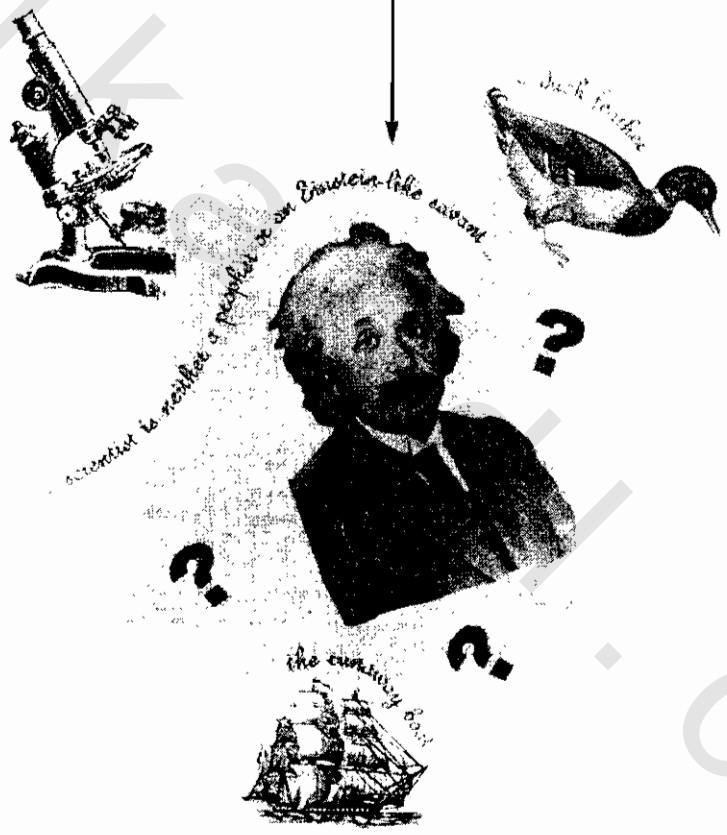
الجزء الأول



المادة الرخوة

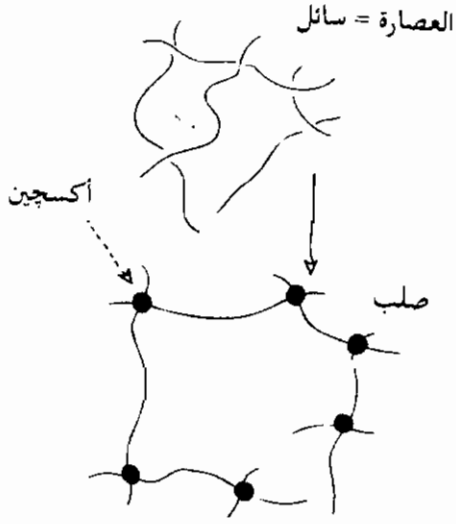
الجزء الأول : المادة الرخوة

١ - الحذاء الهندى وتفسير جوديير:

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

قديماً كان الهنود الحمر من سكان الأمازون يصنعون أحذيتهم عن طريق طلاء أقدامهم بنوع من العصائر اللبنية البيضاء المستخرجة من شجر الهيڤيا "hevea tree". هذا العصير اللبنى يشبه السائل العادى ، 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 الهندى من بلاد الأمازون



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

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

Ogeikandl.com

فالسائل الابتدائى المستخرج من شجر الهيفيا يحتوى على جزيئات ذوات سلسلة طويلة تشبه الاسباجتى المسلوقة وهى موضوعة فى وعاء الشوربة ، حيث تكون رخوة ومرنة فى نفس الوقت . فبعد أن يطلى المواطن الهندى قدمه يدخل عامل جديد فى اللعبة. هذا العامل هو غاز الأكسچين الموجود فى الهواء . ويتفاعل الأكسچين 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 الأكسچين فكل شىء 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 سمى فيما بعد « بالمطاط » . أن القياسات الدقيقة التى تعتمد على الرنين النووى المغناطيسى الذى يسمح بمعرفة الوسط المحيط بالجزئ من خلال مقياس دقيق لايتعدى عدداً من الانجستروم (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 الأكسچين 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 بتفسير سلوك العصير اللبنى 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 والأكسچين ، 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 الأكسچين . هذا العنصر يتواجد فى نفس العمود فى الجدول الدورى للعناصر الذى يحتوى على عنصر الأكسچين ، ولكنه أقل تفاعلاً . فالكبريت له القابلية على الربط الانتخابى للسلاسل الجزيئية مع بعضها عند بعض النقاط ، إلا أنه لايسبب قطع هذه السلاسل كما يفعل الأكسچين . 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 المعملية أولاً وقبل أن نفهم أى من الظواهر الفيزيائية .

١/٢/١ أ - حساء الاسباجتى :

منذ اكتشف جودييز 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 الأنصهار . 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 التسخين . فالحالة الصلبة تبدأ تتراخى قبل أن تسيل ، عندئذ ، 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 فى المجتمع العلمى . وفى عام ١٩٢٠ م ، نجح العالم هيرمان شتودجر (١٨٨١ – ١٩٦٥ م) فى إجراء تجربة حساسة لتصنيع جزيئات ذوات سلسلة طويلة نسبياً (فى 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 فى تجهيز سلاسل جزيئية حتى الطويلة منها ، وبدأ عهد جديد لتكنولوجيا المطاط بعد ٨٠ عاماً من اكتشاف المطاط الطبيعى لجوديير .

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

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

كان هذا العصر هو عصر المبدعين اللذين اكتشفوا ميكانيكا الكم التى تصف سلوك الإلكترونات فى 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 التى تبعها أبحاث مكثفة لمحاولة فهم طبيعة هذه المواد وتخليق جزيئاتها المتميزة ميكانيكيا فى المعمل .

فى هذا المجال تطرق الحوار إلى مقارنة بين البحوث الأساسية والبحوث التطبيقية والتى أوضحها دى چين كما يلى :

٢/١/ب - البحوث الاساسية والتطبيقية :

يقال أن البحوث الأساسية هى 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 المعرفى الفطرى . فرحلة مسافر عبر الفضاء بسفينة فضاء ليصل إلى حافة النظام الشمسى لن تحتج إلى حصاد المعرفة النظرية التى كافأتنا بهذه الإمكانية الفريدة . واكتشاف التركيب الحلزونى 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 تتسيد 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 بغرض المعرفة لايمكن استبداله . ولايوجد مكان لبحث يعاد إنتاجه ما عدا التجربة التى انجزت بنجاح !

البحث التطبيقى - مدرسة للتخيل :

كل قطعة من البحث التطبيقى تبدأ من التحدى ، ولكى تطور منتج جديد لابد أن نشعر بالاحتياج الجديد الذى لايتقابل مع النظام الواقع ليمنح الناس حياة أفضل . هذا التحدى يجب أن يجاب بواسطة إبراز فوائد التنظيم المعرفى لتطبيق البحوث الأساسية ، كما حدث مثلا بالنسبة لخصائص الأفلام المغناطيسية المستخدمة فى أقراص الفيديو . وفى اعتقادى أن التقدير الذى يستحقه المخترعين العظماء ليس أقل شأناً من تقدير النظريين العظماء . فأننى 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 للبلمرات فقد كنا نتابع حركة هذه الجزيئات فى المحاليل . انطلاقا من فضول المشتغلين بالبحوث الأساسية الذى يدفعهم إلى اختبار المواد النقية ، وبالتالى كنا نستعرض نتائجنا وكيفية الاستفادة منها بالتحاور مع رجال الصناعة .

فى إحد زياراتى لأحد معامل الكيمياء بنيوجيرسى بنيويورك فى الولايات المتحدة الأمريكية أخبرت عن بعض المشاكل الشاذة التى تتعلق بصعوبة ذوبان بعض البلمرات فى المحاليل . وكان الخبراء التكنولوچيون لايفهمون أهمية العوامل الأخرى التى تسرع عملية الذوبان مثل السحق الدقيق للبلمرات .

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

وهذا النوع من الحالات يأتى إلينا دائماً فى مجال بحوثنا ، ويجب على المرء أن يملك المقدرة على الاستماع بشىء من التواضع عندما يأتى إليه صوت يخبره «هنالك شىء شاذ» عندئذٍ ، يتأمل المرء فيه ويفهمه . وفى بعض الحالات سعيدة الحظ ، يمكننا أن نجد الحل . ولكن كثيراً ما نفشل . وعلى الصعيد العالمى يكون علماؤنا فى مجال البحوث الأساسية أكثر حظا خاصة عند اختيار المشاكل وفهمها ، ثم بعد ذلك نرى انجازاتنا ونكافأ عليها .

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

١/٢/١/ج - كوهين العالم القدوة : متى نسأل : أعرف كيف تغير مجال اهتمامك ؟

يقال أن « الحجر المتدحرج لايجمع الحشائش » هذه الحكمة حقيقية فى كل الثقافات ولكنها لا تدعم قرار كوهين ، حيث ترك أبحاثه فى مجال الفيزياء الذرية وعمل فى مجال بحوث البلمرات والجزيئات الماكروسكوبية :

هل عندك استعداد للتغيير ؟

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

فى الفترة من ١٩٦١ إلى ١٩٦٥ ، كنت شغوفاً بمواد التوصيل الفائق . هذه المعادن عجيبة حقيقة ! عند كل درجة حرارة منخفضة تحمل تياراً كهربائيا دون أن تفقد أية طاقة . الرصاص والفضة والزئبق تضعنا من بين هذه المواد . هذه الظاهرة عرفت منذ عام ١٩١١ م . وفى عام ١٩٥٧ تمكن الطالب العبقرى « ليون كوبر » من وضع المفاهيم حول كيفية عمل هذه المواد . ومنذ عام ١٩٦١ ، بدأنا ندحل 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 فى مجال التعدين . وكان التحدى متعلقاً بالتحكم بالمجال المغناطيسى المتولد بالمادة بسبب اضطراب فى مرور التيار الكهربائى . هذا النوع من التعدين الحساس يتطلب معدات ثقيلة باهظة التكاليف مثل جهاز الميكروسكوب الإلكترونى . فى هذه المرحلة يكون أمام المرء اختياران إما أن يصبح خبيراً فى التعدين، وهذا يتطلب مصادر تمويل تكفى لبناء المعامل الملائمة أو أن ينشغل بالعلم الخفيف » بحثا عن نتيجة مميزة . ولقد اخترت الطريق الأخير .

ومن الطبيعى أن يسأل المرء :

آن الأوان للتحرك ولكن إلى أين .

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

وخلال حقبة الستينيات اقتنعنا بضرورة تكوين فريق بحثى يعمل فى موضوع البلورات السائلة . وخلال ثلاث سنوات احتل فريق العمل فى أورساى بفرنسا مكانته العالمية . وبعد مرور ستة أعوام ، أصبح هذا الموضوع هاماً على المستوى التكنولوجى والصناعى وتطلب ذلك تعدد مصادر التمويل .

وفى عام ١٩٧٢ م ، برزت أسئلة علمية عديدة تتعلق بتكنولوجيا تسطح البلمرات . وبدأ « كوهين » فى وصف السلسلات الجزيئية المرنة الطويلة التى تشبه الاسباجتى المسلوقة فى الشوربة ، والتى تمثل تطوراً واضحاً فى هذا المجال . إلا أنه تبقى بعض المشاكل الفيزيائية الإحصائية التى يجب أن تحل حتى نفهم كيف تترتب هذه الجزيئات فى المحاليل . فكل سلسلتان تميلان إلى المحافظة على مسافة بين كل منها والأخرى . وعبر كل سلسلة جزيئية معطاه يطرد كل جزء منها الجزء الأخر . كل هذا جعل الوضع صعباً للتحليل . ومن حسن الحظ كان معنا بعض الكروت الرابحة وامتدت خبرتنا واكتسبنا المهارات فى 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 فى إطار عملى للنقاط الحرجة وتطبيق هذه القواعد على سلاسل البلمرات الطافية فى المحلول (مثل المكرونة الاسباجتى فى الحساء) .

١/٣/١ - السيفون اللاانبوبى :

منذ بدء الخليقة ، تلعب الجزيئات الكبيرة دوراً هاماً فى تطوير الحياة . ومنذ زمن طويل يستخدم الإنسان هذه الجزيئات دون أن يتعرض لتحولاتها . والعديد من الأمثلة تتواجد فى الطبيعة مثل : جزيئات القطن السليلوزية الطويلة ، والمركبات الكيميائية لزيت بذرة الكتان وجزيئات 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 التحولات 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 الجزيئات 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 للجزيئات الميكروية الطبيعية ، الذى أدى إلى تحديد النماذج الكيميائية لهذه الجزيئات الطويلة . ونذكر فيما يلى اثنين من أهم الملاحظات الناجحة :

١ - تحديد التركيب الجزيئى للحرير الطبيعى .

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

وجزئ الـ د. ن. أ. هو اختصار لاسمه الانجليزى "deoxyribe nucleic acid" (DNA) هذ الجزئ يحتوى على الخطة الجينية لكل فرد هذه المعلومة متضمنة فى متتابعة تتكون من أربع نيكلوتيدات (أربع جزيئات صغيرة) خلال السلسلة الطولية 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 تخدم حياتنا .

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

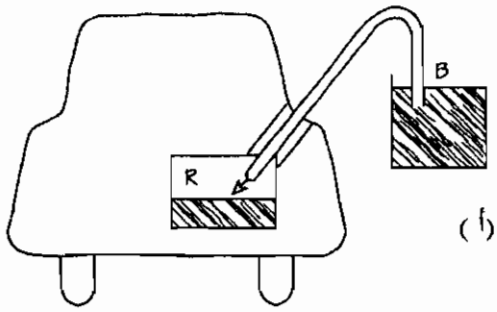
وحتى أوضح ما أقصده ، دعنا نبدأ بقصة تعرض فيها سائق متسيب لحادث طارئ ، حيث فرغ منه الوقود أثناء السير . فإذا فرضنا أن السائق قد وجد محطة تزويد الوقود وحاول ملئ الخزان الاحتياطى ، ولكنه لم يكن فى أحسن أيامه وكان فتحه الخزان لا تساعده على إدخال الوقود ! عندئذٍ ، يكون الأمل الوحيد هو الحصول على أنبوبة ويملئ الخزان بالوقود عن طريق إدخال طرف الأنبوبة بعد شفط الوقود من المستودع ووضعه فى الخزان . فى هذه الحالة يجب أن يكون وضع الخزان أسفل المستودع (انظر شكل ٣) . هذه العملية تسمى عملية « السيفون » وتتأثر عملية تدفق الوقود فى الأنبوبة بدخول فقاقيع 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 النقى . فقد استعمل فى تجربته الماء الذى كان سهلاً وأقل خطورة لاستعماله فى المعمل . فحلل ١ جرام صافى من بلمر بولى اكسيثلين فى عشرة لترات من الماء . هذا الجزء الصغير من البلمر فى الماء جعل السيفون يعمل باستمرار حتى إذا ارتفع طرف الأنبوبة إلى ارتفاع ٢٠ سم فوق سطح الماء . هذا العمود المائى يرتفع فى الهواء بدون دعامات . هذه الظاهرة تسمى «سيفون بدون أنبوبة» . وهنا سوف نشرح بطريقة مبسطة ماذا حدث فجزيئات بلمر بولى اكسيثلين تتحلل فى الماء وتتجعد مع بعضها ولكنها تتماسك عند إنسياب الماء، وتتفكك بفعل قوة اندفاع الماء ، كما يحدث فى حالة سلك زنبركى . هذه القوة تتناسب مع استطالة السلك . فعندما يحدث انسياب للسائل فإن جزيئات البلمر المشدودة تسحب الماء إلى أعلى وتتعادل مع وزن عمود الماء إلى أسفل .

مجرى المراكب :

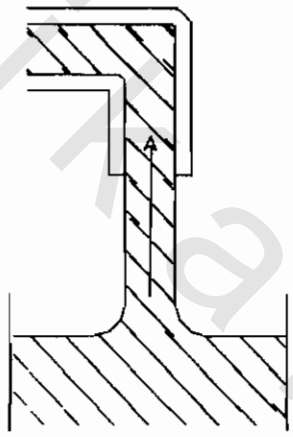
البلمرات فى المحلول لها خصائص معجزة ، على سبيل المثال النيران التى تستعر فى المبانى المرتفعة تسبب مشاكل جمة لرجال المطافى ، حيث أن خراطيم المياه والمضخات القوية لا تصل إلا إلى الدور الثامن بالكاد . فكيف يمكن إنقاذ امرأة صغيرة فى الدور الحادى عشر ؟ الحل هو البلمر العجيب ! عند إضافة بلمر بوليكسى إلى الماء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

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



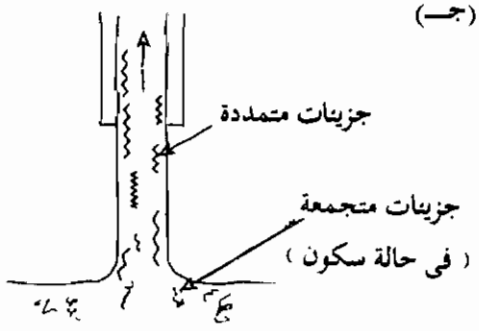
(أ)

(ب)



ماء + بولوكس (١٠٠ ميليجرام / لتر)

(جـ)



(شكل ٣) : ، أ) السيفون العادى ، ب) سيفون لا أنبوبى ، ج) سيفون لا أنبوبى باستخدام جزيئات شد .

obeikandl.com

الجديدة . ويجب أن يكون حجم النموذج مترين لكل سفينة طولها ٢٠٠ متر (أى أن المقياس $\frac{١}{١٠٠}$) . 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 راكداً 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 الأخر 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 . فالسوائل اللزجة تنساب أبطأ من السوائل الأكثر حرية .

وبعد عشرة أعوام من الجدال 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 الجدال دائراً حول نجاح النظرية فى مواجهة التجريب .

١/٣/ب - أربعة معادلات لأشباه الماس النقى :

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

على سبيل المثال ، فى عام ١٨٦٧ وضع العالم الاسكتلندى كلارك ماكسويل (١٨٣١ - ١٨٧٩ م) معادلاته الشهيرة والتى 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 الميكروويف .

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 الأفكار الجديدة :

يعانى الطلاب الذين يتعاملون مع معادلات ماكسويل شعوراً بالإحباط وأنهم لايستطيعون 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 بالشىء الضخم » الذى يملأ المصنفات السميكة ويقسمها إلى موضوعات مثل الكهرباء والميكانيكا والبلاستيك وهكذا ، فتعليم المعرفة لايجعل المرء يتجاوز الطريق الصعب الذى أدى إلى المعادلات الكبرى . وأننى اعتقد أن العقول العظيمة أمثال ماكسويل ونيوتن كان لابد أن تبحر خلال المحاولات العديدة والعقبات الكثيرة حتى نجحت فى بناء نظرياتهم المعجزة .

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

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 .

١/٤/١ - الفحم النباتى :

منذ بداية الرسم فى الكهوف لاحظ الناس أن تسجيل رسوماتهم على الجدران يحتاج إلى استعمال السوائل الملونة ، الذى نسميه اليوم الحبر أو الطلاء . والتكنيك البسيط الواضح هو تذويب بعض المساحيق الملونة فى الماء . **والكربون الأسود** أو الفحم النباتى 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 وتشبع 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 ويخضخض بقوة ، ينتج عن ذلك الحبر الأسود . وقد وجد الكاتب المصرى القديم ذات يوم ، بعد غمر الكربون الأسود فى الماء ، أن السائل عديم اللون . ولاحظ تراسيب سوداء فى القاع من الصعب غمرها (انظر شكل ٥) . وكان عليه أن يعيد العمل مرة أخرى . وفى الألفية الثانية استطاع الكاتب العبقرى 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 .

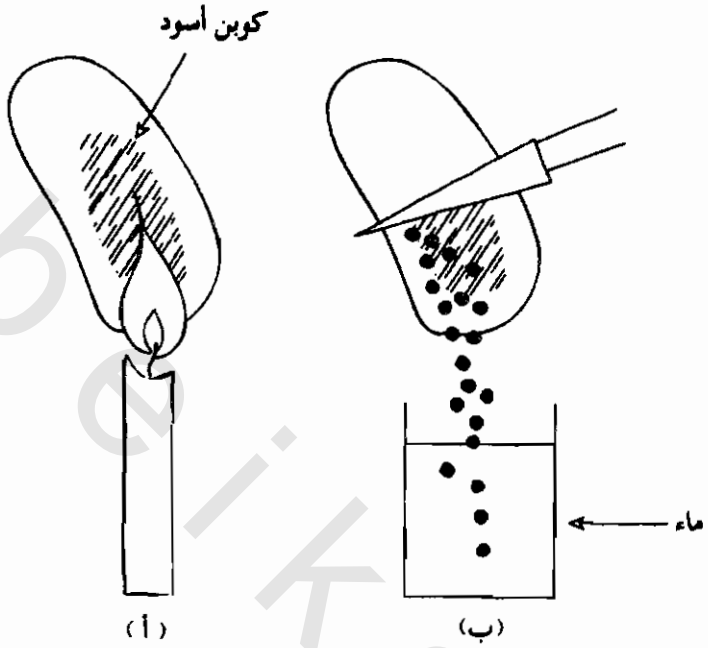
يظهر الآن سؤالان فى الأفق :

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 التلبد ؟

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 لجزئين من الكحول يعانيان من نفس القوة التى تسحبهما نحو بعضهما . هذه القوة تسمى « قوة ڤان ديرڤال » التى افترضت فى بداية القرن العشرين بواسطة العالم الهولندى الذى سميت باسمه .

وفى عدم وجود تأثير حرارى ، فإن جزيئات الكحول لا تتجاذب بفعل قوة ڤان ديرڤال وتتماسك 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 دائماً

obeikandl.com

هذه الحبيبات كبيرة جداً بالمقارنة بجزئ الكحول (بحوالى ١٠,٠٠٠ مرة) وهذا يغير من كل شيء ، فقوة ڤان ديرڤال 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 لايكفى أن يفصلهما . وعادة يكون التصادم فى اتجاهات عشوائية ، تؤدى إلى تأثير بعضها على بعض . وبالفعل تتجاذب الحبيبات مع بعضها وتتشكل عشائر ، وبتأثر الوزن تسقط 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 بوليهيا لويورونيك . هذه الجزيئات سرعان ما تتحلل فى الماء وتلتصق بسهولة على حبيبات **الكربون الأسود** ونظراً للتصارع الذى يحدث بينهما ، فنرى 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 لايدعنا نقول أن قوى ڤان ديرڤال 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 ڤان ديرڤال وفى النهاية تنشأ قوة تنافر تمنع تقارب الحبيبات . وهكذا نرى كيف تصبح حبيبات الكربون مفرطة وتصبح المتعلقة من **الكربون الأسود** أو ما يماثلها مستقرة .

٤/١/ ب - المضيفات تصنع الفرق :

منذ ٤٠٠٠ عام ، تمكن العلماء من شرح كيفية فصل الحبر الصينى . هذا التفسير لايتعدى الآن سوى عشرة أعوام من معرفة آلة أو ميكانزم 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 ، ودلكها تحت الماء. وعند توصيل إلكترودان من الذهب بطرفى بطارية ، نتجت شرارة . تولدت بعدها جسيمات دقيقة من الذهب معلقة فى الماء وتسببت فى تلون الماء بلون أحمر مميز. وعند فتح البطارية تبقى المادة الغروية مستقرة . فى هذه الحالة وبالرغم من تأثير قوة ڤان ديرڤال إلا أن الحبيبات تظل منفصلة .

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

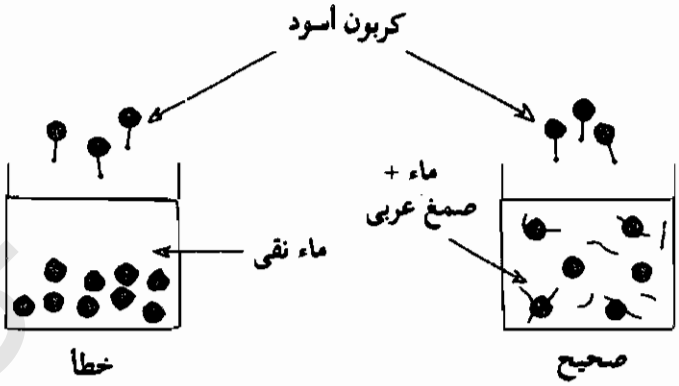
شحنات سالبة . ونظراً لأن الشحنات المتشابهة تتنافر والشحنات المختلفة تتجاذب ، فإن قوة ڤان ديرڤال تتعادل مع قوة التنافر الكهروستاتيكى . وتبقى الحبيبات معزولة ، وبذلك تصبح الغرويات مستقرة ولكى نوضح ذلك ، حلل فاراداى ملح كلوريد الصوديوم فى المعلق . وتغير لون المحلول إلى الأزرق . وتجمعت الحبيبات وتحولت إلى أشكال كبيرة ... ماذا يحدث ؟ عندما تحلل جزيئات كلوريد الصوديوم فى الماء تفككت إلى مكوناتها الأيونية ، أحدهما أيون الصوديوم الموجب والأخر أيون الكلور السالب (انظر شكل ٩) . وأيونات الصوديوم الموجبة تتجاذب مع الجسيمات السالبة للذهب وتعادل المحال الكهربائى لكل حبيبة . وتبقى فقط قوة ڤان ديرڤان التى تعمل على تجميع الحبيبات معاً . وبالتالى تتغير المميزات البصرية للمعلقات ويتغير لونها إلى الأزرق .

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

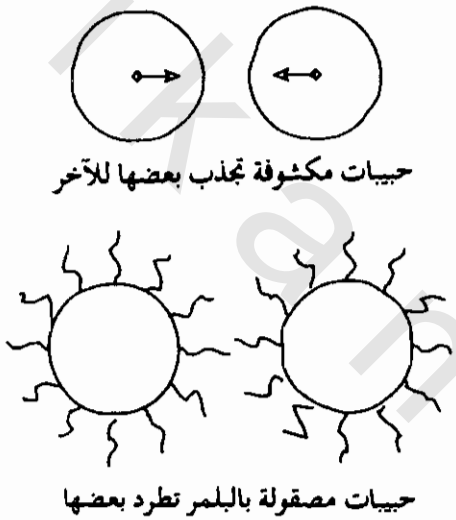
وأننى اعتبر قصة الحبر الصينى مثالية ، لأنها أوضحت لنا خصائص المواد الدقيقة التى تلعب دوراً مهماً فى حياتنا ، مثل المنتجات الغذائية : كالكريم والمسلى الصناعى والمايونيز وكذلك صناعة الزيوت وأدوات التجميل . فمع إضافة قليل من البلمر تتحول المادة إلى ما أسميه بالمواد الرخوة .

٥/١ - البلورات السائلة : تعلمنا فى مراحل التعليم أن المادة تتواجد فى ثلاث حالات مختلفة هى الصلبة والسائلة والغازية .

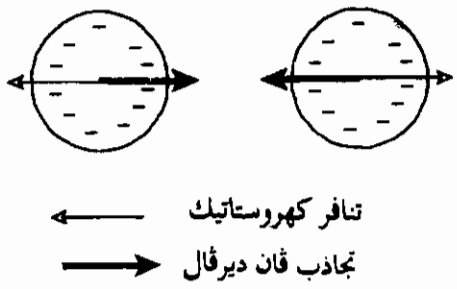
* فى الحالة الصلبة ، تكون الذرات قريبة جداً من بعضها فى شُبَيكة صلبة ، وغالباً تكون جزيئاتها لامتناهية (متباينة الخواص فى النواحى والاتجاهات) . وخصائصها تعتمد على اتجاه قياسها . على سبيل المثال سرعة انتشار الصوت تعتمد على اتجاه انتشارها .



شكل ٦ : تحسن طريقة تحضير الحبر الأسود



شكل ٧ : تفاعل جزيئات الغرويات بواسطة جزيئات البلمرات



شكل ٨ : الأتزان الكهروستاتيكى 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 ثابته، وتتأثر 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 الحالة 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 للجزئيات

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

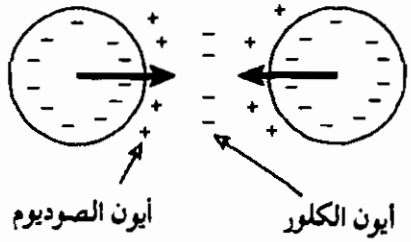
الحالة النيماتية :

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

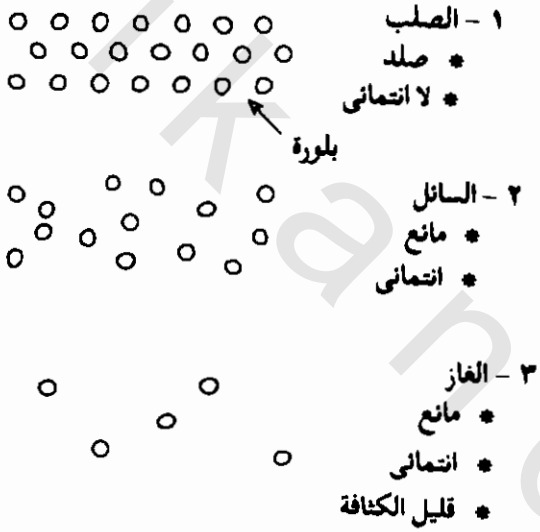
الحالة السميكتية :

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 معرف جداً . والجزيئات تكون متوازية بعضها لبعض وتشكل سائلا ذى بعدين . تحت التأثير الحرارى تتحرك الجزيئات بحرية خلال تواجدها فى طبقة

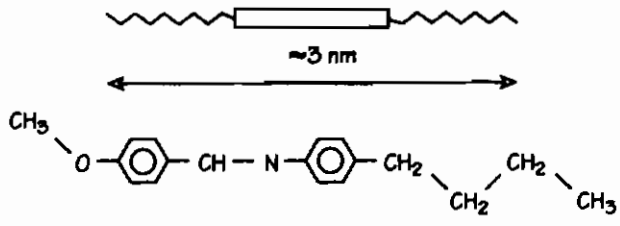
obeikandl.com



شكل ٩ : الاتزان بين أيونات الصوديوم والكلور فى محلول الملح

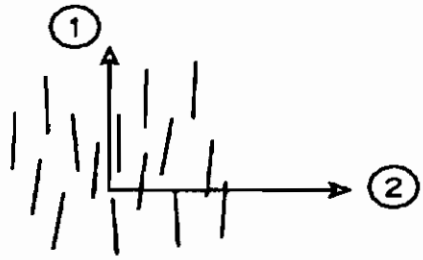


شكل ١٠ : حالات المادة الثلاثة ، الصلبة والسائلية والغازية

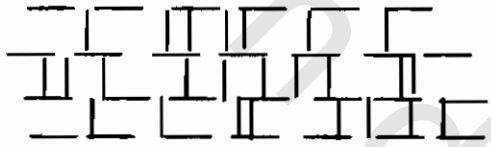


شكل ١١ : التركيب الجزيئى للبلورات السائلة الشائعة MBBA

obeikandl.com



نيماتى (مائع لا انتمائى)



سميكتى (مثل الصابون)

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

obeikandl.com

محددة. ومراكز هذه الجزيئات يكون لها توزيع عشوائى . والقسم الرئيسى من عائلة السميكتيات تكون جزيئاته عمودية على مستوى الطبقات . والأقسام الأخرى من السميكتيات الأقل اعتيادية حيث ترص الجزيئات فى مستوى الطبقات . هذه الجزيئات مثل الجزيئات النيماتية 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 چورچ 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 چورچ فريدل فى فهم التوزيع الفراغى للجزيئات التى لايراها مباشرة ، والتى يتعدى طولها ٢٠ - ٤٠ انجستروم (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 الميليمتر . كما تمكن فريدل من تعيين تراكيب المواد السميكتية . وعلى المقياس الدقيق يلاحظ أن الجزيئات النيماتية تبقى موازية لبعضها . ولكن على مسافات متميزة قد تتغير هذه الاتجاهات .

خواص البلورات السائلة :

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

(أ) خواص تركيبية :

نعرف أن الجزيئات النيماتية لها سلوك يشبه سلوك سرب من السمك الذى يسبح موازٍ بعضه 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 المنزلقات تكون عمودية على بعضهما . فإذا غمسنا جزيئات من البلورات السائلة النيماتية بين هذين اللوحين ، فإنهما سوف يعانيان وضعاً غير مريح ، بالقرب من المنزلق العلوى ، حيث أن الجزيئات ترغب فى توجيه نفسها على طول الحفر - الجزيئات فى المنزلق الأسفل ترغب فى التوجه فى خط أعلى من الحفر على المنزلق وهى فى اتجاه عمودى على G_1 وعلى الرغم أن الجزيئات ترغب أن تبقى فى اتجاه موازٍ لبعضها ، إلا أنها تضطر إلى الخضوع للشروط الخارجية . فهى تأخذ شكلاً حلزونيا إلى أعلى فى دوائر مثل

حـــالة السلم الملتـــف 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 كهربائى بين المنزلقين الزجاجين ، فيتولد مجال كهربائى بينهما . ومن أجل أن يكون الزجاج موصل كهربائياً يطلى عادة بمادة أكسيد القصدير . يلاحظ أن محور الجزيئات يصطف فى اتجاه موازٍ لاتجاه المجال .

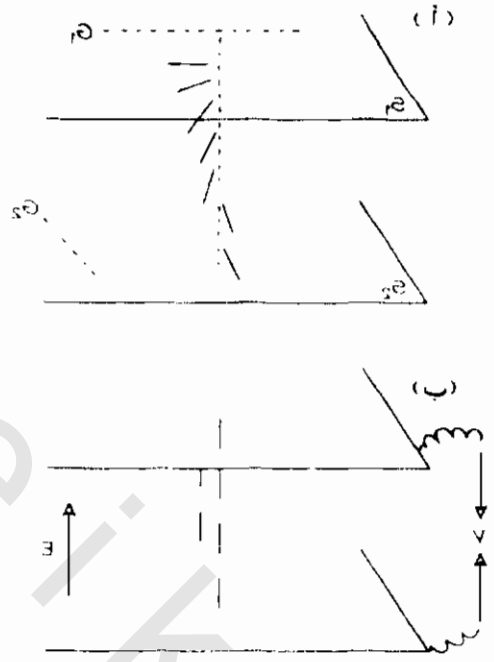
جـ) الخواص البصرية : جزيئات البلورات السائلة لها خواص مختلفة تتحدد بالاتجاهات الموازية والعمودية على طولها . فهى تكون لا انتمائية وبصرية . والضوء المستقطب جعلنا نستفيد من هذه الميزة عند دراسة الخصائص البصرية .

فإذا أراد المرء فحص خصائص الأشعة الشمسية ، بحيث لايكون 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 والذى 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 موازيا أو عموديا على اتجاه التميز للوسط .

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

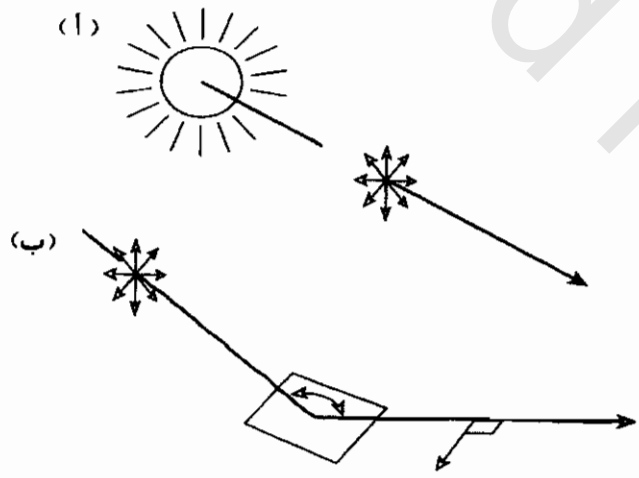
نستخدم الكترودين مصنعين من زجاج محزز وموصل للكهرباء (انظر شكل ١٦) ونضع مادة البلورات السائلة بين اللوحين الزجاجين المنزلقين وهى فى طورها النيماتى المجدلى . ومستقطب للضوء P_1 كما هو موضح بالشكل ١٦ أ ، فيلف اتجاه الاستقطاب حول المحور الشعاعى كما يلف الجسم عندما يتحرك أسفل سلم حلزونى . وعندما يصل الضوء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



شكل ١٣ : الترتيب الفراغى لطبقة نيماتية 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 .

obeikandl.com

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

والجدير بالذكر أن شاشات العرض التى تستعمل فيها الجزيئات 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 الجزيئات مستعدة لتحويل الاتجاه . وقد يكون هذا الوقت قصيراً بدرجة كافية للساعات أو شاشات العرض الإلكترونية ، إلا أنها تعتبر طويلة لشاشات العرض المستخدمة فى التلفزيونات .

٦/١ - البلل وعدم البلل على أسطح الأشياء :

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

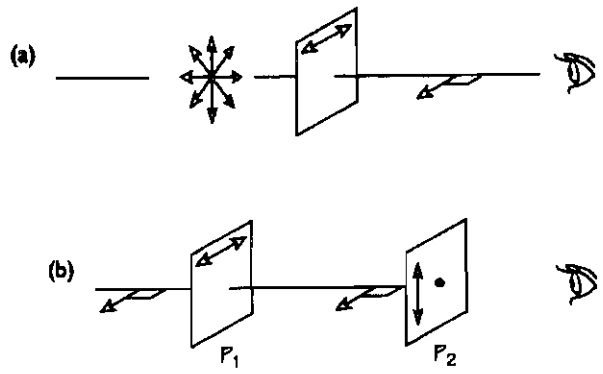
١/٦/١ - ريشة البطة :

من المعروف أن خصائص الأسطح تلعب دوراً عملياً هاماً ، وتتضمن العديد من المشاكل الفيزيائية مثل مشاكل التشحيم . فقطرة من الزيت تمنع الباب من الصرصرة، 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 وتتكون القطرة على شكل قلنسوة كرية ، يطلق على هذه الحالة اسم «البلل الجزئى» ، ويمكن مشاهدة هذه الحالة عند سقوط قطرة الماء على سطح مشمع أو ريشة البطة . انظر شكل ١٧ .

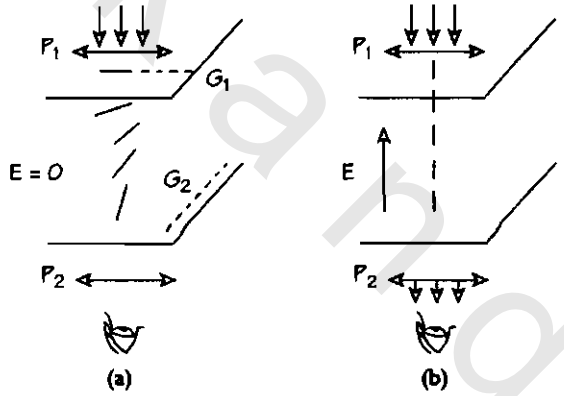
٢ – سطح يجذب الماء ، وتسمى هذه الظاهرة بالحالة الشرهة للماء . ونرى هذه



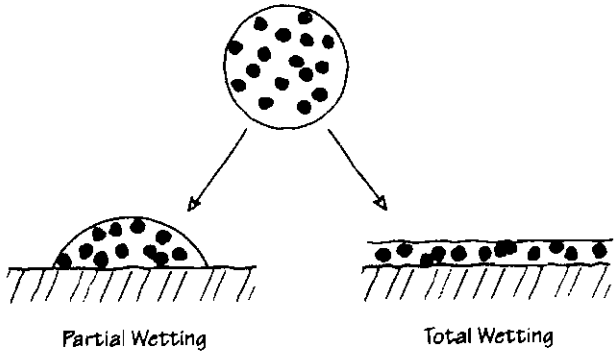
شكل ١٥ : ضوء مستقطب باستخدام شريحة استقطاب :

أ) يمنع الضوء باستخدام المحلل الضوئى .

ب) خروج الضوء بعد دوران المحلل بزاوية ٩٠ ° .



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



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

obeikandl.com

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

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

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

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

إذا سقطت قطرة مائية على شريحة من البلاستيك الشفاف مثل البولى ايثيلين ، نلاحظ على التو أن القطرة لا تنتشر . وهذه حالة معروفة للبلل الجزئى (شكل ١٨ أ) والبولى ايثيلين يكون سطحا شرهاً للماء . تخيل الآن ، أنك أخذت القطرة إلى أسفل بأصبعك مؤثراً عليها بقوة للانتشار على سطح البلاستيك (شكل ١٨ ب) ، ماذا حدث ؟ على الفور تتشكل 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 .

٦/١/ب - بساط العائلة :

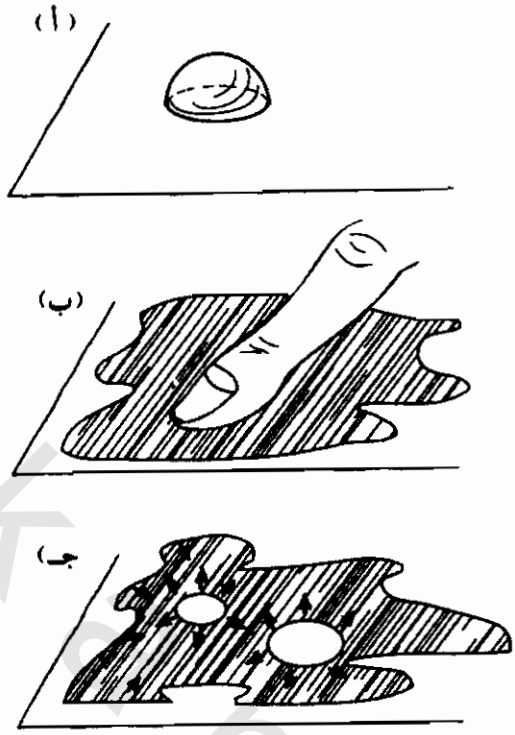
فى الوقت الحالى ، لدينا بعض المواد ذو خواص غير اعتيادية مثل **شرائح** السليكون الرقيقة التى لا يتعدى قطرها ١٠ سم وتتكلف كل منها مائة دولار أمريكى . هذه **الرقائق** تستخدم فى تكنولوجيا الإلكترونيات الدقيقة . والسليكون إحادى التبلور ، تتشكل بلورته من مائة مليون ذرة ترص فى صف واحد فى ترتيب مثالى توضع فيه الواحدة بعد الأخرى لسوء الحظ ، تعانى 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 يشترى بساط يغطى به هذا العيب . نفس الشىء يحدث فى حالة رقائق السليكون المعيبة يتكون غشاء السليكا على سطحه ، يحاول المرء أن يطلى سطح الرقائق بجزيئات تأخذ شكل الشعر متناهى الصغر ، بحيث تغطى 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 الترسيبى .

٦/١/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 نعانيه 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 ثابته . ومهندسى النسيج يعانون من بعض المفاجأت. 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 تغمس الخيوط فى سائل فإنها تخرج كالحبل معلق به القطرات مثل « عقد اللؤلؤ » . وهنا لابد أن نتذكر قصة ريشة البطة . والآن ، يبدو تعارض ، هل حقيقة توجد مواد تمنع البلل عندما يتغير شكلها من الشرائح إلى الخيوط ؟

بالتأكيد خصائص البلل تعتمد على الخصاص الفيزيائية والكيميائية للبلمرات

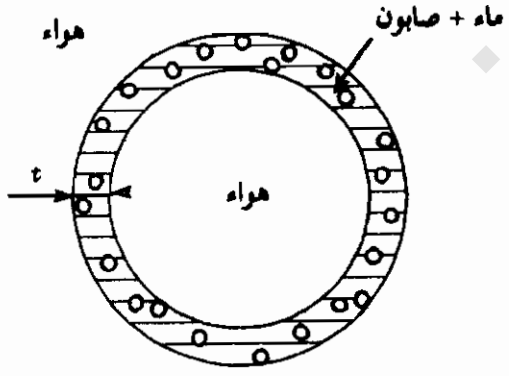


شكل ١٨ : تجربة عدم البلل .

أ) البلل الجزئى بسبب تشكل قطرة كرية .

ب) تحت تأثير قوة لانتشارها على السطح الصلب .

جـ) محاولة السائل للتجمع .



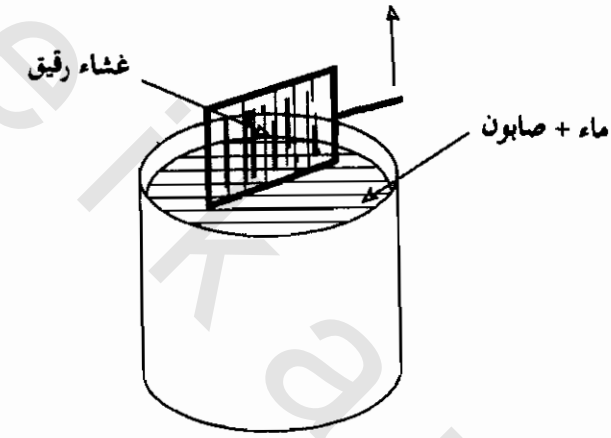
شكل ١٩ : تركيب فقاعة الصابون .

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 النانومترات (١ نانومتر = $\frac{١}{\text{بليون}}$ من المتر) . أخيراً ، استطاع الباحث / ج.م. دى ميجليو إثبات وجود هذا الغشاء السائلى وتحديد سمكه .

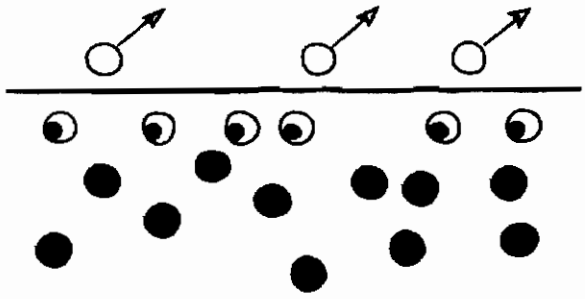
٧/١ - الفقاقيع والرغويات : فقاقيع الصابون تكون جميلة ملونة متحركة وهشة ، ومن السرور أن يراها الأطفال . وفقاعة الصابون توضح كل أطوار الحياة ، فهى تولد وتنمو وتتطور وتشيخ ثم أخيراً تختفى : الفقاعة ليست إلا غشاء من محلول الصابون (شكل ١٩) لماذا تكون هذه الأغشية ملونة ؟ الإجابة ببساطة : اصنع غشاء محلول الصابون بنفسك باستخدام سلك تقطيع البيض أو أى إطار أخر . أغمس الإطار فى محلول الصابون وأخرجه. تلاحظ تكون غشاء سميك بضعة ميكرونات (١ ميكرون = $\frac{١}{\text{بليون}}$ 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 تبعا 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 الفقاقيع ؟ 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 جزئ ماء لايرغب فى شىء 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

obeikandl.com

على جذب الشعرتين بعضهما لبعض . هذه القوة تتناسب مع طول السطح المبلل ، ويسمى ثابت التناسب « بالتوتر السطحى » . 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 قطبى 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) التى تبرز خارج الماء تكون موازية لبعضها . وكمية قليلة من هذه الجزيئات تكفى أن تغطى سطح الماء بطبقة واحدة وحوالى ٢٠ ميلى جرام منها سوف يعطى مساحة واحد متر مربع من سطح الماء . فى هذه الحالة تكون جزيئات الماء سعيدة بلغة الفيزياء لأن قوة التوتر السطحى ستنخفض بمقدار العشر .

٨/١ - الأجسام الهشة :

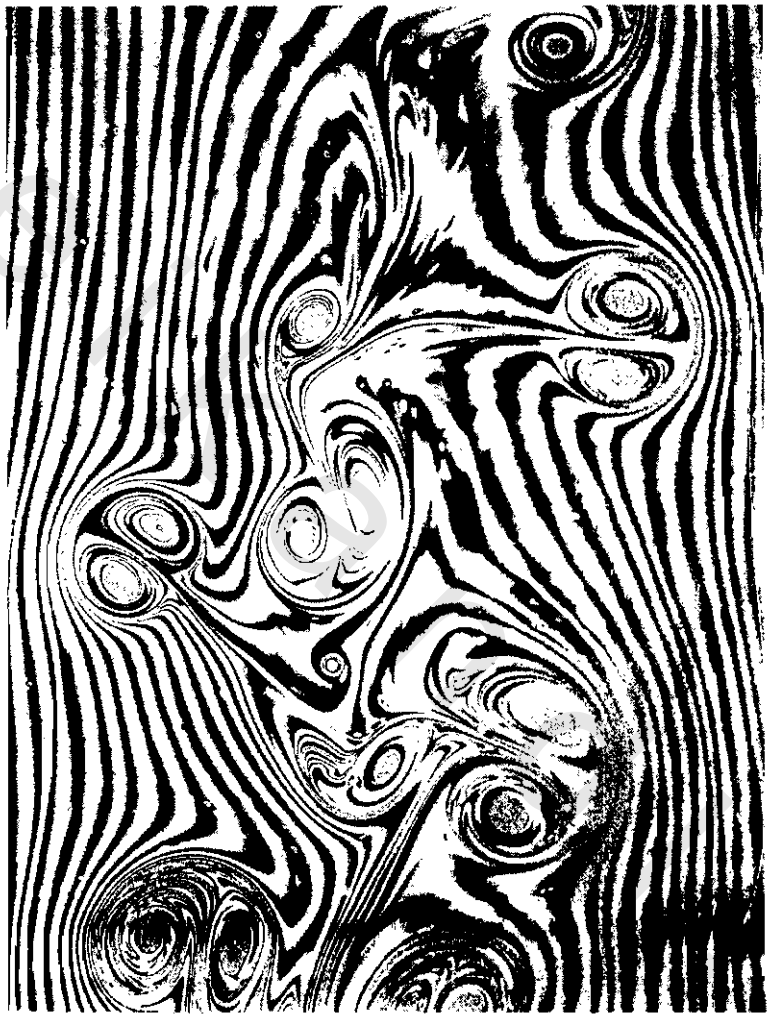
نلاحظ أن قليلاً من الصمغ العربى يجعل الحبر الصينى مثاليا للاستعمال لعام كامل . وقليل من قطرات الشامبو يولد سحابة من الرغاوى . وتفاعل الأكسجين يحول عصارة شجرة الهيفيا إلى مطاط طبيعى . وكذلك البطارية متناهية الصغر تكون كافية لتشغيل الساعة . كل هذه الأمثلة تبين لنا جوهر المواد الرخوة . المادة الرخوة هى المادة التى تشبه الصلصال (الطين) فى يد النحات ، الذى يتعامل معها بقليل من الجهد ويعرف تغيرها وتشكيلها وتأسيسها .

وكما هو الحال فى الصلصال ، يمكن صنع الأجسام الهشة التى يمكن تشويهها ، مثل المطاط الذى يتواجد بين الحالة الصلبة والحالة السائلة والرغوة وخلفية الدم الحمراء التى تلامس الأنابيب الشعرية ، وأيضاً الأنسجة الليفية التى تطرح ٦٠٠٠ متر / دقيقة باستعمال رشاش صغير . لقد تعلمنا كيف نصنع الأجسام الصلدة مثل الصوان والحجر البرونزى والطوب اللبنى وحتى الأخشاب ، ولكن سرعان ما نكتشف أنه لابد من طريقة نطوع بها هذه المواد . أن فيزياء القرن العشرين كرست نشاطها أولاً للمواد الصلدة مثل المعادن وأشباه الموصلات التى 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 التى تغير الأشكال التقليدية من حولنا .

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



شكل ٢٢ : نموذج يبين التراكيب الدوامية فى جزئ البلمر

طرح إطار عام أما البيولوچيا لها طرق خاصة للمشاهدة والاكتشاف .

المادة الحية تعتمد على مبادئ وأسس المادة الرخوة ، ولكن بدقة متناهية والتى غالبا ما تكون وراء ملكوت علماء الفيزياء . وفى الوقت الحالى 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 والاتقان . على سبيل المثال ، دعنا نستفيد من حالة البلورات السائلة ومدى التحدى فى التحول الجزيئى إلى جزء صلد وأخر لين يجعل من تطبيقاتها العهد الجديد للتكنولوچيا .

obeikandl.com