

الجزء الأول



المادة الرخوة

الجزء الأول: المادة الرخوة

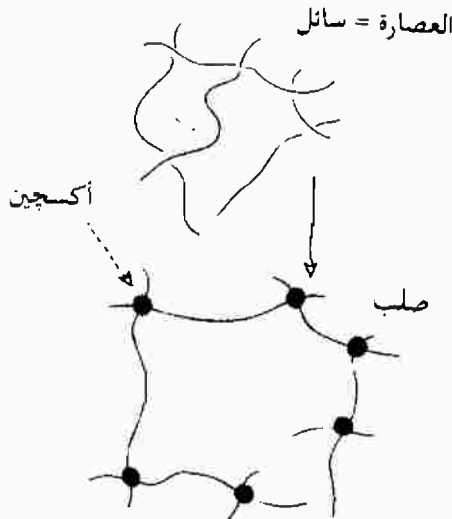
١ - الحذاء الهندي وتفسير جودبير:

عند مناقشة الخصائص المميزة للجزئيات ذوات السلاسل الطويلة التي تسمى «البلمرات» من الطريف أن نسترجع في ذاكرتنا إحدى القصص المشهورة في بلاد الأمازون .

قديمًا كان الهنود الحمر من سكان الأمازون يصنعون أحذيتهم عن طريق طلاء أقدامهم بنوع من العصائر اللبنة البيضاء المستخرجة من شجر الهيڤيا "hevea tree". هذا العصير اللبني يشبه السائل العادي ، ولكن بعد الطلاء وتعرضه للهواء لمدة عشرين دقيقة لوحظ أن السائل يتجمد حول القدمين (شكل ١) . وبهذه الطريقة تمكن أهل الأمازون من صنع أحذيتهم ، ولكن لم يستطع أحد شرح ما حدث .



شكل ١: الحذاء الهندي من بلاد الأمازون



شكل ٢: تحول الجزئ السائل إلى جزئ صلب تحت تأثير غاز الأكسجين

والآن ، وبعد ٢٥٠٠ سنة من هذا الاكتشاف يمكننا شرح سر الابتكار ،

فالسائل الابتدائي المستخرج من شجر الهيفيا يحتوى على جزيئات ذوات سلسلة طويلة تشبه الاسباجتى المسلوقة وهى موضوعة فى وعاء الشورية ، حيث تكون رخوة ومرنة فى نفس الوقت . فبعد أن يطلى المواطن الهندى قدمه يدخل عامل جديد فى اللعبة . هذا العامل هو غاز الأكسجين الموجود فى الهواء . ويتفاعل الأكسجين مع السائل بطريقة ملموسة ، فهو يربط السلاسل الجزيئية مع بعضها عند نقاط محددة (شكل ٢) . ويمكن للمرء أن يلاحظ الفرق قبل وبعد التفاعل مع غاز الأكسجين فكل شيء يظل يتحرك بنفس الطريقة التى كان يتحرك بها قبل التفاعل وتبقى محتفظة بخواص الموائع . وبذلك تكون المادة المستخدمة فى صنع الحذاء الهندى فى حالة صلبة على المستوى المنظور ولكنها فى حالة مائعة على المستوى الدقيق . هذا ما سعى فيما بعد « بالمطاط » . أن القياسات الدقيقة التى تعتمد على الرنين النووى المغناطيسى الذى يسمح بمعرفة الوسط المحيط بالجزئ من خلال مقياس دقيق لا يتعدى عدداً من الانجسترومات (١ متر = 10^{-10} انجستروم) القليلة سمحت بدراسة التركيب البنائى لهذا المطاط . وعندما نعود إلى قصة الحذاء الهندى ، كان يلاحظ أن هذا الحذاء يتفتت بعد يوم واحد من استعماله . والسؤال الأول : لماذا ؟

والإجابة ببساطة هو أن الأكسجين الموجود فى الهواء يبدأ أولاً كتفاعل مفيد يؤدى إلى الربط بين الجزيئات . إلا أن استمرار التفاعل يؤدى إلى قطع السلاسل ذاتها . وهذا ما يحدث فى حالة الحذاء الهندى ، حيث أن المادة المطاطية تفقد تماسكها الميكانيكى وتنكسر .

والسؤال الثانى : كيف يمكن منع هذا التفاعل المدمر ؟ ظلت الإجابة مجهولة حتى عام ١٨٣٩ م عندما جاء اختراع العالم الأمريكى جودير .

شهد هذا العام تطورات كيميائية هامة ، حيث بدء الكيميائيون فى تصنيع جزيئات عديدة مختلفة تنشأ من إضافة المواد بعضها إلى بعض . ومن هؤلاء كان العالم الأمريكى جودير الذى عاش فى الفترة (١٨٠٠ - ١٨٦٠ م) . هذا العالم شارك حب الفضول الذى ارتبط بنفسه سلوك العصور اللبني لشجرة الهيفيا . وقام بغلى السائل مع إضافة عنصر الكبريت . عند بدء التجربة كان يجهل الفكرة تماماً ، ولكنه كان يعرف أن جزيئات السائل تحتوى على ذرات من الكربون والأكسجين ، دون معرفة بالقواعد الأساسية للجزئ ذى السلسلة الطويلة . وبعد محاولات عديدة ، نجح جودير فى تحريك الأمور للأمام وحصل بالفعل على نوع من المادة السوداء المرنة ذات القابلية العالية للتشكيل . وبهذه الطريقة أمكنه صنع المطاط الطبيعى النقى . والجدير بالذكر ، أنه بعد انقضاء ما يقرب من قرن ونصف القرن من الزمان على اختراع « جودير » واكتشاف صناعة المطاط ، أطلق عليه العلماء « عميد الصناعة فى عصره » . والآن ، يتكون إطار السيارات العادى من ستة عشر طبقة مرنة من المطاط الطبيعى لجودير .

فى هذه المرحلة ، لم يعرف أحد الإجابة على السؤال الهام المتعلق باستخدام عنصر الكبريت . واليوم يمكننا فهم مفتاح النجاح . فعنصر الكبريت له خصائص كيميائية تماثل الخصائص المناظرة لعنصر الأكسجين . هذا العنصر يتواجد فى نفس العمود فى الجدول الدورى للعناصر الذى يحتوى على عنصر الأكسجين ، ولكنه أقل تفاعلاً . فالكبريت له القابلية على الربط الانتخابى للسلاسل الجزيئية مع بعضها عند بعض النقاط ، إلا أنه لايسبب قطع هذه السلاسل كما يفعل الأكسجين . وهذا هو السر وراء استقرار المطاط الطبيعى .

ومن الملاحظات الأخرى هو أن هذا المنتج يتعلق بعدد ذرات الكربون (C) التى تتفاعل مع عنصر الكبريت . هناك ذرة كربون واحدة إلى مائتين ذرة من الكبريت التى تتفاعل . وهذا يجعل التفاعل ضعيفاً لدرجة لا تحدث عندها تحول فى الحالة الفيزيائية للمادة لدرجة تؤدى إلى تفتت المطاط .

هذا يثبت أن المادة الرخوة تتحول بتأثير خارجى ضعيف وتتشوه فى الشكل . هذا الأمر يجعلنا نضع أمام السياسيين وصناع القرار خاصة عندما نتحدث عن المواد الجديدة - الكلمات البسيطة التالية : « لكى نصنع مواداً جديدة لابد من فهم تركيب المادة أولاً ، الأمر الذى يتطلب أبحاثاً عديدة » .

عندئذٍ ، يمكننا تصنيع مواد جديدة مفيدة بخصائص مميزة تلتقى مع التطبيقات الخاصة .

هذه القصة حقيقية فى بعض الحالات مثل مواد أشباه الموصلات والليزر ، ولكن فى حالة المطاط الطبيعى تأتى الاختراعات العملية أولاً وقبل أن نفهم أى من الظواهر الفيزيائية .

١/٢/١ - حساء الاسبابجتى :

منذ اكتشاف جودير عام ١٨٣٩ م المطاط الطبيعى لم يعرف أحد الكيمياء الأساسية لجزيئات البلمرات ذوات السلسلة الطويلة « الماكروجزيئات » . وخلال القرن التاسع عشر ، حاول الكيميائيون تصنيع مواد جديدة . ولم يعرف ماذا يحدث عند خلط مركبين مع بعضهما البعض . وكانت الإمكانيات ضعيفة فى ذلك الوقت ويحتاج إلى إجراء عمليات التقطير المتتالى لتنقية ناتج التفاعل من الأثر البللورى . وكان المرء يعرف نقاء المادة عن طريق تحديد درجات الانصهار . ومن خلال هذا المعيار كان الكيميائيون ينتخبون المواد النقية على أساس خصائصها الحرارية . وبالنسبة للجزيئات ذوات السلسلة الطويلة كانت درجة الانصهار غير معرفة عند نقطة محددة كما كان يحدث التبلور عند النسخين . فالحالة الصلبة تبدأ تتراخى قبل أن تسيل ، عندئذٍ ، يحدث انتقال من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة خلال مدى حرارى ممتد نسبياً .

والآن ، دعنا نعود إلى البلمرات ، فحتى عام ١٩٢٠ م ، كانت الجزيئات ذوات السلسلة الطويلة غير معروفة للفيزيائيين أو الكيميائيين . وكذلك النظريات المصاحبة لها كان غير متعارف عليها في المجتمع العلمي . وفي عام ١٩٢٠ م ، نجح العالم هيرمان شتودجر (١٨٨١ - ١٩٦٥ م) في إجراء تجربة حساسة لتصنيع جزيئات ذوات سلسلة طويلة نسبياً (في حدود ٢٠ وحدة بدلاً من ١٠٠٠ وحدة أو ١٠٠,٠٠٠ وحدة) وتعتبر السلاسل بهذا الطول قصيرة بدرجة كافية لحدوث التبلور بها .. وبذلك يكون لها درجة إنصهار محددة . وبهذه الطريقة نجح شتودجر في تجهيز سلاسل جزيئية حتى الطويلة منها ، وبدأ عهد جديد لتكنولوجيا المطاط بعد ٨٠ عاماً من اكتشاف المطاط الطبيعي لجودير .

وكان يعتقد في ذلك الوقت أن الجزيئات الماكروسكوبية تكون على هيئة قضيب متماسك طول ١ ميكرون (١ ميكرون = $\frac{1}{\text{مليون}}$ من المتر) .

وبعد عشرين عاماً أخرى ، نجح العالم الألماني « ريتشارد كوهين » (١٩٠٠ - ١٩٦٧ م) من بيان أن الجزيئات الماكروسكوبية ليست قضباناً ساكنة جامدة ، ولكنها جسيمات مرنة (مثل حالة الاسياجتي المسلوقة) . هذه الفكرة سمحت لكوهين شرح مرونة المطاط العجيبة .

كان هذا العصر هو عصر المبدعين اللذين اكتشفوا ميكانيكا الكم التي تصف سلوك الإلكترونات في الذرات والجزيئات . وبذلك استفاد كوهين من ذلك ووضع قواعد عظيمة لوصف تركيب هذه الجزيئات ارتبطت باسمه حتى الآن .

وقد اثارت هذه البحوث بعض الأسئلة خاصة عن الخاصية البارامغناطيسية (فائقة الحساسية للمغناطيسية) للمطاط التي تبعها أبحاث مكثفة لمحاولة فهم طبيعة هذه المواد وتخليق جزيئاتها المتميزة ميكانيكياً في المعمل .

في هذا المجال تطرق الحوار إلى مقارنة بين البحوث الأساسية والبحوث التطبيقية والتي أوضحها دى جين كما يلي :

٢/١ ب - البحوث الأساسية

والتطبيقية :

يقال أن البحوث الأساسية هي المسئولة عن تطور الأمم . أن عالم المعرفة الخاص باكتشاف الكون ابتداء من الذرة وما دونها وحتى المجرات وما فوقها من المعادن والجماد إلى المخلوقات الحية هو عالم البحث العظيم . فتطور المعرفة يكون مستقلاً عن أية نتائج معملية . ويمكن استنتاجه أخيراً من مثل هذا المجهود المعرفي الفطري . فرحلة مسافر عبر الفضاء بسفينة فضاء ليصل إلى حافة النظام الشمسي لن تحتج إلى حصاد المعرفة النظرية التي كافأنا بهذه الإمكانية الفريدة . واكتشاف التركيب الحلزوني المزدوج للشفرة الوراثية سبقت التعرف على وجودها ودورها بدون أن تعرف

فى ذلك الوقت عن الاعتبارات الممكنة لطبيعة تواجدها وانتظامها كما نعرفها الآن .
وحبس ذرة داخل خلية بواسطة التبريد عن طريق شعاع الليزر إلى درجة تصل إلى ١
درجة من البليون من الدرجة المطلقة ، هذه التجربة تعتبر من التجارب الرائعة التى
تتسبب حالياً أى استخدام عملى للعلم .

ودراسة الخصائص الالكترونية للمواد الصلبة كانت حافزة لاختراع الترانزستور .
والتطور المذهل فى مجال الالكترونيات الدقيقة أدى إلى ميلاد واختراع الليزر الذى
أدى بدوره إلى ثورة الاتصالات .

وبعيداً عن مدى الأرباح ، اعتقد أن البحث عن المعرفة بفرض المعرفة لا يمكن
استبداله . ولا يوجد مكان لبحث يعاد إنتاجه ما عدا التجربة التى انجرت بنجاح !

البحث التطبيقى - مدرسة للتخيل :

كل قطعة من البحث التطبيقى تبدأ من التحدى ، ولكى تطور منتج جديد لا بد
أن نشعر بالاحتياج الجديد الذى لا يتقابل مع النظام الواقع ليمنح الناس حياة أفضل .
هذا التحدى يجب أن يجاب بواسطة إبراز فوائد التنظيم المعرفى لتطبيق البحوث
الأساسية ، كما حدث مثلاً بالنسبة لخصائص الأفلام المغناطيسية المستخدمة فى
أقراص الفيديو . وفى اعتقادى أن التقدير الذى يستحقه المخترعين العظماء ليس أقل
شأناً من تقدير النظريين العظماء . فأنتى أكن احتراماً شديداً للمخترعين . ففى القرن
التاسع عشر كان التنافس عنيفاً من أجل تطوير الصناعات والمعدات كما نرى من
استعراض للعلاقة بين مجموعة العمل فى المدرسة العليا للبحوث الفرنسية كنموذج
للتزاوج بين البحوث الأساسية والتطبيقية . بدأت بفحص الخصائص الفيزيائية
والكيميائية للبلورات فقد كنا نتابع حركة هذه الجزيئات فى المحاليل . انطلاقاً من
فضول المشتغلين بالبحوث الأساسية الذى يدفعهم إلى اختبار المواد النقية ، وبالتالى
كنا نستعرض نتائجنا وكيفية الاستفادة منها بالتحاور مع رجال الصناعة .

فى إحدى زياراتى لأحد معامل الكيمياء بنيوجيرسى بنيويورك فى الولايات المتحدة
الأمريكية أخبرت عن بعض المشاكل الشاذة التى تتعلق بصعوبة ذوبان بعض البلورات
فى المحاليل . وكان الخبراء التكنولوجيون لا يفهمون أهمية العوامل الأخرى التى
تسرع عملية الذوبان مثل السحق الدقيق للبلورات .

وبعد عودتى ناقشت هذا الأمر مع صديقى « فرنسوا بورتشارد » . وبعد عدة
شهور توصلنا إلى أسلوب رائع قدمنا من خلاله خصائص طولية جديدة للبلورات
أطلقنا عليها اسم « الطول السحري » . هذا الطول يحدد حجم المسحوق الذى يجب
ألا يقل طول البلورات عنه للتأكد من ذوبانه . هذا البعد يحدث بدرجة أكبر من
الجزيئات الماكروسكوبية . وتقليل الحجم للمسحوق ليصبح أقل من الطول السحري
لا يعطى أية فائدة . من هنا فإن دراسة الحالة الابتدائية لمشكلة عملية تعبر بنا خلال
مسار الدراسة الأساسية لدينامية البلورات المتشابكة .

وهذا النوع من الحالات يأتي إلينا دائماً في مجال بحوثنا ، ويجب على المرء أن يملك المقدرة على الاستماع بشيء من التواضع عندما يأتي إليه صوت يخبره «هنالك شيء شاذ» عندئذٍ ، يتأمل المرء فيه ويفهمه . وفي بعض الحالات سعيدة الحظ ، يمكننا أن نجد الحل . ولكن كثيراً ما نفشل . وعلى الصعيد العالمي يكون علمائنا في مجال البحوث الأساسية أكثر حظاً خاصة عند اختيار المشاكل وفهمها ، ثم بعد ذلك نرى انجازاتنا ونكافأ عليها .

وكمثال آخر على إحدى المشاكل التي يمكن مواجهتها من خلال البحوث الأساسية نذكر عملية اخفاء وتغطية حقول البترول بعد نضوبها ، حيث تبقى كمية من الزيت حبيسة داخل الصخور الاسفنجية والتي تنساب إلى المضخات ، وبعد دراستنا لمختلف التقنيات ، وجدنا أن عملية تغطية الحقول بواسطة المواد الرغوة هي أنسب العمليات في مثل هذه الحالات ، حيث تخزن المواد الرغوية خلال بئر ، بعد ذلك يعمل كل شيء وفقاً للخطة ، فالزيت يكون مضغوطاً بجانب هذا البئر المجاور الذي يسمح بتغطية جزء على الأقل من الزيت المتبقى . هذه العملية لها شق أساسي، حيث أن حركة الرغويات خلال وسط اسفنجي تمثل قضية فيزيائية إحصائية صعبة . ولذلك نجد أن طلاب الفيزياء البحتة قد يمكنهم إجراء هذه الدراسات والحصول على وظيفة في مجال صناعات البترول .

ج/٢/١ - كوهين العالم القدوة :

سني نسأل : أعرف كيف تغير مجال اهتمامك ؟

يقال أن « الحجر المتدحرج لا يجمع الحشائش » هذه الحكمة حقيقية في كل الثقافات ولكنها لا تدعم قرار كوهين ، حيث ترك أبحاثه في مجال الفيزياء الذرية وعمل في مجال بحوث البلورات والجزيئات الماكرو سكوبية :

هل عندك استعداد للتغيير ؟

كل فرد يزاول مهنة البحث العلمي يعتبر حالة فردية . نحن هنا بصدد طرح بعض الأمثلة الخاصة بي :

في الفترة من ١٩٦١ إلى ١٩٦٥ ، كنت شغوفاً بمواد التوصيل الفائقة . هذه المعادن عجيبة حقيقة ! عند كل درجة حرارة منخفضة تحمل تياراً كهربائياً دون أن تفقد أية طاقة . الرصاص والفضة والزئبق تضعنا من بين هذه المواد . هذه الظاهرة عرفت منذ عام ١٩١١ م . وفي عام ١٩٥٧ تمكن الطالب العبقري « ليون كوبر » من وضع المفاهيم حول كيفية عمل هذه المواد . ومنذ عام ١٩٦١ ، بدأنا ندخل اللعبة ، واشتغلنا على مواد سهلة التحضير مثل سبيكة قصدير الرصاص . ومع اكتساب الخبرات بدأنا نحاول مع مواد أخرى لها أشكال مختلفة مثل سبيكة قصدير

النيوبيوم . هذه السبيكة هشة نسبياً ، ومن الصعب سحبها على هيئة أسلاك . وكانت تسبب مشاكل عديدة في مجال التعدين . وكان التحدي متعلقاً بالتحكم بالمجال المغناطيسي المتولد بالمادة بسبب اضطراب في مرور التيار الكهربائي . هذا النوع من التعدين الحساس يتطلب معدات ثقيلة باهظة التكاليف مثل جهاز الميكروسكوب الإلكتروني . في هذه المرحلة يكون أمام المرء اختياران إما أن يصبح خبيراً في التعدين ، وهذا يتطلب مصادر تمويل تكفي لبناء المعامل الملائمة أو أن يشغل بالعلم الخفيف » بحثاً عن نتيجة مميزة . ولقد اخترت الطريق الأخير .

ومن الطبيعي أن يسأل المرء :

آن الأوان للتحرك ولكن إلى أين .

في وقت مبكر من هذا القرن وبالتحديد في عام ١٩٢٠ م ، كانت دراسة «البلورات السائلة» قد وضعت تحت الملاحظة في فرنسا تحت رعاية العالم « جورج فريدل » ، حيث أمكن دراسة التغيير البنائي لبعض المواد الشائعة باستخدام الميكروسكوب (المجهر) البسيط .

وخلال حقبة الستينيات اقتنعنا بضرورة تكوين فريق بحثي يعمل في موضوع البلورات السائلة . وخلال ثلاث سنوات احتل فريق العمل في أورساي بفرنسا مكانته العالمية . وبعد مرور ستة أعوام ، أصبح هذا الموضوع هاماً على المستوى التكنولوجي والصناعي وتطلب ذلك تعدد مصادر التمويل .

وفي عام ١٩٧٢ م ، برزت أسئلة علمية عديدة تتعلق بتكنولوجيا تسطح البلمرات . وبدأ « كوهين » في وصف السلسلات الجزيئية المرنة الطويلة التي تشبه الاسباحتي المسلوقة في الشورية ، والتي تمثل تطوراً واضحاً في هذا المجال . إلا أنه تبقى بعض المشاكل الفيزيائية الإحصائية التي يجب أن تحل حتى نفهم كيف ترتب هذه الجزئيات في المحاليل . فكل سلسلتان تميلان إلى المحافظة على مسافة بين كل منها والأخرى . وعبر كل سلسلة جزيئية معطاه يطرد كل جزء منها الجزء الآخر . كل هذا جعل الوضع صعباً للتحليل . ومن حسن الحظ كان معنا بعض الكروت الرابعة وامتدت خبرتنا واكتسبنا المهارات في فهم الأطوار الانتقالية والظواهر الحرجة . على سبيل المثال : عندما يتحول الماء إلى بخار بالطبع توجد نقطة حرجة محددة للضغط ودرجة الحرارة عندما يكون السائل وبخاره لهما نفس الكثافة تقريباً . وتحت هذه الظروف يلاحظ المرء ظواهر غير اعتيادية مثل القطرات الميكروية الدقيقة والقطرات داخل القطرات وهكذا . وكان من حسن حظنا أن نكتشف الطريق إلى تطوير هذه القواعد في إطار عملي للنقاط الحرجة وتطبيق هذه القواعد على سلاسل البلمرات الطافية في المحلول (مثل المكرونة الاسباحتي في الحساء) .

منذ بدء الخليقة ، تلعب الجزيمات الكبيرة دوراً هاماً فى تطوير الحياة . ومنذ زمن طويل يستخدم الإنسان هذه الجزيمات دون أن يتعرض لتحولاتها . والعديد من الأمثلة تتواجد فى الطبيعة مثل : جزيمات القطن السليلوزية الطويلة ، والمركبات الكيميائية لزيت بذرة الكتان وجزيمات الحرير الطبيعى التى تصطف وتشكل الألياف الطبيعية . ويجب أن لا ننسى التركيب الهام لسليلوز الخشب والكيراتين الصوف الذى يستعمله راعى الغنم ، والسليلوز فى ورق البردى الذى استعمله قدماء المصريين فى الكتابة ... إلى آخره .

وفى العصر القديم ظهرت بعض التحويلات التكنولوجية التى شملت اكتشافات التفاعلات الكيميائية ، كما ذكرنا سلفاً فى قصة الحذاء الهندى من بلاد الأمازون. وفى عصر النهضة ، كان عامل النقاشة يستفيد من استعمال زيت بذرة الكتان فى دهان الحوائط . وكان ينتظر حتى يجف الدهان . فى ذلك الوقت كان يجهل دور الأكسجين فى الهواء الذى كان يسبب تماسك الجزيمات الطويلة فى زيت الكتان عند نقاط متعددة وتحولها إلى مادة صلبة ذات مقاومة عالية .

وفى حقبة الثلاثينات من هذا القرن نجح العالم شتودجر فى إنجازين هامين تابعهما الكيميائيون بعد ذلك بكل نشاط أحدهما هو التحليل الكيميائى للجزيمات الميكروية الطبيعية ، الذى أدى إلى تحديد النماذج الكيميائية لهذه الجزيمات الطويلة . ونذكر فيما يلى اثنين من أهم الملاحظات الناجمة :

١ - تحديد التركيب الجزيئى للحرير الطبيعى .

٢ - توضيح حديث للتركيب الجزيئى للـ د. ن. أ.

وجزئى الـ د. ن. أ. هو اختصار لاسمه الانجليزى "deoxyribe nucleic acid" (DNA) هذ الجزئى يحتوى على الخطة الجينية لكل فرد هذه المعلومة متضمنة فى متتابعة تتكون من أربع نيكلوتيدات (أربع جزيمات صغيرة) خلال السلسلة الطويلة للـ د. ن. أ.

- أربعة حروف هيجائية - هكذا كانت !

والإنجاز الناجح الثانى الذى تابعه الكيميائيون يتعلق بتصنيع ألياف قوية مثل النيلون (الذى يشبه الحرير الطبيعى) وكذلك تصنيع أنسجة تقاوم الرصاص وبعض أنواع البلاستيك الذى يدخل فى شتى التطبيقات التى نخدم حياتنا .

والجزيمات الميكروية التى تشكل المواد الصلبة لها خصائص عديدة مذهشة . فعند الحديث عن جزيمات البلمرات ، لابد أن نتحدث على تأثيرها الكبير عند إضافة جزء قليل منها إلى كمية من السائل .

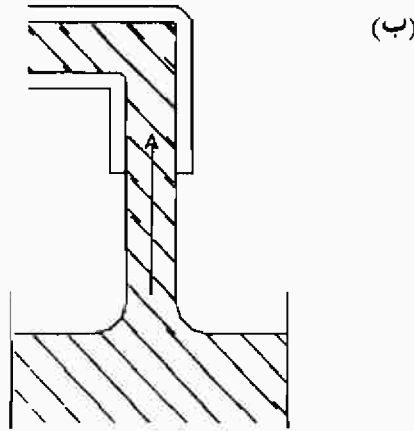
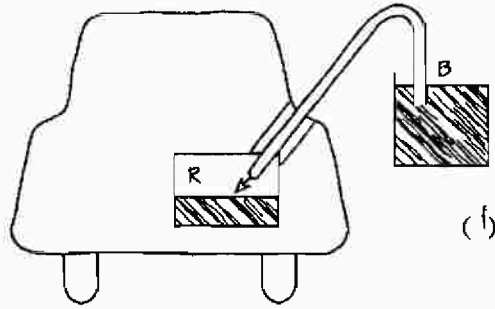
وحتى أوضح ما أقصده ، دعنا نبدأ بقصة تعرض فيها سائق متسبب لحادث طارئ ، حيث فرغ منه الوقود أثناء السير . فإذا فرضنا أن السائق قد وجد محطة تزويد الوقود وحاول ملئ الخزان الاحتياطي ، ولكنه لم يكن في أحسن أيامه وكان فتحه الخزان لا تساعد على إدخال الوقود ! عندئذ ، يكون الأمل الوحيد هو الحصول على أنبوبة ويملي الخزان بالوقود عن طريق إدخال طرف الأنبوبة بعد شفط الوقود من المستودع ووضعه في الخزان . في هذه الحالة يجب أن يكون وضع الخزان أسفل المستودع (انظر شكل ٣) . هذه العملية تسمى عملية « السيفون » وتتأثر عملية تدفق الوقود في الأنبوبة بدخول فقاعات من الهواء وتتوقف العملية ، وعلى السائق أن يبدأ من جديد . ويصبح هذا العمل غير مريح .

ومنذ خمسة عشرة عاماً تعامل مع هذه الظاهرة العالم د. ف. جيمس من جامعة تورنتو بكندا ، وأجرى تجربة رائعة . نظراً لأن السيفون يصبح هاماً تحت الظروف المماثلة باستخدام الماء أو الكيروسين النقي . فقد استعمل في تجربته الماء الذي كان سهلاً وأقل خطورة لاستعماله في المعمل . فحلل ١ جرام صافي من بلمر بولي اكسثيلين في عشرة لترات من الماء . هذا الجزء الصغير من البلمر في الماء جعل السيفون يعمل باستمرار حتى إذا ارتفع طرف الأنبوبة إلى ارتفاع ٢٠ سم فوق سطح الماء . هذا العمود المائي يرتفع في الهواء بدون دعائم . هذه الظاهرة تسمى «سيفون بدون أنبوبة» . وهنا سوف نشرح بطريقة مبسطة ماذا حدث فجزئيات بلمر بولي اكسثيلين تتحلل في الماء وتتجمع مع بعضها ولكنها تتماسك عند إنسياب الماء ، وتتفكك بفعل قوة اندفاع الماء ، كما يحدث في حالة سلك زبركي . هذه القوة تتناسب مع استطالة السلك . فعندما يحدث انسياب للسائل فإن جزئيات البلمر المشدودة تسحب الماء إلى أعلى وتتعادل مع وزن عمود الماء إلى أسفل .

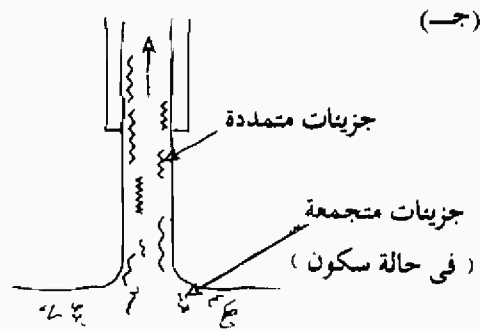
مجرى المراكب :

البلمرات في المحلول لها خصائص معجزة ، على سبيل المثال النيران التي تستمر في المباني المرتفعة تسبب مشاكل جملة لرجال المطافي ، حيث أن خراطيم المياه والمضخات القوية لا تصل إلا إلى الدور الثامن بالكاد . فكيف يمكن إنقاذ امرأة صغيرة في الدور الحادى عشر ؟ الحل هو البلمر العجيب ! عند إضافة بلمر بولييكسي إلى الماء وجد أن ارتفاع الماء يزداد بنسبة ٣٠ ٪ ويمكن إنقاذ هذه السيدة . في هذه الحالة تكون كمية البلمر صغيرة أيضاً ولا تتعدى ٢ جرام لكل عشرة لترات ماء . ويعتبر هذا البلمر منخفض التكاليف .

وأحيانا تلعب البلمرات بعض الحيل . على سبيل المثال ، يوجد في باريس حوض لبناء وإصلاح السفن ، يستخدمه المهندسون العاملون في الأسطول البحري عند اختبار الأجسام . وتتم هذه الطريقة بحسابات معقدة تعتمد عليها صناعة السفن



ماء + بولوكس (١٠٠ ميليجرام / لتر)



(شكل ٣ : أ ، السيفون العادي ، ب) سيفون لا أنبوي ، ج) سيفون لا أنبوي باستخدام جزينات شد .

الجديدة . ويجب أن يكون حجم النموذج مترين لكل سفينة طولها ٢٠٠ متر (أى أن المقياس $\frac{1}{100}$) . ويمكن للمرء أن يتنبأ بطريقة إنجاز سفينة المستقبل وذلك بقياس مميزات هذا النموذج مثل قياس السرعة القصوى لقدرة الآلة المعطاه . وعلى المهندسين أن يتأكدوا من دقة النتائج . ولذلك فهم يكررون قياساتهم كل عدة أشهر، تحت نفس الشروط ولذات النموذج ونفس البحيرة المائية .

وفى إحدى الأيام ، حدث هلع عندما جاءت النتائج غير ماسبقها وبعد إعادة القياس للسرعة القصوى عدة مرات فى عدة شهور ، وجد أن السرعة القصوى تنخفض بمعدل ٤٠ ٪ وكان ذلك بعيداً عن أى خطأ متوقع . وكان عدم اليقين فى هذه القيمة غير مقبول .

وأخيراً ، اكتشف المهندسون المذهولون السبب ، وهو الماء بالمستودع . هذا الماء كان يكلف كثيراً عند تغييره بطريقة دائمة ويبقى راکداً لعدة شهور فى بركة متسعة. هذه الشروط أدت إلى نمو طحالب صغيرة التى تضيف كمية سرية من البلمرات الخاصة (فى هذه الحالة بلمر عديد التسكر) الذى يمثل سلاسل طويلة من السكر هذه السلاسل الجزيئية لها القدرة على خفض قوة الاحتكاك . وسرعان ما عالج المهندسون هذه المشكلة بإضافة قليل من الكلور فى ماء البحيرة لمنع نمو هذه الطحالب .

من هنا يبقى السؤال الأساسى : لماذا فى كل هذه الحالات يؤدى إضافة قليل من البلمر إلى المحلول إلى خفض الاحتكاك بين الموائع والأجسام الصلبة ؟ الانخفاض المحلوظ فى الشد وهو العامل الآخر للإحتكاك وعندما ينساب المائع فى الأنبوبة أو عندما يتحرك سطح صلب فى المائع (مثل جسم السفينة فى البحيرة) يعتبر مصدر إزعاج . وعلى الفور يفكر المرء فى إضافة جزيئات كبيرة إلى الماء (مثل المكرونة الاسباجتى فى الحساء) التى تسبب زيادة فى معامل اللزوجة للسائل . فالموائع اللزجة تنساب أبطأ من السوائل الأكثر حرية .

وبعد عشرة أعوام من الجدل العلمى حوّل المعالجة النظرية لظاهرة انخفاض قوة سحب السوائل ، تطورت التجارب العملية لشرح تلك الظاهرة والتى ما زالت بعد ٥٠ عاماً غير مفهومة . وما زال الجدل دائراً حول نجاح النظرية فى مواجهة التجريب .

فى فرنسا ، يعطى التعليم اهتماماً كبيراً للنظريات ، وهذا عكس ما يحدث فى البلاد الأنجلوساكسونية ، حيث يكون تدريس العلوم أكثر حزمًا وقطعيًا . هذا يجعل الطلاب يعتقدون أن معرفة قليل من النظريات وبعض من المبادئ العامة كافياً لشرح أية ظاهرة حتى ولو ابتكرت تطبيقات قليلة .

١/٣/ب - أربعة معادلات لاشباه

الماس النقى:

على سبيل المثال ، فى عام ١٨٦٧ وضع العالم الاسكتلندى كلارك ماكسويل (١٨٣١ - ١٨٧٩ م) معادلاته الشهيرة التى يمكن تلخيصها فى أربع معادلات مرتبطة بكل ظاهرة تتضمن التيارات والمجالات الكهربائية والمغناطيسية . هذه المعادلات تماثل البحث عن الجواهر ، خاصة بعد صياغتها اليوم بالطرق الحديثة .

التعامل مع هذه المعادلات يمكننا من تعيين التأثير المغناطيسى على مرور التيار الكهربائى داخل سلك . وانتشار الموجات الراديوية أو الضوء وكذلك الموجات الكهرومغناطيسية . وأيضاً الدينامو والفرامل الكهرومغناطيسية للشحنات وفرن الميكروويث .

هذه المعادلات لم تسقط علينا من الفضاء ، بل عانى ماكسويل كثيراً من العوائق والتخبط النفسى قبل أن يبدأ فى صياغة معادلاته التى تتوافق مع المشاهدات العملية . واستطاع فى حينه أن يثبت أن سرعة الضوء تمثل مقداراً ثابتاً فى الفراغ ، وتقدر قيمتها ٣٠٠,٠٠٠ كم/ث وفى نفس الوقت تمكن العالمان الفرنسيان ل. فيزو (١٨١٩ - ١٨٩٦ م) و ج. ب. فوكولت (١٨١٩ - ١٨٦٨ م) من النجاح فى قياس سرعة الضوء التى كانت لها نفس القيمة تقريباً . وشملت دراسة ماكسويل الطيف الضوئى المرئى وغير المرئى وبعد ذلك بقليل تمكن العالم الألمانى هـ. د. هرتز (١٨٥٧ - ١٨٩٤) من تأكيد مضمون ماكسويل فى وجود موجات كهرومغناطيسية واضحة فى مدى طيفى مختلف عن الضوء وكانت هذه هى موجات الراديو .

١/٣ ج - ميلاد الافكار الجديدة :

يعانى الطلاب الذين يتعاملون مع معادلات ماكسويل شعوراً بالإحباط وأنهم لا يستطيعون أن يطبقوا رتبة هذا الإنجاز العظيم . ولكى نرفع من معنويات هؤلاء الطلاب نجعلهم يشاركوننا نزواتنا المهنية ، ولابد أن نستمر فى التنقيب ولو قليلاً فى تاريخ العلم تكون لنا عبرة فى نجاح الأولين .

« تعلم العلم ليس بالشئ الضخم » الذى يملأ المصنفات السمكية ويقسمها إلى موضوعات مثل الكهرباء والميكانيكا والبلاستيك وهكذا ، فتعليم المعرفة لا يجعل المرء يتجاوز الطريق الصعب الذى أدى إلى المعادلات الكبرى . وأنتى اعتقد أن العقول العظيمة أمثال ماكسويل ونيوتن كان لابد أن تبحر خلال المحاولات العديدة والعقبات الكثيرة حتى نجحت فى بناء نظرياتهم المعجزة .

الحقيقة أن الحبر الصينى الذى أطلق عليه الانجليز اسم « الحبر الهندى » اتى إلينا من مصر ، وقد تم اكتشافه وتوظيفه منذ ٤٠٠٠ عام مضت من أجل تحقيق الرغبة فى الكتابة .

١/٤ - الكتابة عند قدماء المصريين
واللدائن العربية والحبر
الصينى :

منذ بداية الرسم فى الكهوف لاحظ الناس أن تسجيل رسوماتهم على الجدران يحتاج إلى استعمال السوائل الملونة ، الذى نسميه اليوم الحبر أو الطلاء . والتقنيك البسيط الواضح هو تذيب بعض المساحيق الملونة فى الماء . والكربون الأسود أو الفحم النباتي والأكاسيد البنية والصفراء والحمراء كانت تكفى هذه الاحتياجات .

وباستخدام العصى الخشب أو قطع من الجذع أو ريش الطيور وأخيراً القلم المعدنى مع فرشاة الشعر ، يمكن ترسيب الحبر أو الطلاء على شريحة اسفنجية مثل الخشب أو ورق البردى أو الحجر أو الورق . وتعتبر السوائل مفيدة لهذا الغرض ، حيث تبلل السطح وتنشع الشريحة وتسحب معها الحبوب الدقيقة التى تجف وتصبح صلبة ، والصور التى خطها قدماء المصريين كانوا يستخدمون فيها الحبر الأسود . وتحضيره باختصار يتم عن طريق إشعال شمعة وترسيب الكربون الناتج على هيئة جسيمات دقيقة تسمى الكربون الأسود (انظر شكل ٤ أ) ، ثم يوضع هذا الكربون فى الماء ويخفف بقوة ، ينتج عن ذلك الحبر الأسود . وقد وجد الكاتب المصرى القديم ذات يوم ، بعد غمر الكربون الأسود فى الماء ، أن السائل عديم اللون . ولاحظ تراسب سوداء فى القاع من الصعب غمرها (انظر شكل ٥) . وكان عليه أن يعيد العمل مرة أخرى . وفى الألفية الثانية استطاع الكاتب العبقري استعمال اللدائن العربية ووضعها فى محلول الكربون الأسود . بعد ذلك لم يترسب الكربون فى القاع ، ولم يعرف أحد ما حدث ولكن النتيجة إنتاج الحبر الأسود المستقر على الأقل لمدة عام كامل .

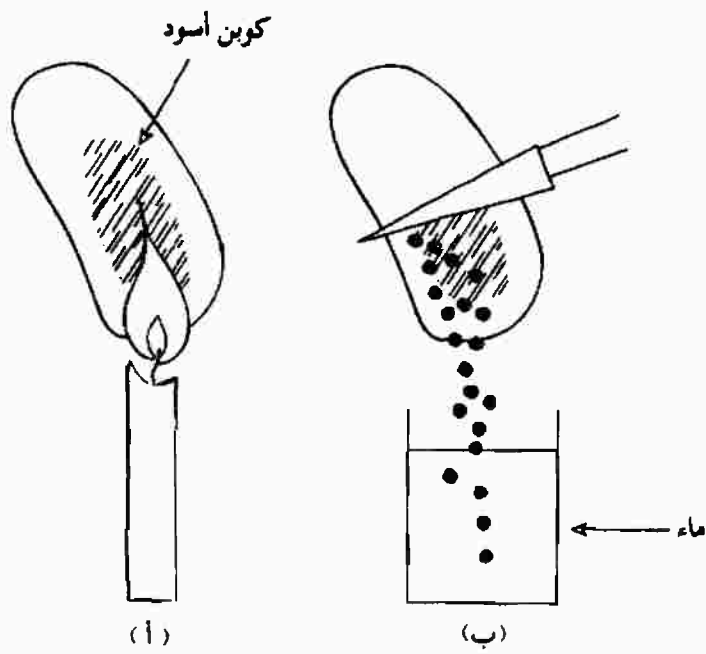
يظهر الآن سؤالان فى الأفق :

الأول : لماذا تتجمع حبيبات الكربون الأسود معاً ليتشكل حبيبات كبيرة تسقط إلى القاع الذى يحتوى على الحبر ؟ (انظر شكل ٦) .

الثانى : لماذا تتدخل اللدائن العربية (الصمغ العربى) فى عملية التبلد ؟

لكى نجيب على هذين السؤالين ، دعنا أولاً نحلل قليلاً من الكحول فى الماء . فجميع جزيئات كل من الماء والكحول تتحرك فى نفس الاتجاه ، تتصادم أحياناً مع بعضها مثل حبيبات القمح عند غربلتها . هذا التصادم (بفعل النهج الحرارى) يحث على الاندماج والخلط . ويمكن لجزيئين من الكحول يعانيان من نفس القوة التى تسحبهما نحو بعضهما . هذه القوة تسمى « قوة فان ديرفال » التى افترضت فى بداية القرن العشرين بواسطة العالم الهولندى الذى سميت باسمه .

وفى عدم وجود تأثير حرارى ، فإن جزيئات الكحول لا تتجاذب بفعل قوة فان ديرفال وتتماصك معاً (انظر شكل ٧) . كما تتصادم جزيئات الكحول مع جزيئات الماء ولكن التأثير الحرارى يجعلهما منفصلين . ولكن ماذا عن حبيبات الكربون ؟



شكل ٤ : طريقة عمل الحبر الأسود



شكل ٥ : الطبيعة لا تتعاون دائما

هذه الحبيبات كبيرة جداً بالمقارنة بجزئ الكحول (بحوالى ١٠,٠٠٠ مرة) وهذا يغير من كل شيء ، ففوة فان ديرفال تستحوذ على الموقف بالمقارنة بقوة التأثير الحرارى .

وعندما ترتبط حبيبتان معاً تكون الطاقة كبيرة ، حوالى مائة مرة أكبر من طاقة الترابط التى تنشأ عن تماسك الجزيئات . والتصادم نتيجة للحركة الحرارية لا يكفي أن يفصلهما . وعادة يكون التصادم فى اتجاهات عشوائية ، تؤدى إلى تأثير بعضها على بعض . وبالفعل تتجاذب الحبيبات مع بعضها وتشكل عشاير ، ويتأثر الوزن نسقط إلى القاع . ولكن لماذا يمنع الصمغ العربى هذا التلبد ؟ الصمغ العربى يتكون من شرائح من شجرة الأكاسيا (شجرة الصمغ) وتحتوى على جزيئات سكر طويلة من حامض بولييهيا لوبورونيك . هذه الجزيئات سرعان ما تتحلل فى الماء وتلتصق بسهولة على حبيبات الكربون الأسود ونظراً للتصارع الذى يحدث بينهما ، فرى تجمع جزئ كامل حول هذه الحبيبة . وكل حبيبة ترتبط بعدد من جزيئات السكر وتخلق شيئاً فشيئاً ما يشبه غابة من الشعر مثل أكاليل الزهور على سطح الحبيبة . هذا الاسم يبين ظهور شكل يشبه التاج . هذا لا يدعنا نقول أن قوى فان ديرفال قد اختفت ، فهى تستمر فى التأثير وأن حبيبتان قد ينجذبان بعضهما لبعض بفعل هذه القوة ، إلا أنه عندما يتقاربان تتلامس جزيئات السكر التى سرعان ما تتحلل فى الماء بفعل تأثير الهدرجة ، فإن ترابطهما مع جزيئات الماء يكون أقوى من قوة جذب فان ديرفال وفى النهاية تنشأ قوة تنافر تمنع تقارب الحبيبات . وهكذا نرى كيف تصبح حبيبات الكربون مفرطة وتصبح المتعلقة من الكربون الأسود أو ما يماثلها مستقرة .

١/٤ ب - المضيفات تصنع الفرق :

منذ ٤٠٠٠ عام ، تمكن العلماء من شرح كيفية فصل الجبر الصينى . هذا التفسير لا يتعدى الآن سوى عشرة أعوام من معرفة آلة أو ميكانيزم الاستقرار الذى يمنحه «أكليل» البلمر . فيما يلى سوف أصف تجربة أجراها العالم الكيميائى الانجليزى ميكيل فارادى (١٧٩١ - ١٨٦٧) وهو أحد أجدادنا العظماء . الذين ندين له باكتشافه للتحليل الكهربائى للسوائل وكذلك قوانين الحث الكهربائى .

فى هذه التجربة ، صنع فارادى متعلقات غروية من الذهب ، وذلكها تحت الماء . وعند توصيل إلكترودان من الذهب بطرفى بطارية ، نتجت شرارة . تولدت بعدها جسيمات دقيقة من الذهب معلقة فى الماء وتسميت فى تلون الماء بلون أحمر مميز . وعند فتح البطارية تبقى المادة الغروية مستقرة . فى هذه الحالة وبالرغم من تأثير قوة فان ديرفال إلا أن الحبيبات تظل منفصلة .

فى هذه التجربة اكتشف فارادى ميكانيزم جديد يعمل على استقرار الغرويات وهو « التفاعل الكهرو استاتيكي » انظر شكل ٨ وجسيمات الذهب تحمل تلقائياً

شحنات سالبة . ونظراً لأن الشحنات المتشابهة تتنافر والشحنات المختلفة تتجاذب ، فإن قوة فان ديرفال تتعادل مع قوة التنافر الكهروستاتيكي . وتبقى الحبيبات معزولة ، وبذلك تصبح الغرويات مستقرة ولكي نوضح ذلك ، حلل فاراداي ملح كلوريد الصوديوم في المعلق . وتغير لون المحلول إلى الأزرق . وتجمعت الحبيبات وتحولت إلى أشكال كبيرة ... ماذا يحدث ؟ عندما تحلل جزيئات كلوريد الصوديوم في الماء تفككت إلى مكوناتها الأيونية ، أحدهما أيون الصوديوم الموجب والآخر أيون الكلور السالب (انظر شكل ٩) . وأيونات الصوديوم الموجبة تتجاذب مع الجسيمات السالبة للذهب وتعادل المحال الكهربائي لكل حبيبة . وتبقى فقط قوة فان ديرفال التي تعمل على تجميع الحبيبات معاً . وبالتالي تتغير المميزات البصرية للمعلقات ويتغير لونها إلى الأزرق .

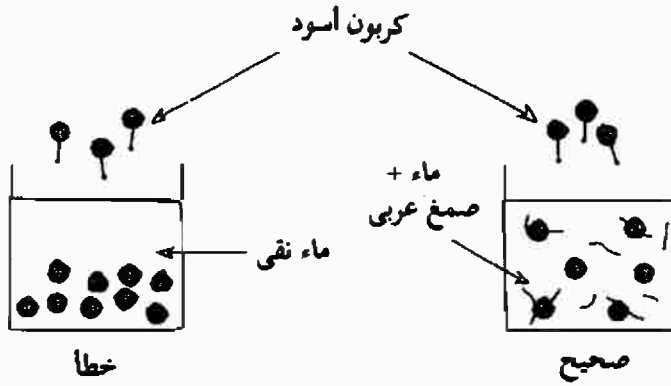
وقد أنجز فاراداي تجربة أخرى ، حلل كمية من الجيلاتين في وجود غرويات الذهب المستقر بلونها الأحمر . هذه المادة جزيئاتها تحتوي على سلاسل طويلة وتشبه جزيئات الصمغ العربي السكرية ، وتلعب نفس الدور ، وعند إضافة ملح كلوريد الصوديوم في المحلول ظلت الغرويات على لونها الأحمر وبقيت مستقرة . من هنا اكتشف فاراداي الطريقة المصرية القديمة لاستقرار الغرويات . في هذه الحالة ، فإن غرويات الذهب الحمراء التي اضيف إليها الجيلاتين أصبحت مضاعفة الاستقرار . أحدهما نتيجة الشحنات الكهربائية التي تحملها الحبيبات والأخرى بالأكاليل الجيلاتينية حول كل حبيبة . وعند إضافة الملح عند هذه النقطة فإنه يضعف التأثير الكهربائي كما شرحنا سلفاً ، إلا أنه يبقى على التجمع الأكاليلى للجيلاتين وتبقى الغرويات مستقرة ، كما حدث في حالة الحبر الصيني .

وأنتى اعتبر قصة الحبر الصيني مثالية ، لأنها أوضحت لنا خصائص المواد الدقيقة التي تلعب دوراً مهماً في حياتنا ، مثل المنتجات الغذائية : كالكريم والمسلى الصناعى والمايونيز وكذلك صناعة الزيوت وأدوات التجميل . فمع إضافة قليل من البلمر تتحول المادة إلى ما أسميه بالمواد الرخوة .

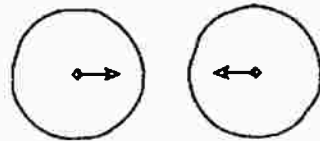
تعلمنا في مراحل التعليم أن المادة تتواجد في ثلاث حالات مختلفة هي الصلبة والسائلة والغازية .

٥/١ - البلورات السائلة :

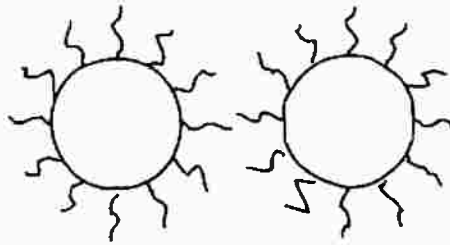
* في الحالة الصلبة ، تكون الذرات قريبة جداً من بعضها في شبكة صلبة ، وغالباً تكون جزيئاتها لامتناحية (متباينة الخواص في النواحي والاتجاهات) . وخصائصها تعتمد على اتجاه قياسها . على سبيل المثال سرعة انتشار الصوت تعتمد على اتجاه انتشارها .



شكل ٦ : تحسين طريقة تحضير الحبر الأسود

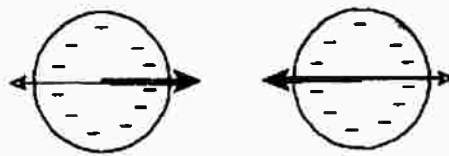


حبيبات مكشوفة تجذب بعضها للآخر



حبيبات مصقولة بالبولمر تطرد بعضها

شكل ٧ : تفاعل جزيئات الغرويات بواسطة جزيئات البولمرات



← تنافر كهروستاتيكي
→ تجاذب فان دير فال

شكل ٨ : الأثران الكهروستاتيكي للمعلقات

وفى حالة البلورات تترتب الذرات فى حالة منظمة وتكون الجزيئات متناحية ذوات ترتيب منتظم ، انظر شكل ١٠ .

* والحالة السائلة على النقيض ، تتشكل بشكل الإناء التى توضع فيه ، كما أنها تتغير فى الشكل بالتأثير عليها بأى قوة ضعيفة . والجزيئات لا متناحية غير ثابتة، وتناثر حركتها بالحرارة . هذه السوائل تكون أيضاً فوضوية التوزيع .

* والغازات تكون مثل الموائع ، وهى أيضاً فوضوية التوزيع ، وجزيئاتها متباعدة . وكثافة الغازات عادة تكون أصغر من مثيلاتها فى السوائل . والقوى الجزيئية ضعيفة جداً . والقوة المهمة بين هذه القوى تنتج عن التصادم بين الجزيئات وتسمى كما ذكرنا قوة فان ديرفال . هذا التصور عن حالات المادة بسيط ، ويوجد عدد كبير من الحالات الانتقالية البينية ، تكون المادة فيها بين احالة السائلة والحالة الصلبة ، على سبيل المثال ، البلورات السائلة التى اكتشفت منذ قرن من الزمان ، وأصبحت منذ عشرين عاما من الموضوعات الهامة ، وتستخدم الآن تطبيقات تكنولوجية عديدة ، نذكر منها البطاريات متناهية الصغر التى تستخدم فى تشغيل الساعات لمدة عامين كاملين وتستخدم فى شاشات العرض لأجهزة الكمبيوتر .

اختيار خصيف للجزيئات

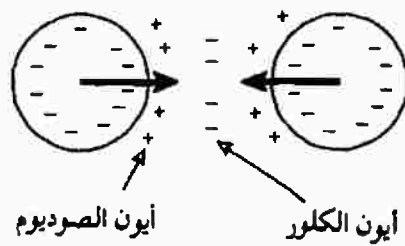
لكى نحصل على بلورات سائلة ، يجب أن يبدأ المرء بالجزيئات الطويلة . الجزء الصلب بالجزيئ لايشكل البلورة السائلة ، فإذا كانت الجزيئات صلبة تماماً فإنها تشكل بلورة عند درجة الحرارة العادية . إلا أننا نحتاج إلى السلاسل المرنة على أطراف الجزيئ الطويل لتكوين الحالة السائلة الشكل ١١ ، يبين أحد هذه الأنواع ويطلق عليه اسم ن - ٤ ميثولسييزليدين ويرمز له بالرمز MBBA .

الحالة النيمائية :

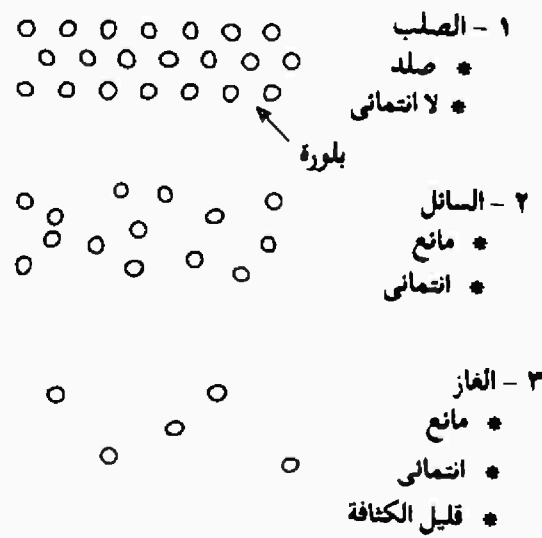
فى حالة السائل الانتمائى تتجه الجزيئات حتى لو كانت طويلة جميعها فى نفس الاتجاه وهى دائماً فى حالة فوضى . أما فى حالة السوائل النيمائية الموضحة بالشكل (١٢) فالجزيئات الطويلة تبقى متوازية فى اتجاه معروف . ولكن الأوضاع النسبية للجزيئات المختلفة غير ثابتة والجزيئات تكون حرة الحركة . وخصائص السائل النيمائى تعتمد على كيفية قياسها فى اتجاه مواز أو اتجاه عمودى على المحور الجزيئى كما هو موضح بالاتجاه ١ أو ٢ بالشكل (١٢) .

الحالة السميكتية :

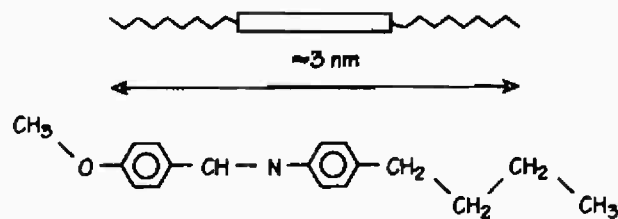
السوائل السميكتية يكون لها تراكيب مختلفة . فالجزيئات ترتب نفسها فى طبقات ، كما هو الحال فى مادة الصابون التى يكون لها نفس التراكيب . وكلمة سميكتية مشتقة من الأصل اليونانى « سميكتيكوس » ويعنى الصابون ، وسمك كل طبقة معروف جداً . والجزيئات تكون متوازية بعضها لبعض وتشكل سائلا ذى بعدين . تحت التأثير الحرارى تتحرك الجزيئات بحرية خلال تواجدها فى طبقة



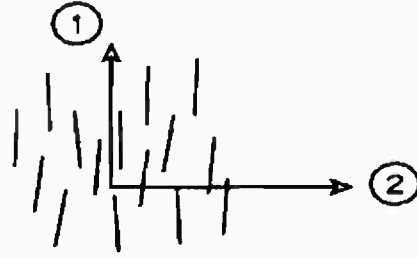
شكل ٩ : الاتزان بين أيونات الصوديوم والكلور في محلول الملح



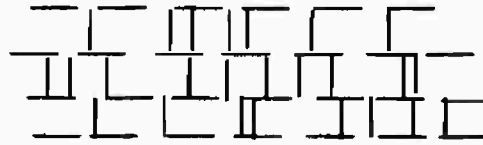
شكل ١٠ : حالات المادة الثلاثة ، الصلبة والسائلة والغازية



شكل ١١ : التركيب الجزيئي للبلورات السائلة الشائعة MBBA



نيماتى (مانع لا انتمائى)



سميكتى (مثل الصابون)

شكل ١٢ : الفرق بين السائل العادى ونوعين من البلورات السائلة النيماتية والسميكتية

محددة. ومراكز هذه الجزئيات يكون لها توزيع عشوائي . والقسم الرئيسى من عائلة السميكيتيات تكون جزئياته عمودية على مستوى الطبقات . والأقسام الأخرى من السميكيتيات الأقل اعتيادية حيث ترص الجزئيات فى مستوى الطبقات . هذه الجزئيات مثل الجزئيات النيمائية لامتناحية وتتحدد خصائصها باختلاف طريقة القياس ، إذ كانت عمودية أو موازية لهذه الطبقات .

والسؤال المطروح ، كيف يمكن التعرف على البلورة السائلة ؟ أول محاولة حقيقية بذلت لفهم طبيعة البلورات السائلة كانت على يد العالم الفرنسى جورج فريدل (١٨٦٥ - ١٩٣٣ م) . وفى القرن التاسع عشر اكتشف أخيه تشارلز فريدل (١٨٣٢ - ١٨٩٩ م) تفاعل كيميائى عضوى عرف باسم تفاعل فريدل - كرفت . أما « فريدل الثالث » الذى أصبح مديراً لمدرسة ميتز فى باريس ومعه أخوه « جاك فريدل » فيمثلان الجيل الرابع لعائلة فريدل . كان جاك فريدل من أوائل العلماء الفرنسيين فى مجال المعادن .

وعام ١٩٢٠ ، نجح جورج فريدل فى فهم التوزيع الفراغى للجزئيات التى لايراهها مباشرة ، والتى يتعدى طولها ٢٠ - ٤٠ أنجستروم (أى ٢ - ٤ جزء من المليون من الميلى متر) . وباستخدام ميكروسكوب بسيط (مجهر بصرى عادى) تمكن من مشاهدة بعض الخطوط التى لايتعدى طولها بعض من الأجزاء العشرية من الميلىمتر . كما تمكن فريدل من تعيين تراكيب المواد السميكيتية . وعلى المقياس الدقيق يلاحظ أن الجزئيات النيمائية تبقى موازية لبعضها . ولكن على مسافات متميزة قد تتغير هذه الاتجاهات .

التطبيقات الأولية للبلورات السائلة تكون فى شاشات العرض فى الساعات والأجهزة الالكترونية ، ويعتمد ذلك على الخواص التالية :

خواص البلورات السائلة :

(١) خواص تركيبية :

نعرف أن الجزئيات النيمائية لها سلوك يشبه سلوك سرب من السمك الذى يسبح موازٍ لبعضه لبعض . واتجاه الحركة يتحدد باستخدام وسيط خارجى . لنأخذ شريحتين من الزجاج كما هو مبين بالشكل (١٣ أ) كل منهما مخطط بمجموعتين من الحفر تدعى G_1 و G_2 . هذه المنزلاقات تكون عمودية على بعضهما . فإذا غمسنا جزئيات من البلورات السائلة النيمائية بين هذين اللوحين ، فإنهما سوف يعانيان وضعاً غير مريح ، بالقرب من المنزلق العلوى ، حيث أن الجزئيات ترغب فى توجيه نفسها على طول الحفر - الجزئيات فى المنزلق الأسفل ترغب فى التوجه فى خط أعلى من الحفر على المنزلق وهى فى اتجاه عمودى على G_1 وعلى الرغم أن الجزئيات ترغب أن تبقى فى اتجاه موازٍ لبعضها ، إلا أنها تضطر إلى الخضوع للشروط الخارجية . فهى تأخذ شكلاً حلزونياً إلى أعلى فى دوائر مثل

حالة السلم الملتف كما هو موضح (بالشكل ١٣ أ) . هذا التركيب تم مشاهدته بواسطة العالم « تشارلز ماجوين » وتسمى الحالة بالنيماتية المجدلية (الملفوفة) .

ب) الخواص الكهربائية :

عند تطبيق جهد كهربائي بين المنزلقين الزجاجين ، فيتولد مجال كهربائي بينهما . ومن أجل أن يكون الزجاج موصل كهربائياً يطلى عادة بمادة أكسيد القصدير . يلاحظ أن محور الجزيئات يصطف في اتجاه مواز لاتجاه المجال .

ج) الخواص البصرية :

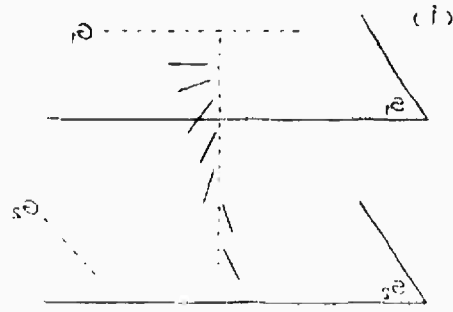
جزيئات البلورات السائلة لها خواص مختلفة تتحدد بالاتجاهات الموازية والعمودية على طولها . فهي تكون لا انتمائية وبصرية . والضوء المستقطب جعلنا نستفيد من هذه الميزة عند دراسة الخصائص البصرية .

فإذا أراد المرء فحص خصائص الأشعة الشمسية ، بحيث لا يكون هناك أى اتجاه مميز يظهر فى مستوى عمودى على الشعاع (شكل ١٤ أ) ، (نفس الشيء يحدث إذا استعمل الضوء العادى الصادر من شمعة أو مصباح ضوئى تقليدى) وعندما ينعكس الشعاع الشمسى بواسطة السطح الزجاجى ، فيكون الشعاع المنعكس له اتجاه مميز فى اتجاه عمودى على المستوى الذى تشكل بواسطة الشعاع الساقط والشعاع المنعكس . فى هذه الحالة يقال أن الضوء قد استقطب . والاستقطاب الضوئى ينتج باستعمال المستقطب الذى عادة ما يكون على شكل شريحة بلاستيكية تسمح للضوء المستقطب بالمرور فى اتجاه متطابق مع الاتجاهات المميزة لوسط الاستقطاب (شكل ١٥) .

والمستقطب الضوئى له دالة أخرى فى استعماله كمرشح ضوئى (محلل للضوء) ، ويعتمد مسار الشعاع الضوئى الساقط إذا ما كان اتجاه الاستقطاب موازياً أو عمودياً على اتجاه التميز للوسط .

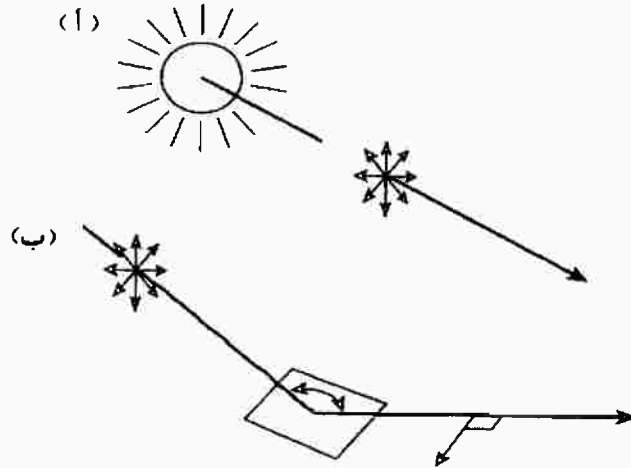
والآن ، نستطيع أن نشرح كيف تعمل شاشات العرض باستخدام البلورات السائلة .

نستخدم الكترودين مصنعين من زجاج محرز وموصل للكهرباء (انظر شكل ١٦) ونضع مادة البلورات السائلة بين اللوحين الزجاجين المنزلقين وهى فى طورها النيماتى المجدلى . ومستقطب للضوء P_1 كما هو موضح بالشكل ١٦ أ ، فيلف اتجاه الاستقطاب حول المحور الشعاعى كما يلف الجسم عندما يتحرك أسفل سلم حلزوني . وعندما يصل الضوء إلى المنزلق S_2 ، يصبح اتجاه الاستقطاب عمودياً على اتجاه المرشح الضوئى P_2 الموضوع خارج المنزلق S_2 . والمستقطب الثانى يبعث الضوء وبالتالي تظهر الخلفية سوداء . وإذا أحدثنا جهداً كبيراً بين الإلكترودين ينشأ



شكل ١٣ : الترتيب الفراغى لطبقة نيمائية بين الحدود الحفرية :
(أ) عند الاتزان .

(ب) بعد إحداث مجال كهربائى فى اتجاه عمودى .



شكل ١٤ : ضوء اعتيادى غير مستقطب .

(أ) قد يفضل اتجاه استقطاب محدد .

(ب) استقطاب فى اتجاه السطح .

مجال كهربائي يسبب تصنيف المحور الجزيئي على طول اتجاه المجال . وبذلك يكون الضوء المستقطب بواسطة المستقطب P_1 غير متأثر خلال مروره بالجزئيات النيماتية . في هذه الحالة ، فإن الضوء المستقطب الذي لم يتغير اتجاهه هو الذي يصل إلى المستقطب P_2 ، ويكون اتجاه الاستقطاب موازياً لاتجاه الترشيع الضوئي في هذا المستقطب . ويمر الضوء دون إعاقة ، وتبقى الخلفية ساطعة في شاشات العرض . والرموز المراد ببيانها (إذا كانت رقمية أو حروف) فإنها تظهر على الشرائح الزجاجية . كل رمز يصنع من أقسام قصيرة من خطوط مستقيمة في شكل الكترودين مسجلين على كل شريحة وإحداث الجهد الكهربى من عدمه بين هذين الكترودين ، يحدد ما إذا كانت أجزاء الخطوط المستقيمة تظهر أو لا تظهر .

والجدير بالذكر أن شاشات العرض التى تستعمل فيها الجزئيات النيماتية المجدلية تلعب دوراً عظيماً فى الوقت الحاضر . هذه الأجهزة تستعمل طاقة قليلة عند تشغيلها .

ومن عيوب هذه الشاشات أنها تحتاج إلى وقت طويل حتى يتولد أو يزال المجال الكهربائى ، بحيث تصبح الجزئيات مستعدة لتحويل الاتجاه . وقد يكون هذا الوقت قصيراً بدرجة كافية للساعات أو شاشات العرض الإلكترونية ، إلا أنها تعتبر طويلة لشاشات العرض المستخدمة فى التلفزيونات .

ونأمل أن المستقبل يطور لنا المواد البلورية السائلة المناسبة التى تتغلب على مثل هذه المشاكل الفنية .

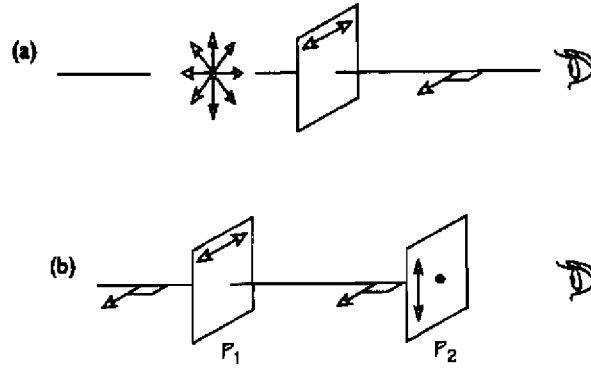
من المعروف أن خصائص الأسطح تلعب دوراً عملياً هاماً ، وتتضمن العديد من المشاكل الفيزيائية مثل مشاكل التشحيم . فقطرة من الزيت تمنع الباب من الصرصره ، أو تسمح لموتور ما بالدوران بسرعات عالية عند درجات حرارة مرتفعة وتأثيرات الأسطح للخامات منخفضة التداعى على العديد من التفاعلات الكيميائية .

دعنا نرى ما يحدث من علاقة بين السائل والصلب عندما يتلامسان معاً : عند سقوط قطرة من السائل (كالماء) على سطح صلب ، هذا السائل يعانى من وضعين مميزين (يعتمد على اختيار السطح) هما :

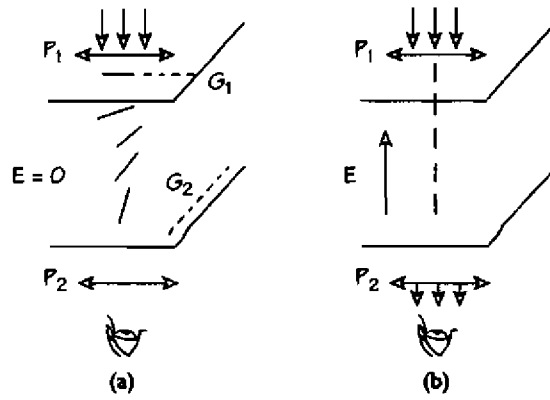
١ - يطرد السطح الماء ويعد كارهاً له ، حيث يمنع ذلك انتشاره على السطح وتكون القطرة على شكل قلنسوة كرية ، يطلق على هذه الحالة اسم «البلى الجزئى» ، ويمكن مشاهدة هذه الحالة عند سقوط قطرة الماء على سطح مشمع أو ريشة البطة . انظر شكل ١٧ .

٢ - سطح يجذب الماء ، وتسمى هذه الظاهرة بالحالة الشرهة للماء . ونرى هذه

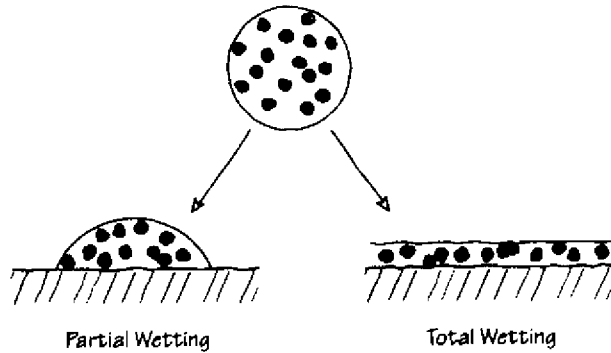
٦/١ - البلى وعدم البلى على
أسطح الأشياء :
١/٦/١ - ريشة البطة :



شكل ١٥ : ضوء مستقطب باستخدام شريحة استقطاب :
 (أ) يمنع الضوء باستخدام المحلل الضوئي .
 (ب) خروج الضوء بعد دوران المحلل بزاوية 90° .



شكل ١٦ : استخدام البلورات السائلة في شاشات العرض عن طريق استخدام الطور النيماتى بين مستقطبين .



شكل ١٧ : البلل الجزئى والبلل الكامل على سطح صلب بواسطة قطرة سائل .

الحالة عند سقوط قطرة الماء على سطح زجاجي نظيف أو سطح معدني . هذا الوضع يمثل حالة « البلل الكامل » .

ويعود الفضل إلى دراسة علم البلل إلى كل من العالم الإنجليزي توماس ياغ (١٧٧٣ - ١٨٢٩) والعالم الفرنسي بيرسيمون دي لابلاس (١٧٤٩ - ١٨٢٧ م) الذي كان يعمل في مجال الرياضيات والفيزياء والفلك . واعتمد لابلاس في ذرات ظاهرة البلل على معادلات التفاضل الجزئي ، أما ياغ فاعتمد على التصميمات الهندسة اليونانية القديمة ، وكان مولعاً بدراسة الخصائص الفيزيائية للمواد ، منها البلل والمرونة التي ترتبط بعلم تشوه المادة الصلبة . ويرتبط باسمه معامل مرونة هام يسمى « معامل ياغ » ، وكذلك اهتم بدراسة الموجات الضوئية التي ترتبط بظاهرة التداخل الضوئي . ووضع أسس لتجربته الشهيرة التي تدرس في المدارس المختلفة ، وتتلخص في تعريض ثقبين في حائل معتم للإضاءة يتولد عن ذلك تداخل الأمواج الضوئية ، الذي يشاهد كنموذج مرئي على شاشة الاستقبال خلف هذا الحائل . والجدير بالذكر أن ياغ كان شغوفاً بالحضارات القديمة ، ودرس كتابات قدماء المصريين . وكان منافساً لشمبليون (١٧٩٠ - ١٨٣٢ م) الذي فك شفرة اللغة الهيروغليفية .

وقد اهتمت مجموعتي البحثية منذ سنوات بدراسة ظاهرة البلل . وكانت بحوثنا مركزة على العمليات الدينامية وانتشار السائل ، بالإضافة إلى التشكيل النهائي للقطرة . وكنا نجرى بعض البحوث حول القوانين العكسية لظاهرة عدم البلل "dewetting" .

دعنا فيما يلي نوضح ما المقصود بظاهرة عدم البلل ، وذلك من خلال التجربة البسيطة الآتية :

إذا سقطت قطرة مائية على شريحة من البلاستيك الشفاف مثل البولي ايثيلين ، نلاحظ على التو أن القطرة لا تنتشر . وهذه حالة معروفة للبلل الجزئي (شكل ١٨ أ) والبولي ايثيلين يكون سطحاً شراً للماء . تخيل الآن ، أنك أخذت القطرة إلى أسفل بأصبعك مؤثراً عليها بقوة للانتشار على سطح البلاستيك (شكل ١٨ ب) ، ماذا حدث ؟ على الفور تشكل منطقة جافة على المساحة المغطاه بالماء . هذه البقع الجافة تتمدد ويحاول السائل الهرب وتفادى السطح الصلب (شكل ١٨ ج) .

وتبين التجربة سرعة تكوين المنطقة الجافة . هذه الظاهرة درست بعناية عن طريق الزملاء ف. بورشاد و ج.ب. بروزاكا وأيضاً ل. ريدون .

١/٦ ب - بساط العائلة :

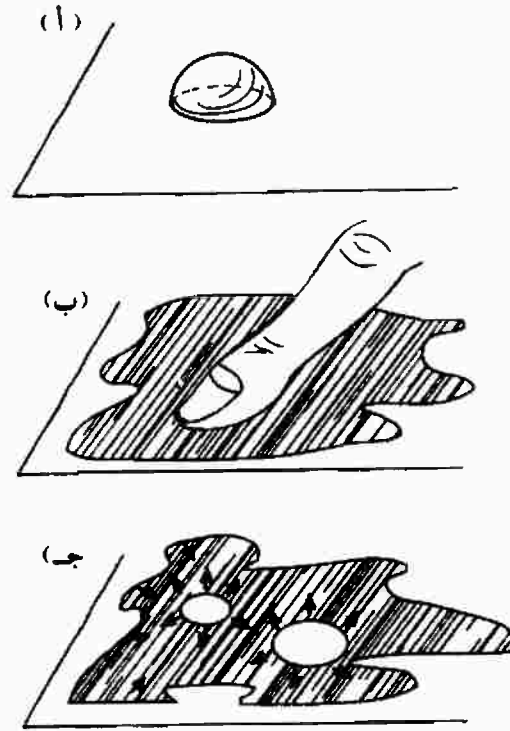
فى الوقت الحالى ، لدينا بعض المواد ذو خواص غير اعتيادية مثل شرائح السليكون الرقيقة التى لا يتعدى قطرها ١٠ سم وتتكلف كل منها مائة دولار أمريكى . هذه الرقائق تستخدم فى تكنولوجيا الإلكترونيات الدقيقة . والسليكون إحادى التبلور ، تتشكل بلورته من مائة مليون ذرة ترص فى صف واحد فى ترتيب مثالى توضع فيه الواحدة بعد الأخرى لسوء الحظ ، تعاني هذه الرقائق من بعض العيوب نتيجة التأكسد بواسطة الهواء وتغطية السطح بغشاء غير منتظم من السليكا ، ماذا نفعل ؟ خذ مثلاً ما يفعله صاحب منزل يرغب فى بيعه ، ثم يكتشف عطب بالأرضية الخشب فى غرفة المعيشة . الحل الواقعى الذى يتبعه أن يشتري بساط يغطى به هذا العيب . نفس الشئ يحدث فى حالة رقائق السليكون المعيبة يتكون غشاء السليكا على سطحه ، يحاول المرء أن يطفى سطح الرقائق بجزيئات تأخذ شكل الشعر متناهى الصغر ، بحيث تغطي الجزيئات التركيب الداخلى بدرجة كافية كبساط منتظم بقدر الإمكان لكى يخفى العيوب التى أسفلها . ولكن ما زال من الصعب تخليق بساط حر يكفى لتغطية العيوب ، على سبيل المثال جزيئات الماء تميل أن تلتصق بالسطح . وتتداخل بقوة مع التفاعل الترسبي .

١/٦ ج - عقد اللؤلؤ :

عند دراسة التفاعل بين الصلب والسائل ، هناك حالتين ممكنتين للبلل بخصائص مختلفة هما : حالة البلل الجزئى وحالة البلل الكلى . ولكن هل يمكننا دائماً التفرقة بينهما . عادة ، تكون التجارب غير واضحة ، فعندما يرسب الماء على سطح صلب ممتد ، تكون الأشياء غير واضحة . وعندما نغمس خيط فى سائل هذا الوضع نعانى فى مجال صناعة النسيج ومعرفة الإجابة الصحيحة تكون على درجة كبيرة من الأهمية .

ومن أهم الانجازات فى صناعة خيوط النسيج استخدام البلمرات المنصهرة . والبلمرات اللزجة تسحب ٦٠٠٠ متر / دقيقة خلال رشاش ذى ثقب صغير . والجدير بالذكر أن هذه البلمرات تتجمد عند لفها بسرعات عالية . ولكى تتحمل الخيوط عملية اللف على المنزلق ، يجب لفها برفق خلال نسجها . وتستعمل عملية «تزييت الخيوط» لصبغها بألوان ثابتة . ومهندسى النسيج يعانون من بعض المفاجآت . فالبلمرات المستخدمة فى صناعة الألياف يكون لها سلوك شاذ . عندما تكون على هيئة شرائح يكون البلل تاماً ولكن فى حالة صنع الخيوط من نفس المادة تكون غير قابلة للبلل . وعندما نغمس الخيوط فى سائل فإنها تخرج كالحبل معلق به القطرات مثل « عقد اللؤلؤ » . وهنا لابد أن نذكر قصة ريشة البطة . والآن ، يبدو تعارض ، هل حقيقة توجد مواد تمنع البلل عندما يتغير شكلها من الشرائح إلى الخيوط ؟

بالتأكيد خصائص البلل تعتمد على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للبلمرات

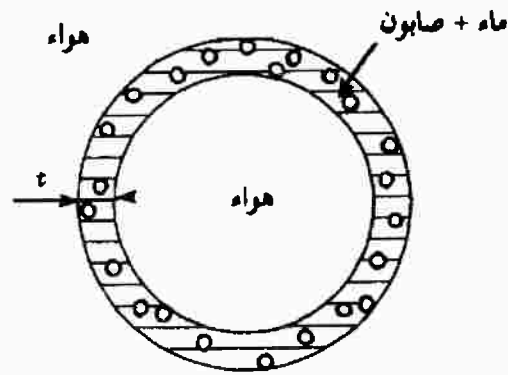


شكل ١٨ : تجربة عدم البلل .

(أ) البلل الجزئي بسبب تشكل قطرة كرية .

(ب) تحت تأثير قوة لانتشارها على السطح الصلب .

(ج) محاولة السائل للتجمع .



سمك ١ ميكرون

شكل ١٩ : تركيب فقاعة الصابون .

والسائل ولكنها لا تعتمد على الشكل الهندسى للمادة . وبالتدريج اقتنع النظريون بأن الليف يكون مبللاً بالكامل ومطلى بغشاء سائلى بين تلك القطرات . فكيف يمكن إثبات ذلك ؛ فالغشاء السائلى يكون غير مرئى للعين المجردة ، والتقدير النظرى يعطى سمكاً صغيراً لهذه الطبقة لا تتعدى بضعة من النانومترا (١ نانومتر = $\frac{1}{10^9}$ م) من المتر) . أخيراً ، استطاع الباحث / ج.م. دى ميجليو إثبات وجود هذا الغشاء السائلى وتحديد سمكه .

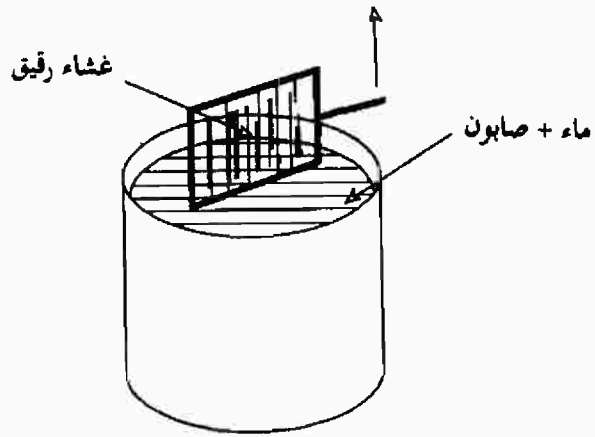
٧/١ - الفقائيع والرغويات :

فقائيع الصابون تكون جميلة ملونة متحركة وهشة ، ومن السرور أن يراها الأطفال . وفقاعة الصابون توضع كل أطوار الحياة ، فهي تولد وتنمو وتتطور وتشيخ ثم أخيراً تختفى : الفقاعة ليست إلا غشاء من محلول الصابون (شكل ١٩) لماذا تكون هذه الأغشية ملونة ؟ الإجابة ببساطة : اصنع غشاء محلول الصابون بنفسك باستخدام سلك تقطيع البيض أو أى إطار آخر . أغمس الإطار فى محلول الصابون وأخرجه . تلاحظ تكون غشاء سميك بضعة ميكرونات (١ ميكرون = $\frac{1}{10^6}$ متر) ، والموجات المنعكسة من الأسطح الأمامية والخلفية للغشاء تتقابل وينشأ تداخل بناء أو تداخل إخفاء ، يعتمد ذلك على الأطوال الموجية مقارنة بسمك الغشاء . ونظراً أن الألوان المختلفة تضىء الغشاء تبعاً لأطوالها الموجية ، فإن الألوان جميعها لا تنعكس لهذه الطريقة . هذا الذى يجعل الضوء المنعكس ذى ألوان مميزة ، انظر شكل ٢٠ .

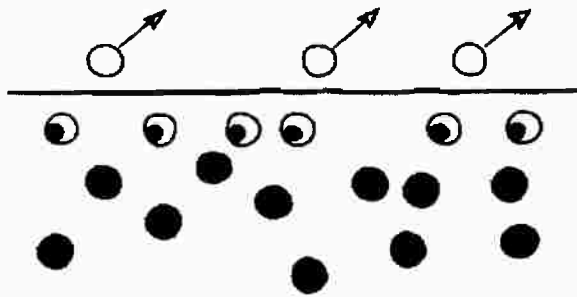
جلد الماء :

السؤال هو : لماذا نضيف الصابون إلى الماء لكى نصنع الفقائيع ؟ لكى نصنع فقاعة ، لابد أن يواجه الماء قوة تجعله يشترك بأكبر مساحة مع الهواء . ولكن جزيئات الماء لا ترغب فى التقارب مع بعضها (ويكره بعضها البعض) ، فكل جزيئ ماء لا يرغب فى شئ سوى أن يحاط بجزيئات ماء أخرى . والجزيئات المتواجدة على السطح تحرم من نصف عدد الجزيئات التى تحيط بها من الجيران .

والطاقة المطلوبة لخلق هذا السطح تساوى نفس الطاقة اللازمة لإزالة هه الطبقة من جزيئات الماء المستقرة عليها شكل ٢١ هذه الطاقة تسمى طاقة السطح ومقدارها يتناسب مع مساحة السطح . وكل نظام فيزيائى فى الطبقة يعمل لتقليل مقدار هذه الطاقة . لذلك نرى الشعر الأشعث فى فرشاة الطلاء يتماسك مع بعضه بعد غمسها فى الماء ، شكل ٢١ . من وجهة نظر الفيزياء النظرية ، يعتبر هذا النظام معقداً . فإذا اعتبرنا أن فرشاة الشعر تحتوى على شعرتين فقط ، بعد تبللها يتكون بين الشعرتين غشاء من الماء الذى يعمل على تقليل مساحة السطح . فتنشأ قوة تعمل



شكل ٢٠ : صناعة غشاء من الصابون



شكل ٢١ : جلد الماء

على جذب الشعرتين بعضهما لبعض . هذه القوة تتناسب مع طول السطح المبلل ، ويسمى ثابت التناسب « بالتوتر السطحي » . ودائماً يسعى الغشاء إلى تقليل مساحة السطح . فإذا سحب المرء غشاء بواسطة حلقة ، فإنه يحصل على قرص مسطح . ويعادل الصابون طاقة السطح . وجزئ الصابون له رأس قطبي مرتبطة بسلسلة تتكون من ١٢ إلى ١٨ ذرة كربون مع ذرات الهيدروجين المحيط بها . هذه الجزيئات ترتب بعضها جنباً إلى جنب . وتكون رؤوس أقطابها شرهة للماء وسلاسلها الهيدروكربونية (الدهنية) التي تبرز خارج الماء تكون موازية لبعضها . وكمية قليلة من هذه الجزيئات تكفي أن تغطي سطح الماء بطبقة واحدة وحوالي ٢٠ ميلي جرام منها سوف يعطي مساحة واحد متر مربع من سطح الماء . في هذه الحالة تكون جزيئات الماء سميكة بلغة الفيزياء لأن قوة التوتر السطحي مستخفض بمقدار العشر .

٨/١ - الأجسام الهشة :

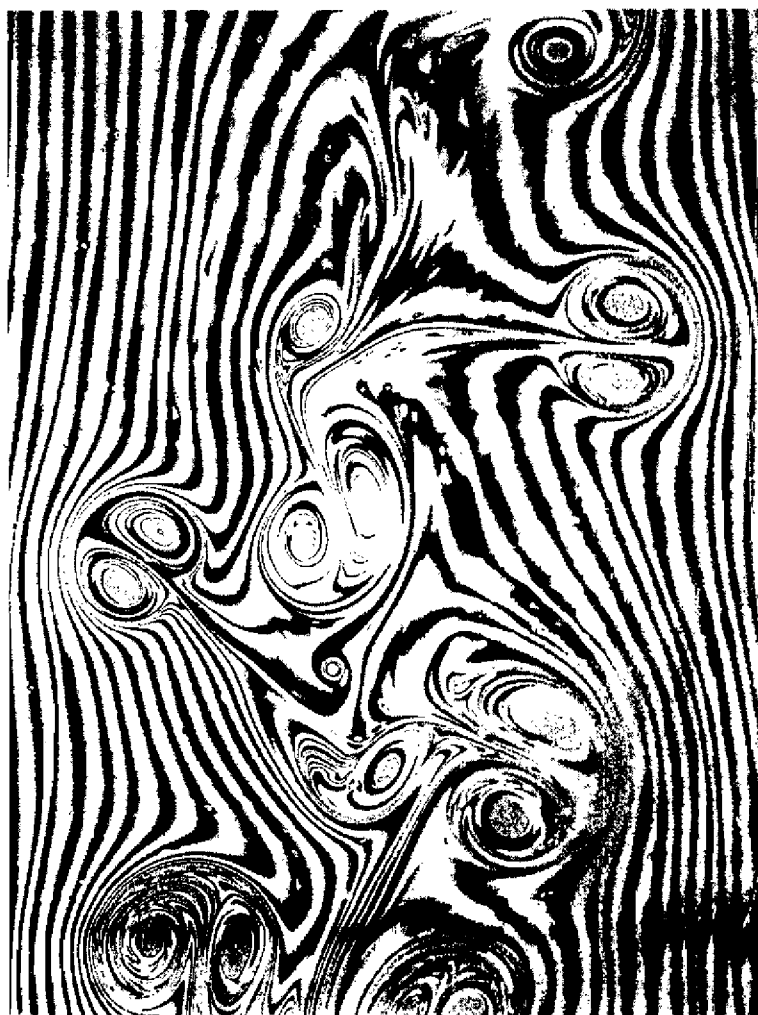
نلاحظ أن قليلاً من الصمغ العربي يجعل الجبر الصيني مثاليا للاستعمال لعام كامل . وقليل من قطرات الشامبو يولد سحابة من الرغوى . وتفاعل الأكسجين يحول عصارة شجرة الهيفيا إلى مطاط طبيعي . وكذلك البطارية متناهية الصغر تكون كافية لتشغيل الساعة . كل هذه الأمثلة تبين لنا جوهر المواد الرخوة . المادة الرخوة هي المادة التي تشبه الصلصال (الطين) في يد النحات ، الذي يتعامل معها بقليل من الجهد ويعرف تغيرها وتشكيلها وتأسيسها .

وكما هو الحال في الصلصال ، يمكن صنع الأجسام الهشة التي يمكن تشويهها ، مثل المطاط الذي يتواجد بين الحالة الصلبة والحالة السائلة والرغوة وخلفية الدم الحمراء التي تلامس الأنابيب الشعرية ، وأيضاً الأنسجة الليفية التي تطرح ٦٠٠٠ متر / دقيقة باستعمال رشاش صغير . لقد تعلمنا كيف نصنع الأجسام الصلدة مثل الصوان والحجر البرونزي والطوب اللبني وحتى الأخشاب ، ولكن سرعان ما نكتشف أنه لا بد من طريقة نطوع بها هذه المواد . أن فيزياء القرن العشرين كرس نشاطها أولاً للمواد الصلدة مثل المعادن وأنشأه الموصلات التي فتحت الطريق إلى الشكل الحديث للاتصالات ، وأخيراً السيراميك .

جلد الماء :

ولكن الاتجاه الحديث الآن يميل إلى دراسة المواد الرخوة من بينها البلمرات شكل ٢٢ ومساحيق التنظيف والبلورات السائلة التي تغير الأشكال التقليدية من حولنا .

لا توجد حياة بدون المادة الرخوة ، فكل تركيب بيولوجي تحتوى جزيئاته على الشفرة الوراثية والبروتين والأغشية ، قد تأسست على هذا المفهوم والفيزياء يمكنها



شكل ٢٢ : نموذج يبين التراكمات الدوامية في جزئ البلمر

طرح إطار عام أما البيولوجيا لها طرق خاصة للملاحظة والاكتشاف .

المادة الحية تعتمد على مبادئ وأسس المادة الرخوة ، ولكن بدقة متناهية والتي غالبا ما تكون وراء ملكوت علماء الفيزياء . وفي الوقت الحالي يشهد علم المواد الرخوة تقدماً كبيراً سوف نستفيد منه مستقبلاً . وما يهمنا توضيحه هنا هو مساهمة هذا العلم على المستوى الثقافى . فعلم المواد الهشة يبنى على التجربة والانتقان . على سبيل المثال ، دعنا نستفيد من حالة البلورات المسائلة ومدى التحدى فى التحول الجزيئى إلى جزء صلد وأخر لين يجعل من تطبيقاتها العهد الجديد للتكنولوجيا .