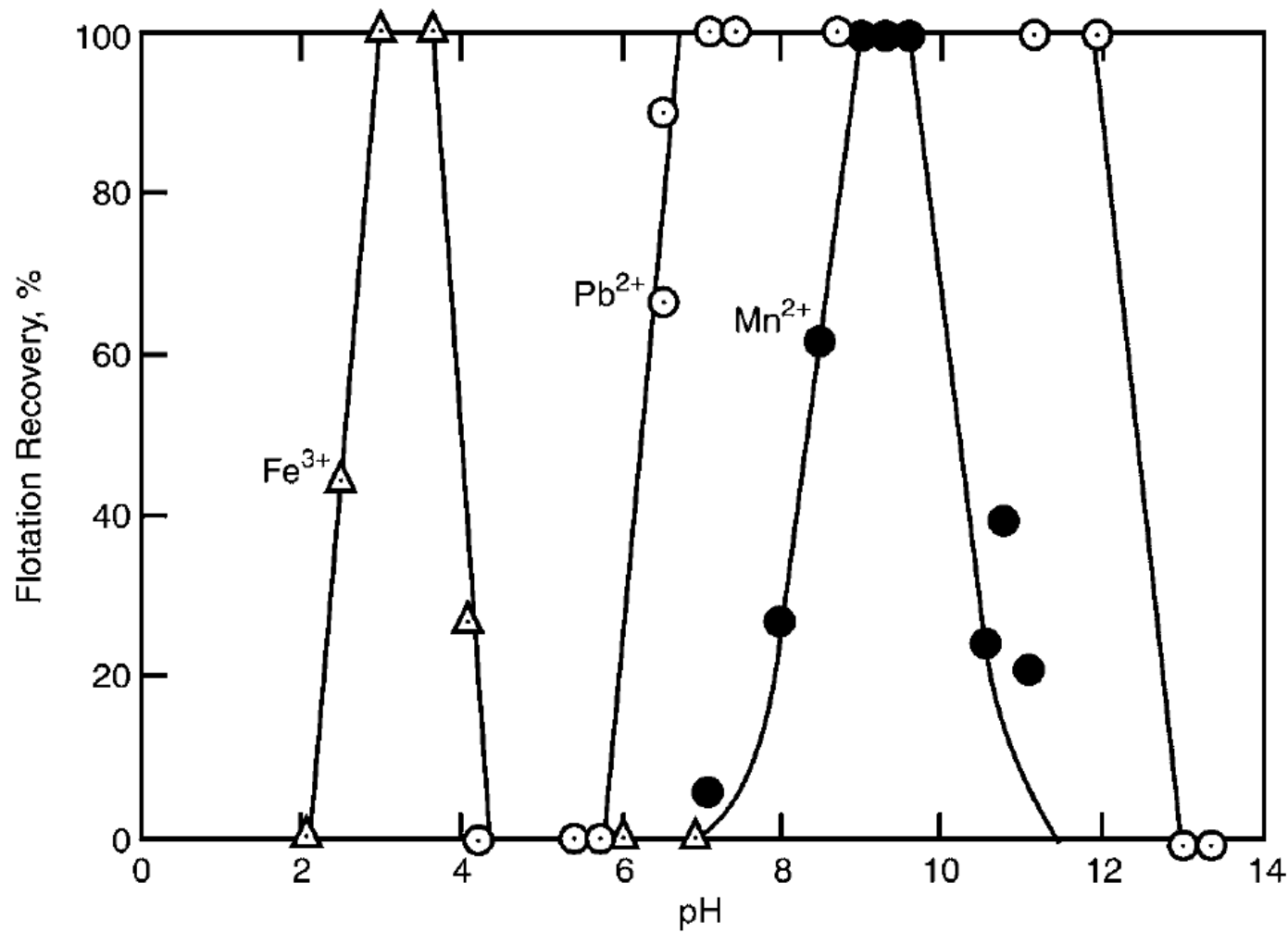
Source: Palmer, Fuerstenau, and Aplan 1975.

FIGURE 8.34 Flotation recovery of chromite as a function of pH and oleate concentration



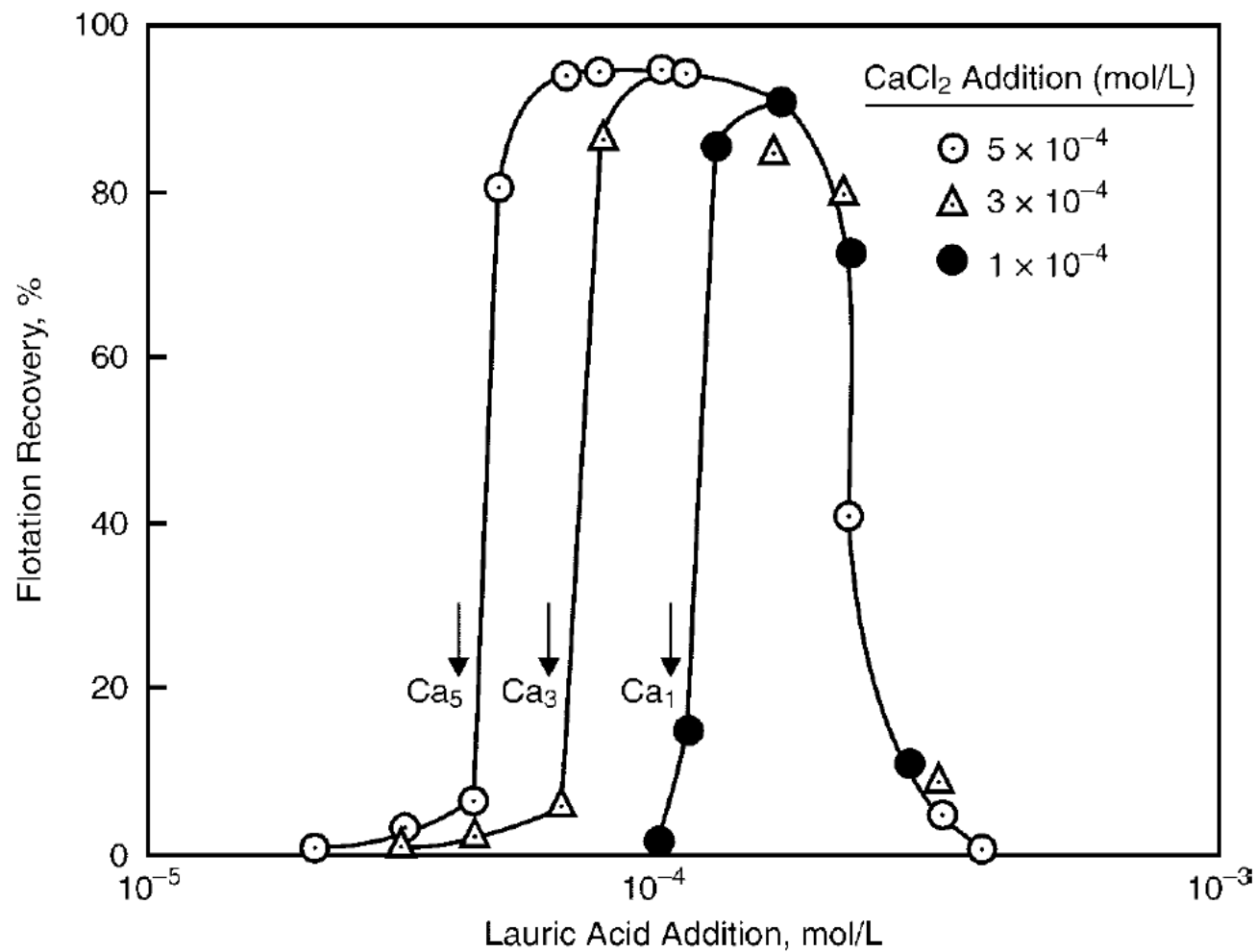
Source: Fuerstenau and Palmer 1976.

FIGURE 8.36 Minimum flotation edges of quartz—Conditions: 1×10^{-4} mol/L sulfonate, 1×10^{-4} mol/L metal ion



Source: Fuerstenau and Palmer 1976.

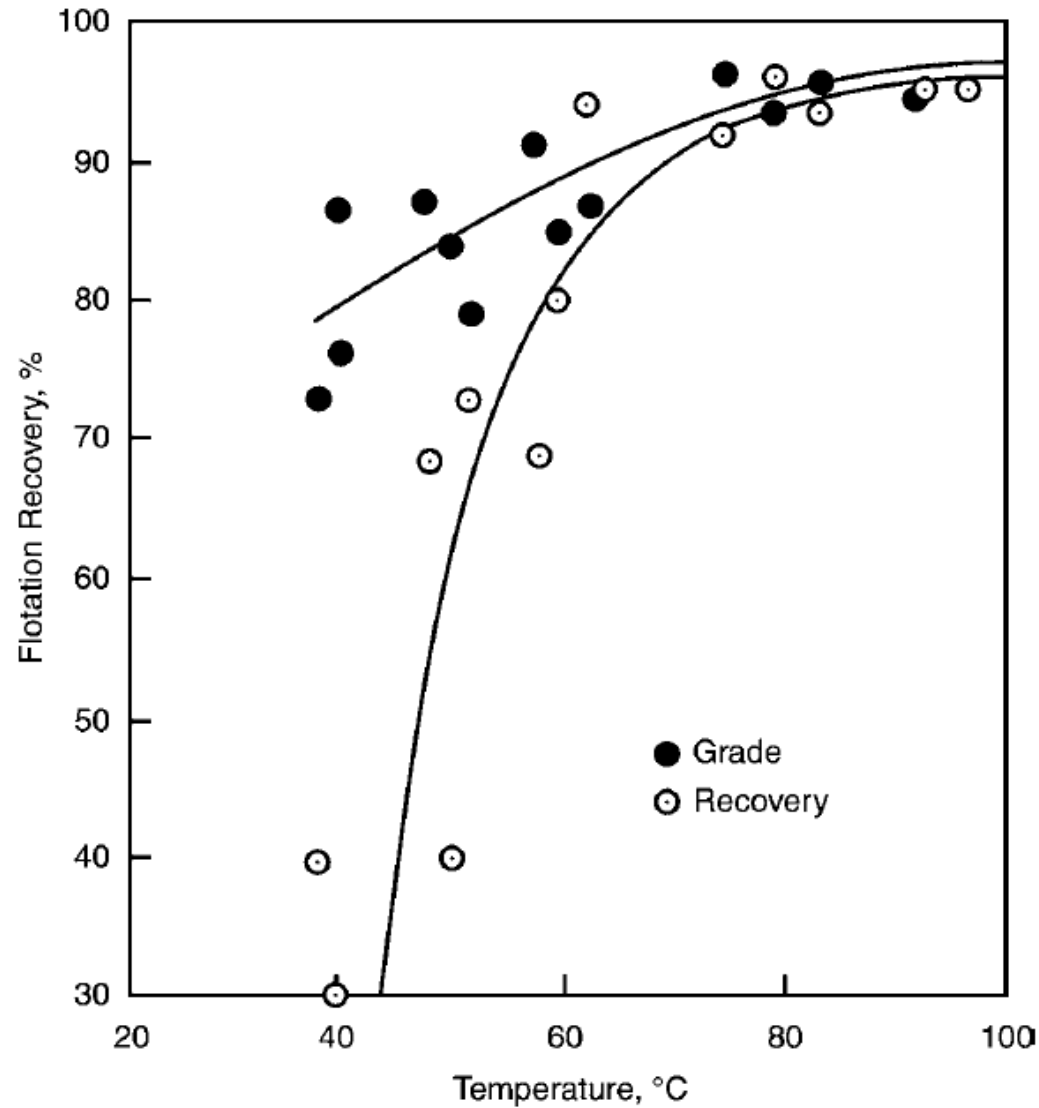
FIGURE 8.37 Flotation recovery of quartz as a function of pH—Conditions: 1×10^{-4} mol/L sulfonate, 1×10^{-4} mol/L metal ion



Source: Fuerstenau and Cummins 1967.

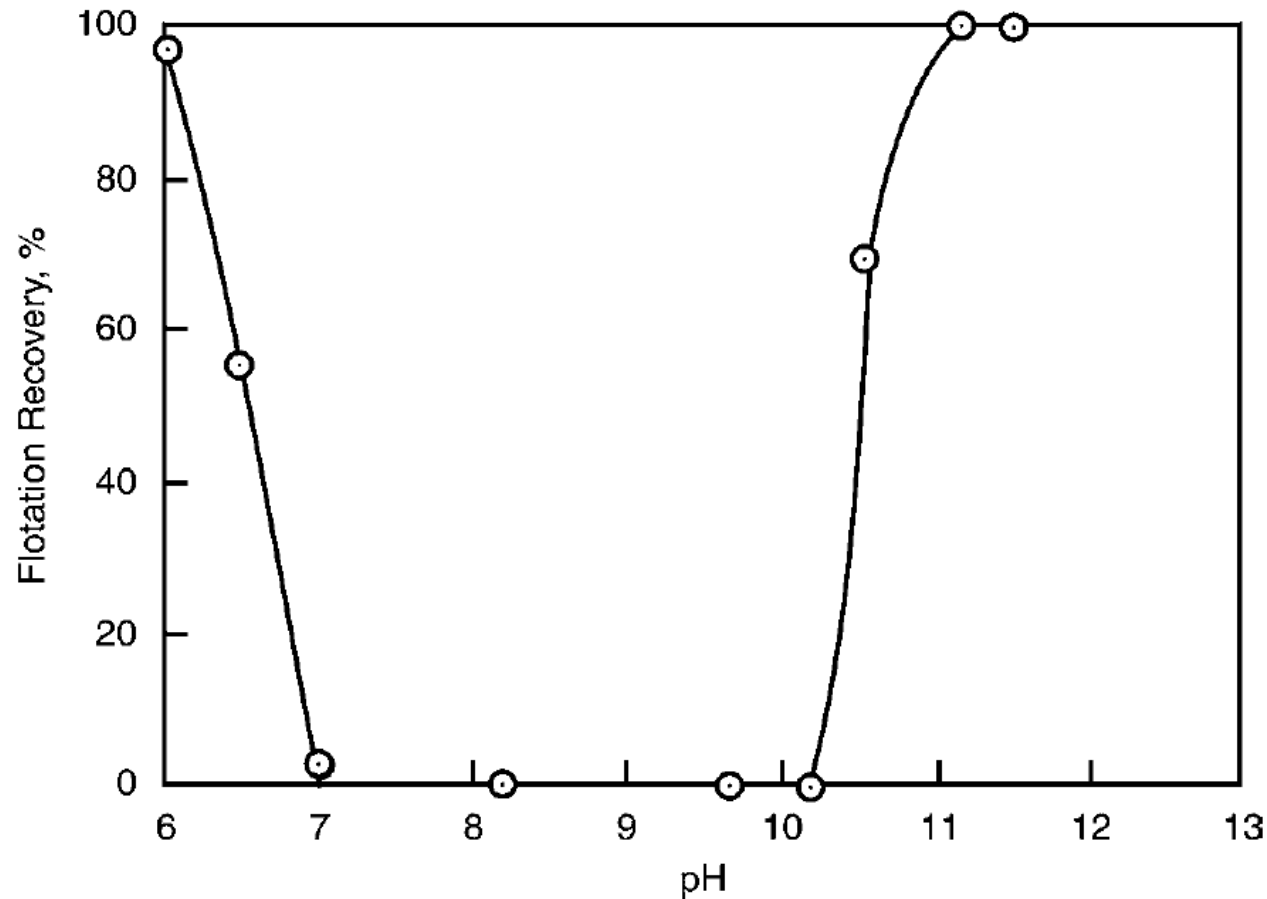
FIGURE 8.38 Flotation recovery of quartz as a function of lauric acid and calcium chloride additions at pH 11.5

فلوتاسيون



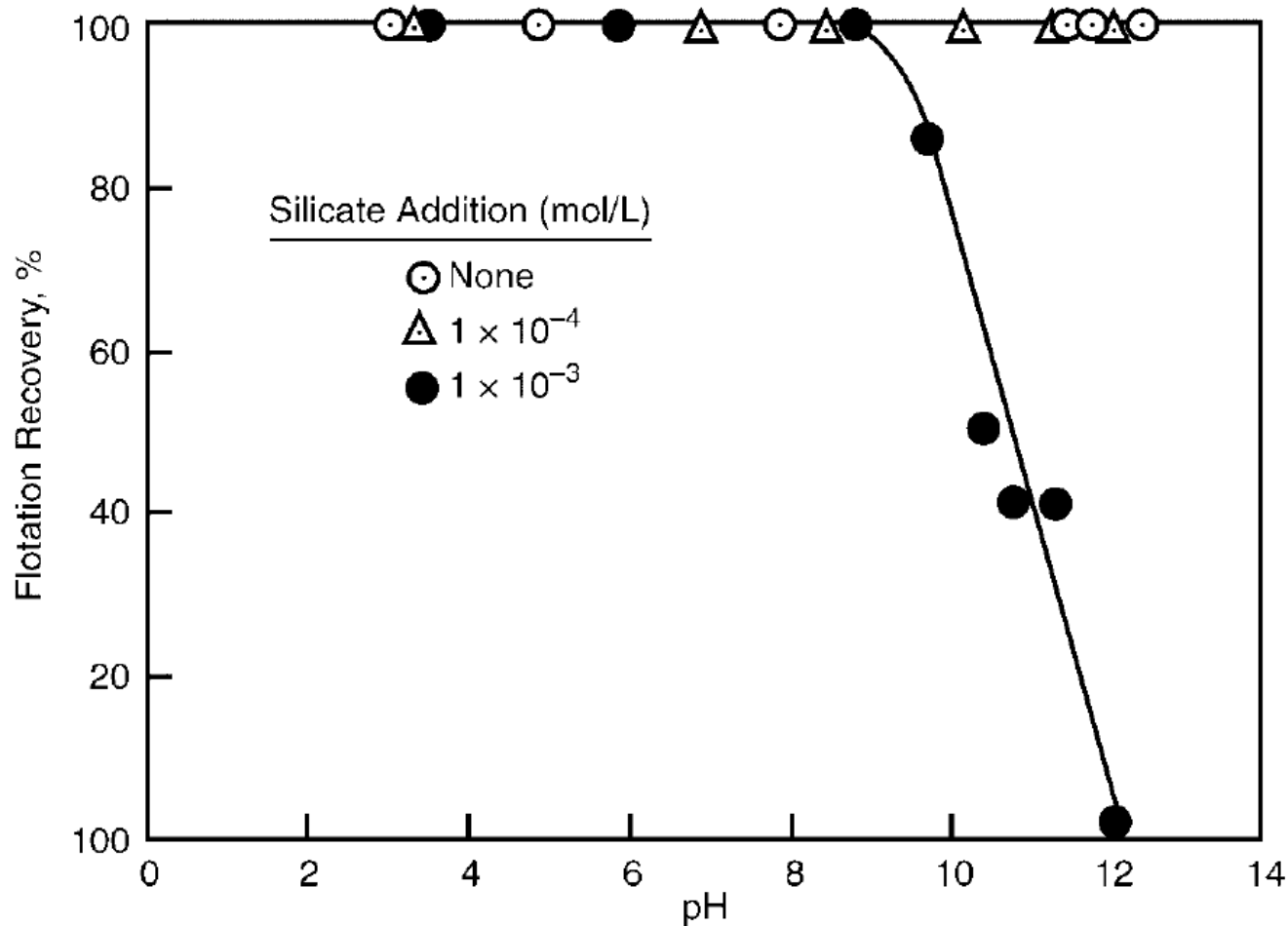
Source: Cook and Last 1950.

FIGURE 8.42 Flotation recovery and grade of fluorite from ore with 2.5 lb/ton oleic acid, 1.5 lb/ton quebracho, and 10 lb/ton soda ash



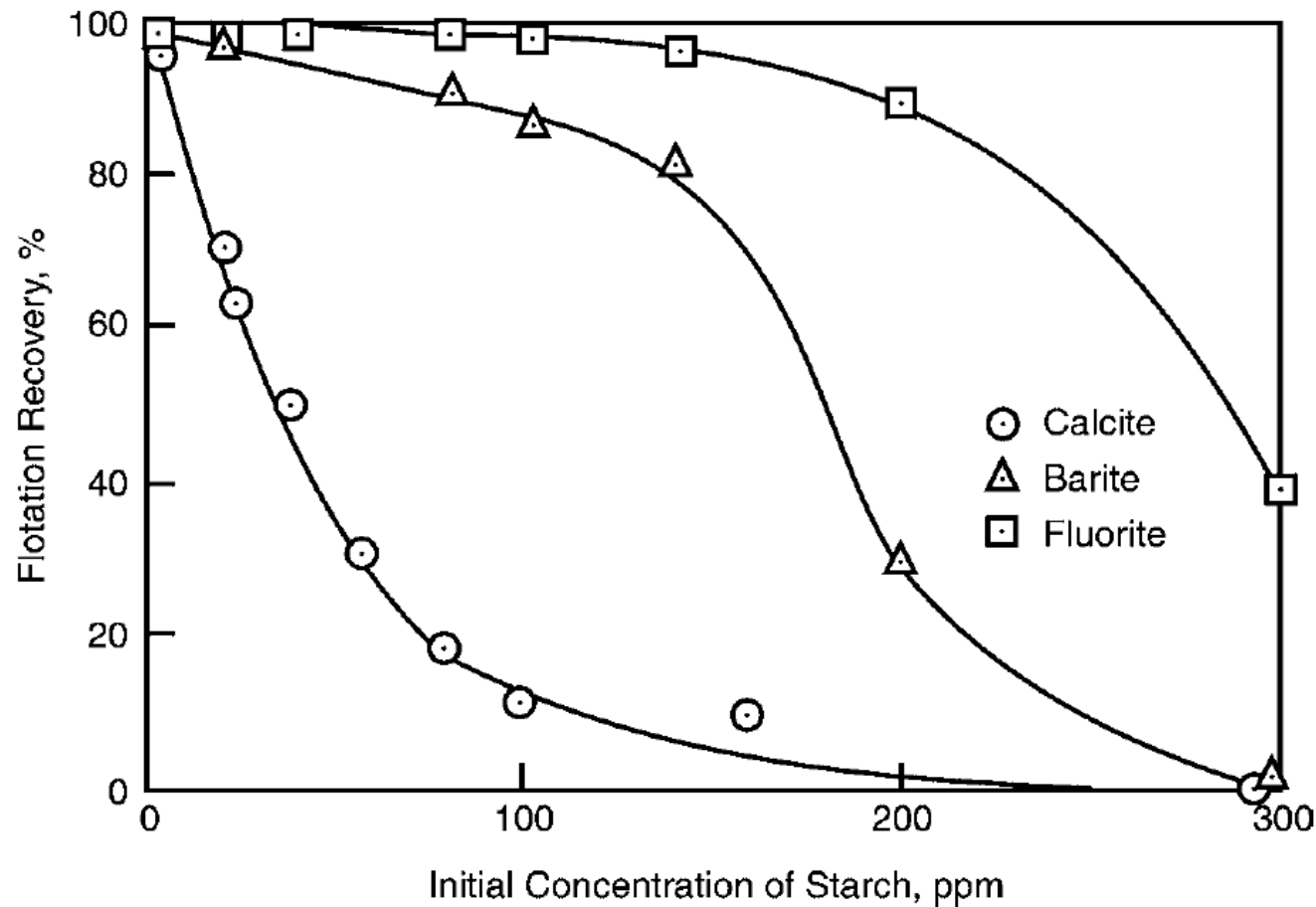
Source: Fuerstenau, Gutierrez, and Elgillani 1968.

FIGURE 8.43 Flotation recovery of calcite as a function of pH with 5×10^{-4} mol/L oleate and 5×10^{-4} mol/L sodium silicate (Type N)



Source: Fuerstenau, Gutierrez, and Elgillani 1968.

FIGURE 8.44 Flotation recovery of fluorite as a function of pH with 1×10^{-4} mol/L oleate in the absence and presence of sodium silicate (Type N)



Source: Hanna 1974.

FIGURE 8.45 Flotation recovery of barite, calcite and fluorite as a function of starch concentration with 7×10^{-5} mol/L oleic acid at pH 8

TABLE 8.15 Sign of surface charge for selected alkali halides

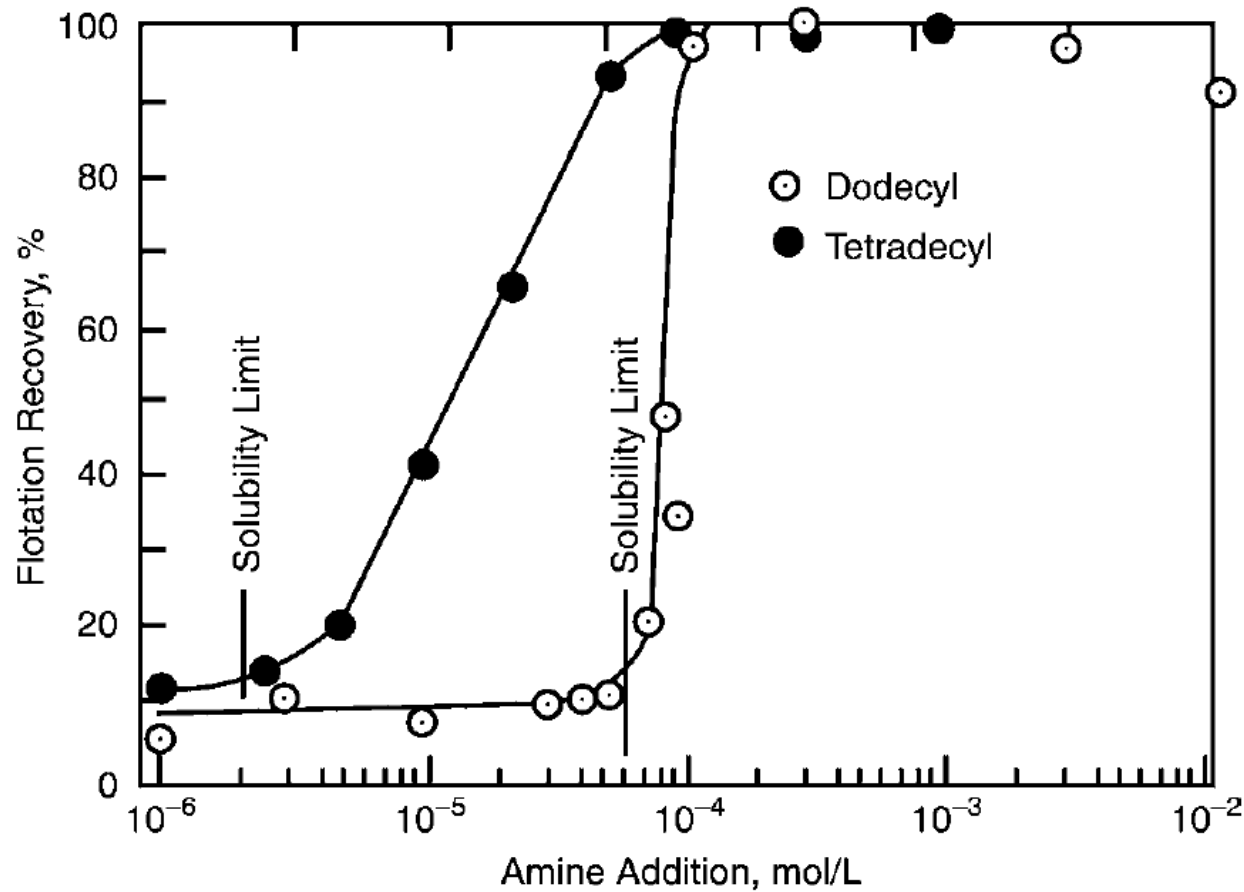
Chlorides	Negative Gaseous Ion Hydration Free Energies, kcal/mol			Sign of Surface Charge	
	Cation	Anion	ΔG^*	Predicted [†]	Experimental [‡]
LiCl	112.0	82.5	29.5	–	–
NaCl	88.4	82.5	5.9	–	+
KCl	71.1	82.5	11.4	+	–
RbCl	65.9	82.5	16.6	+	+
CsCl	58.2	82.5	24.3	+	+

Source: Yalamanchili 1993.

*Difference in cation and anion gaseous hydration free energies.

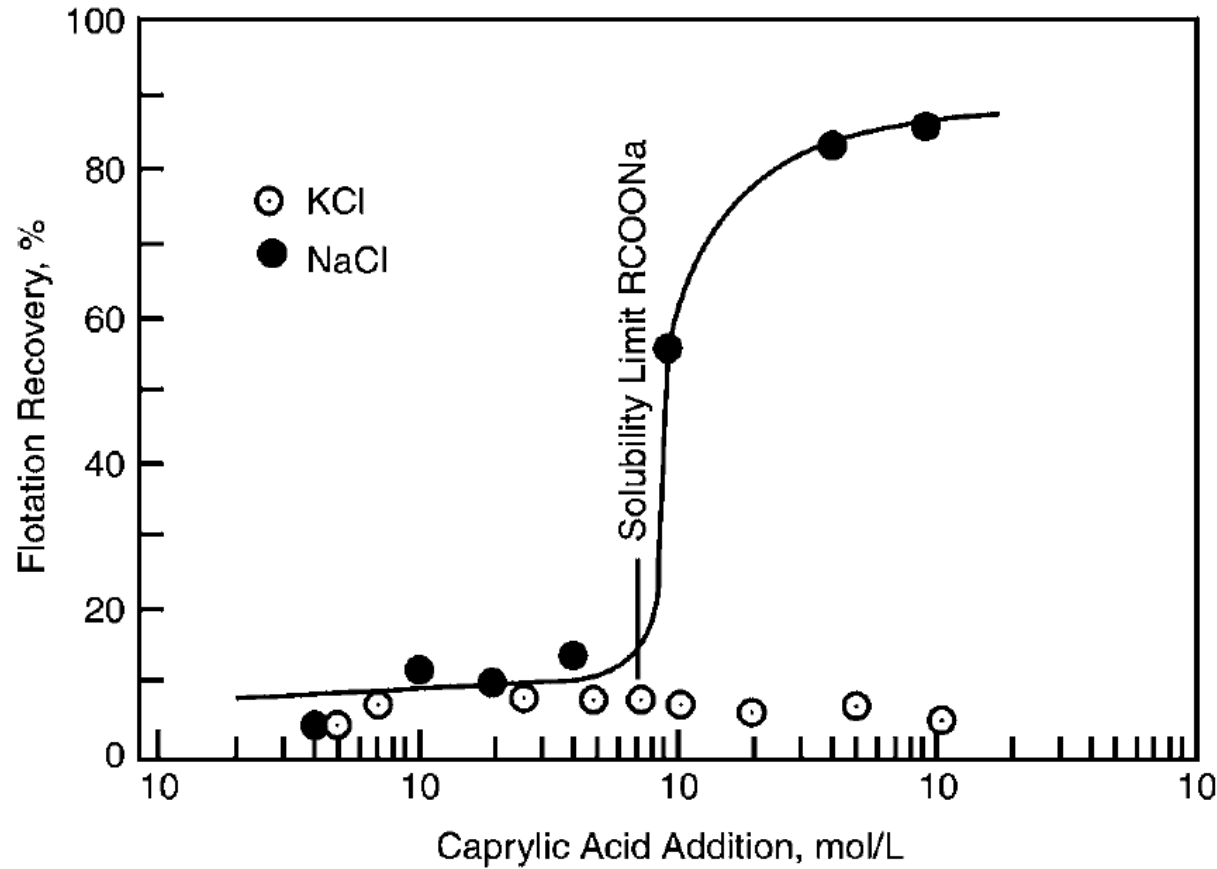
[†]Simplified lattice ion hydration theory.

[‡]Electrophoretic mobility measurements by laser-Doppler electrophoresis.



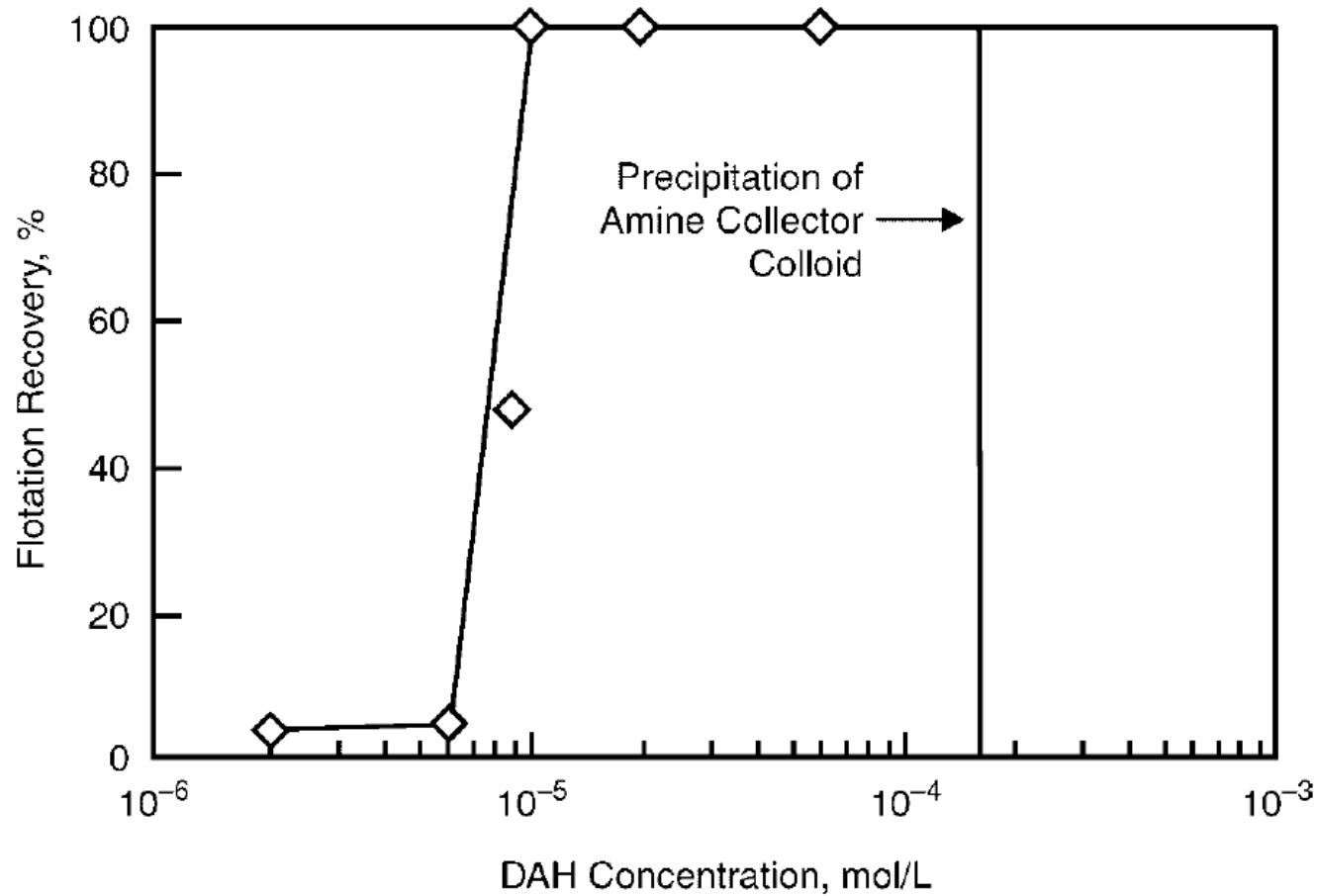
Source: Roman, Fuerstenau, and Seidel 1968.

FIGURE 8.46 Flotation recovery of sylvite as a function of amine addition



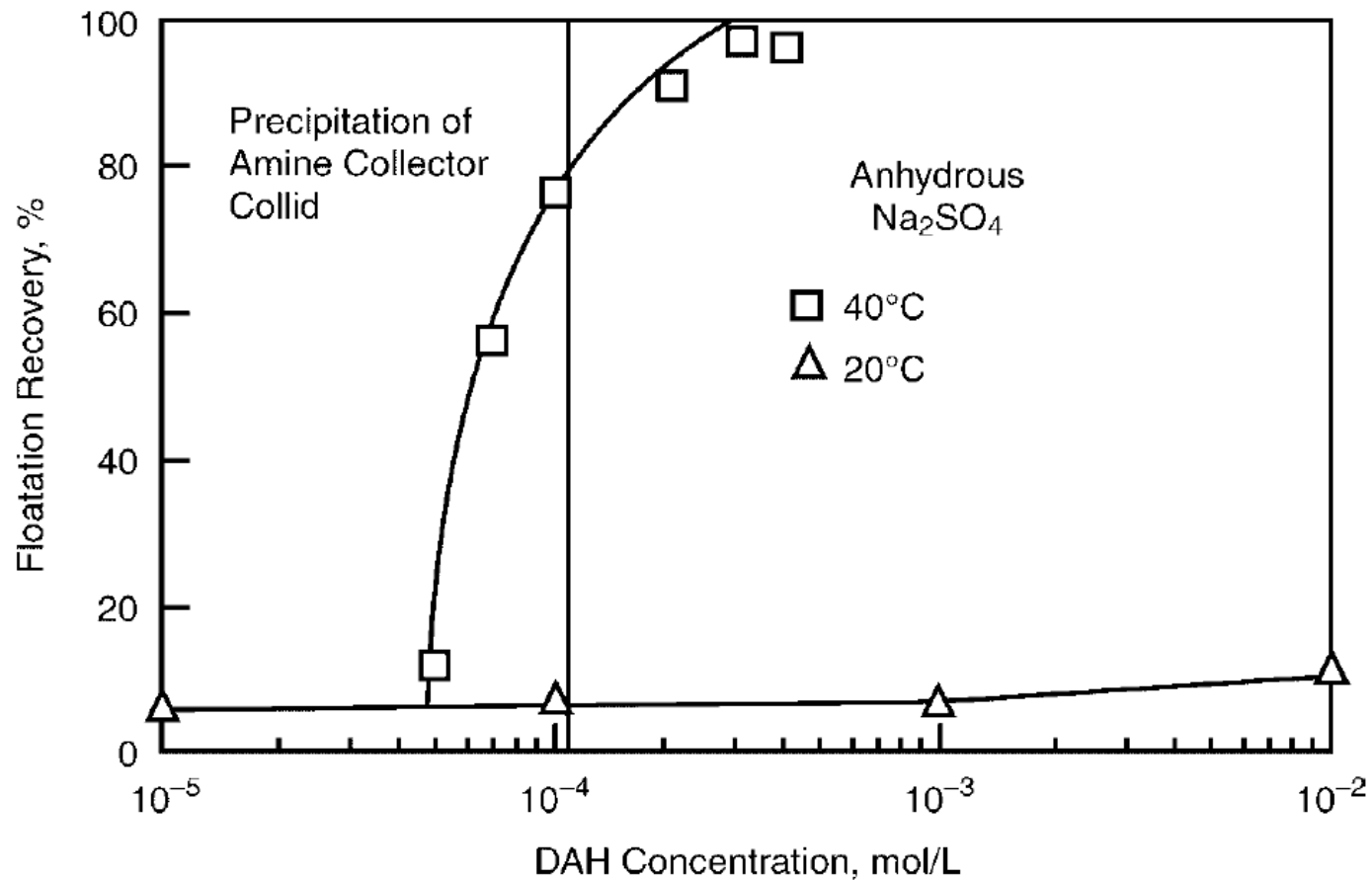
Source: Roman, Fuerstenau, and Seidel 1968.

FIGURE 8.47 Flotation recovery of KCl and NaCl as a function of caprylic acid



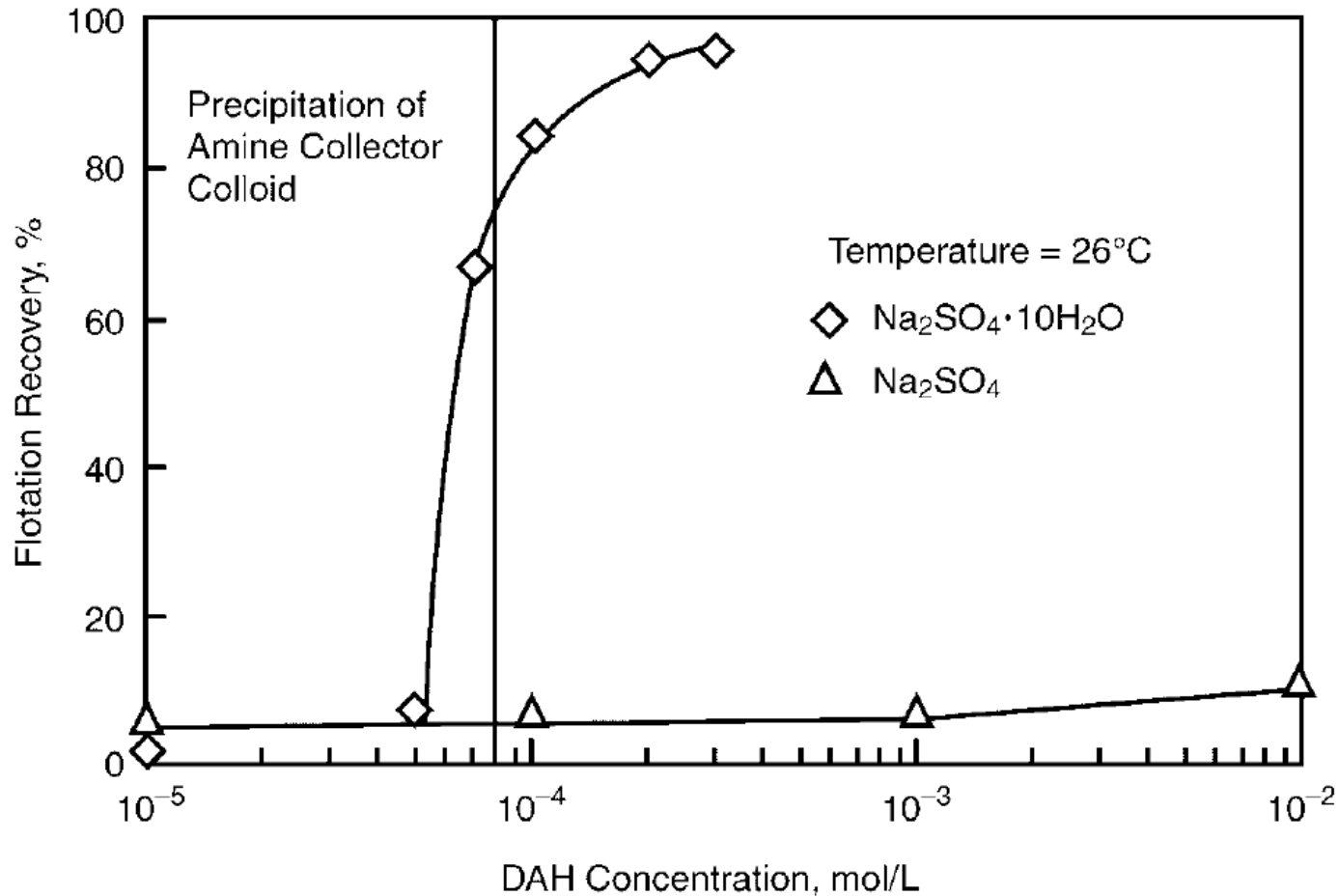
Source: Hancer et al. 1997.

FIGURE 8.48 Flotation recovery of K_2SO_4 with dodecylamine



Source: Hancer et al. 1997.

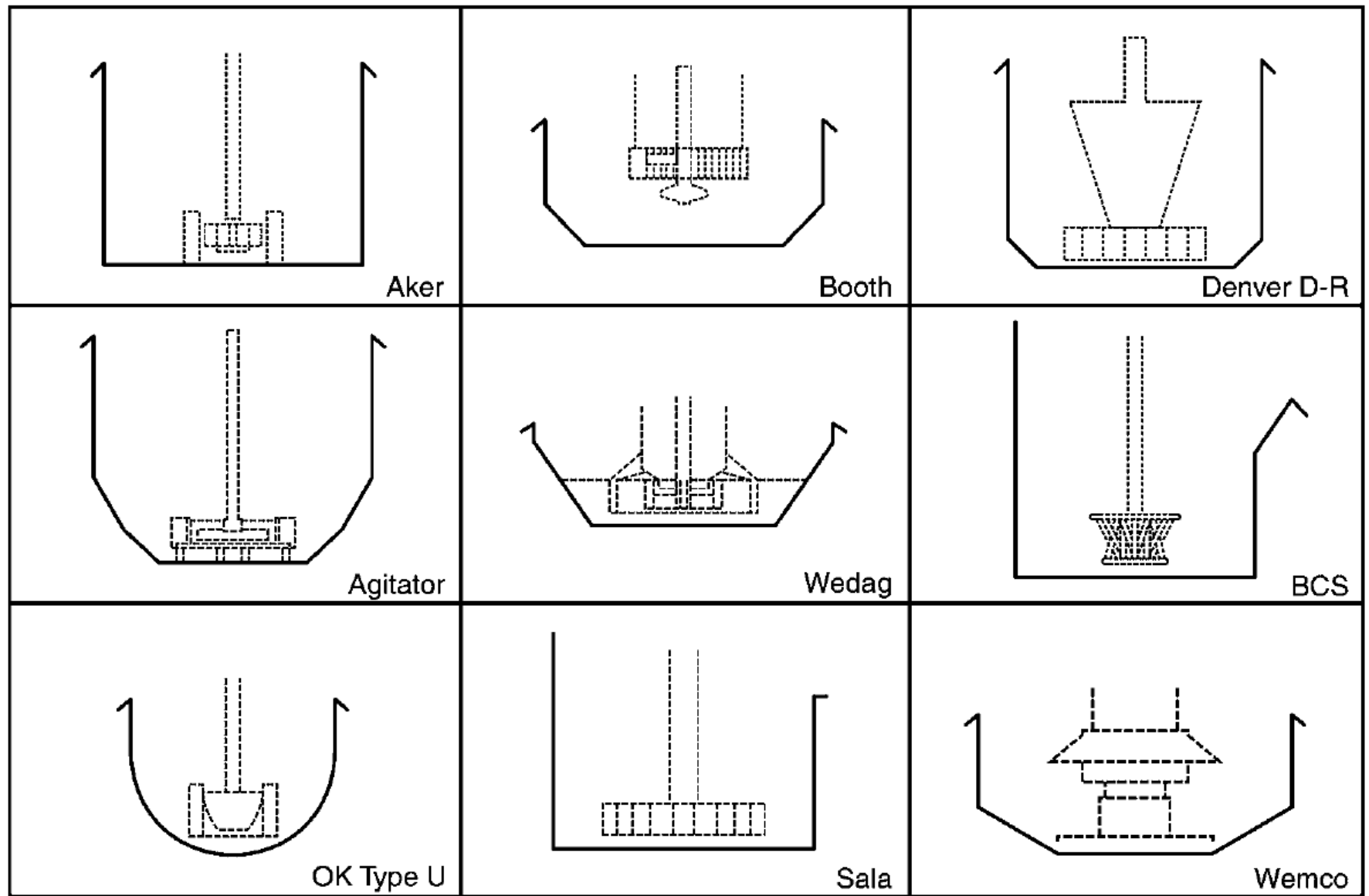
FIGURE 8.49 Flotation recovery with anhydrous as a function of dodecylamine addition and temperature



Source: Hancer et al. 1997.

FIGURE 8.50 Flotation recovery of anhydrous and hydrated Na_2SO_4 as a function of dodecylamine addition

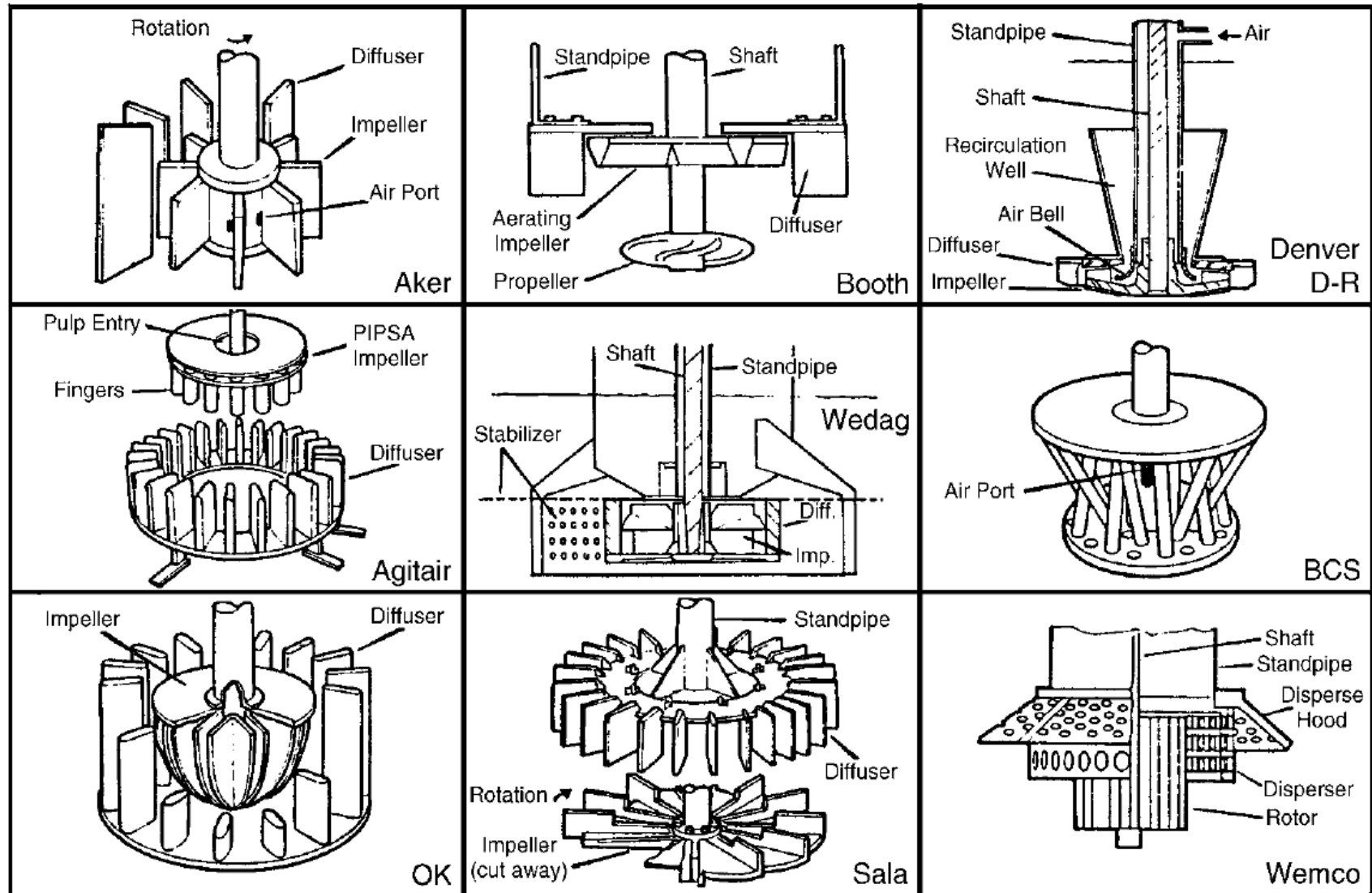
فلوتاسيون



Source: Young 1982.

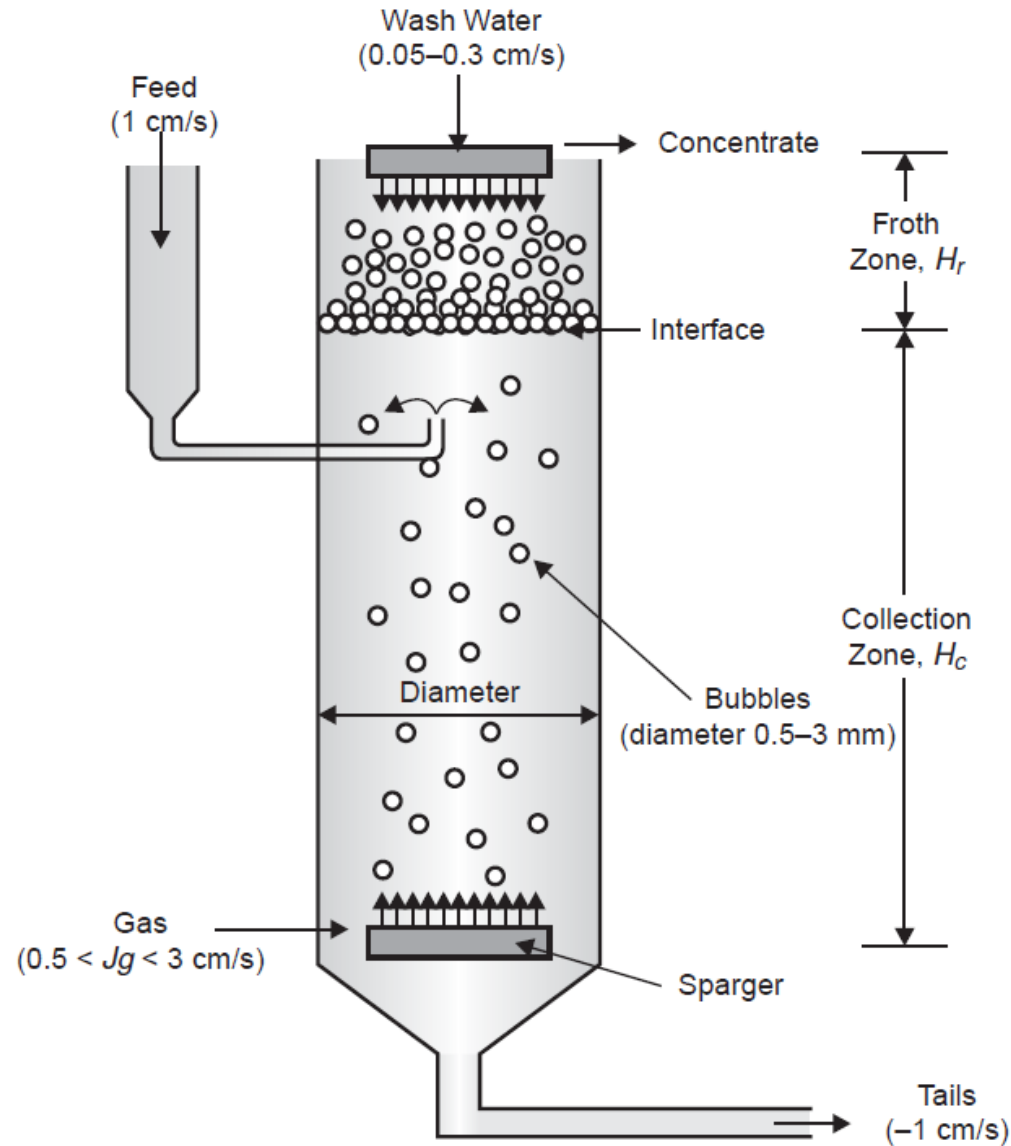
FIGURE 8.51 Flotation tank profiles of open-flow machines

فلوتاسيون



Source: Young 1982.

FIGURE 8.52 Flotation cell impeller mechanisms



Source: Finch, Uribe-Salas, and Xu 1995.

FIGURE 8.53 Schematic of a conventional column flotation cell

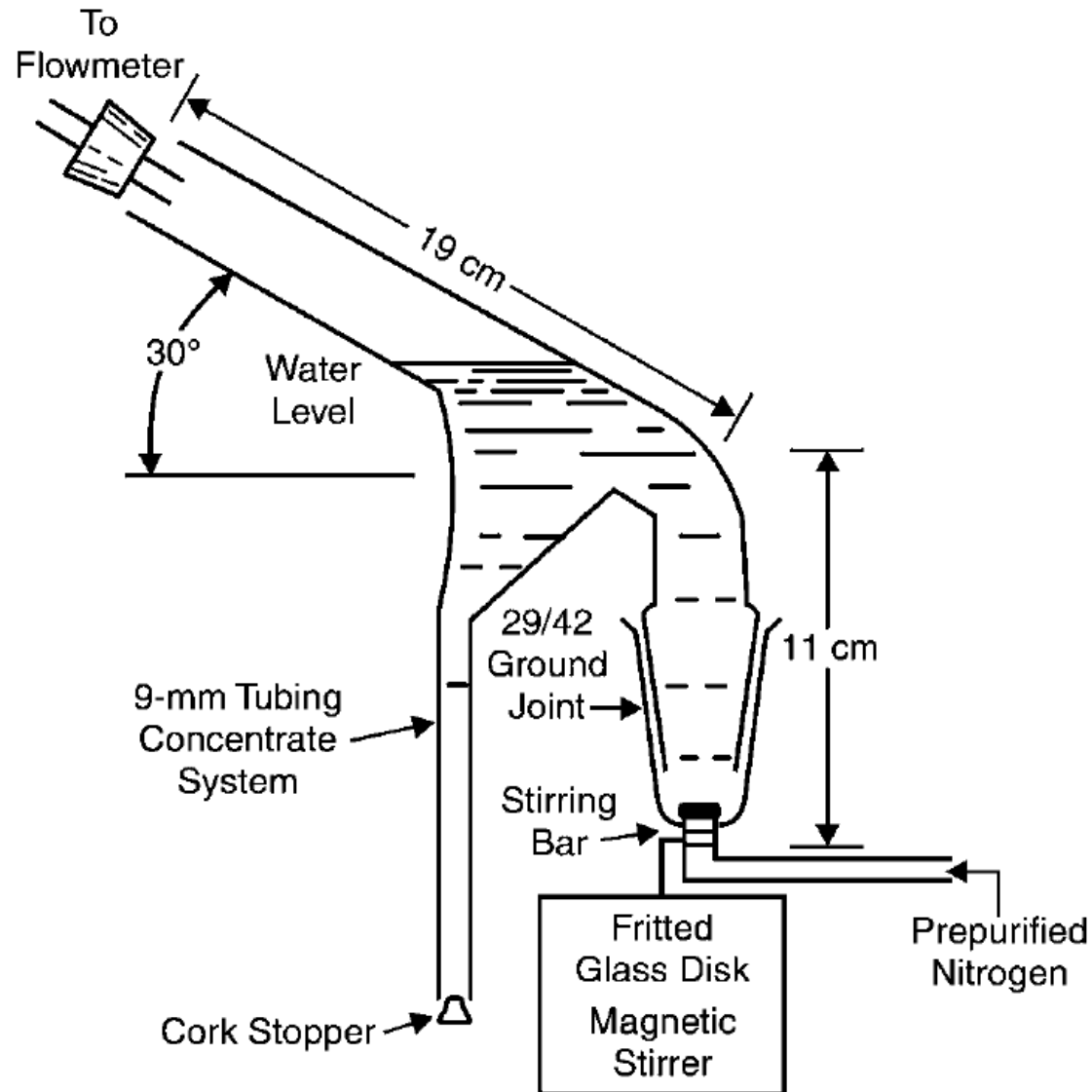
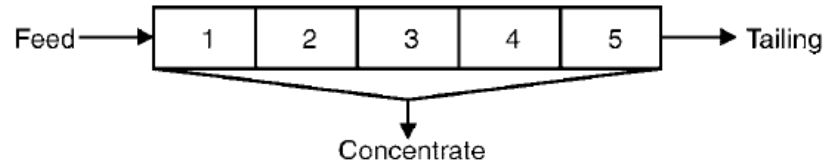
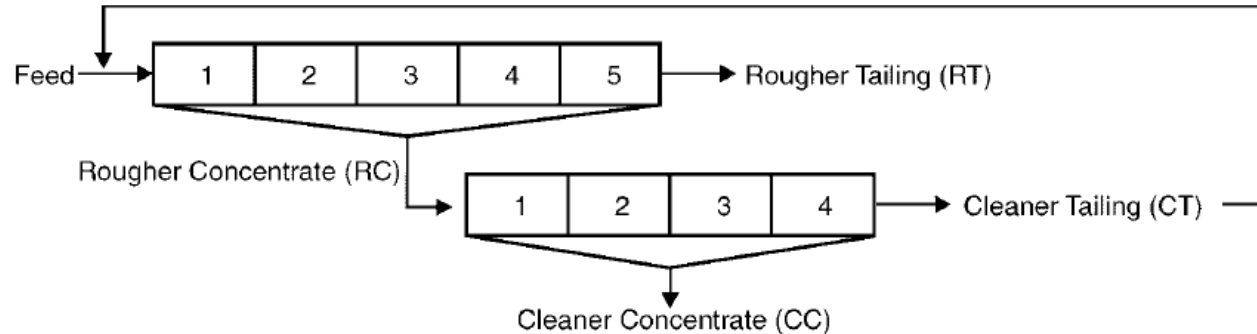


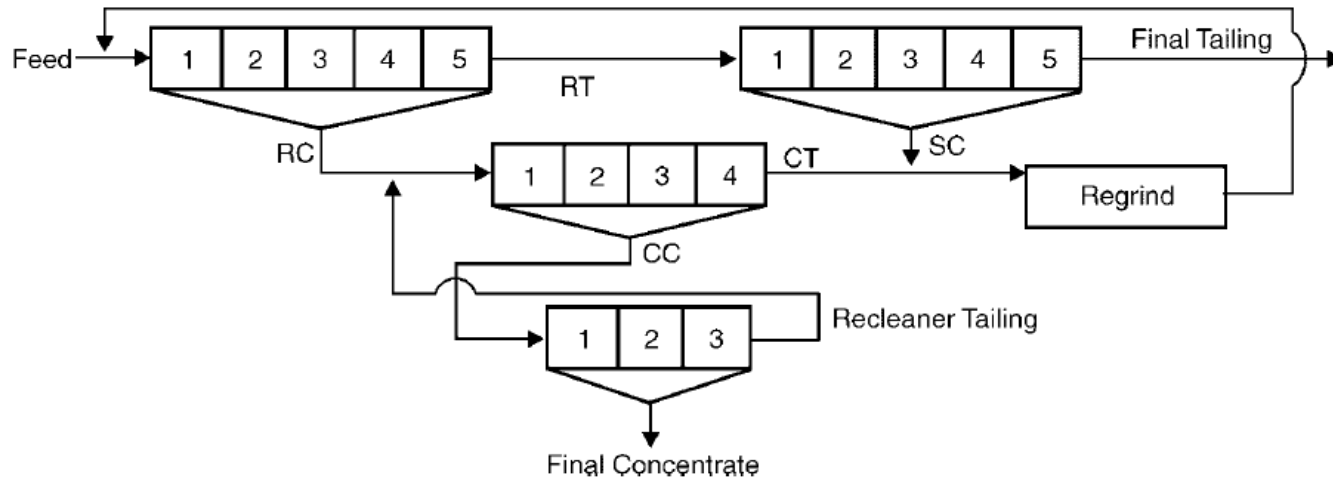
FIGURE 8.54 Schematic of a Hallimond flotation cell



When the rougher concentrate requires cleaning, the following circuits may be involved:



The following flowsheet shows the presence of middlings in the circuit. Regrinding of cleaner tailing (CT) and scavenger concentrate (SC) is needed.



Source: Gaudin 1939.

FIGURE 8.55 Typical flotation flowsheets

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلوتاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلوتاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلوتاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلوتاسیون

خوراک ☐

فلوتاسیون

خوراک ☐

فلوتاسیون

خوراک ☐

فلوتاسیون

خوراک ☐

فلوتاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

فلو تاسیون

خوراک ☐

THE END



Thank You

