



كلية العلوم

القسم : الكيمياء

السنة : الثانية

المادة : كيمياء عضوية ١

المحاضرة : الخامسة / نظري / د. سلمان نصر

{{ مكتبة A to Z }}

مكتبة A to Z : Facebook Group

2026

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر (What's app-Telegram) على الرقم 0931497960



مقدمة الكيمياء الفراغية

درسنا بأن المتماكبات هي مركبات كيميائية لها نفس الصيغة الجزيئية ، ولكنها تختلف عن بعضها إما في ترتيب وتسلسل ذراتها وروابطها في الجزيء ، أو بتوضع ذراتها في الفراغ ، ويتبع ذلك بصورة طبيعية اختلاف في الخواص الفيزيائية والكيميائية .

تصنف المتماكبات في مجموعتين أساسيتين: المتماكبات البنوية ويمكن تقسيمها إلى متماكبات هيكلية ووظيفية وموضعية وتوتوميرية (راجع) . والمتماكبات الفراغية وتقسم إلى دورانية (الامتثالات) وضوئية ودياستيرية وهندسية .

1- المتماكبات الفراغية أهمها :

أ (المتماكبات الهندسية

أن التداخل المتبادل الجانبي بين المدارات المتوازية p التي تشكل الرابطة π عند الألكينات ، (راجع التهجين sp^2) ، يؤدي إلى عدم إمكانية الدوران حول الرابطة π ، وبالتالي يكون للبوتن 2 مثلاً مماكبين ، حيث تكون مجموعتا الميثيل في جانب واحد من الرابطة الثنائية في أحدهما ، والذي يعرف باسم مقرون - البوتن 2 ، بينما تقع مجموعتا الميثيل في المماكب الآخر على جانبي الرابطة الثنائية ، ولذا يدعى هذا المماكب باسم مفروق - البوتن 2 .

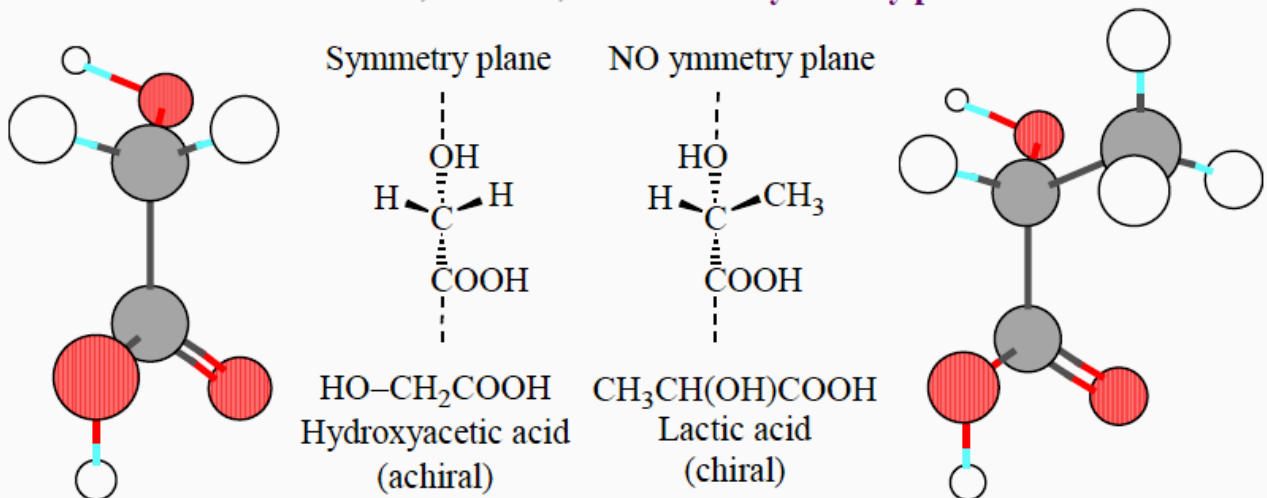
ب (المتماكبات الضوئية

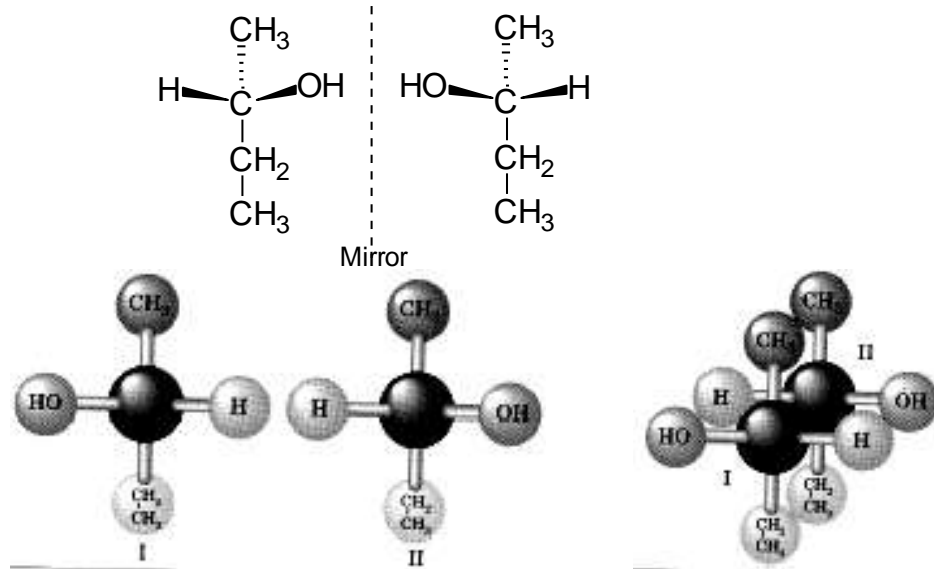
يتوقف هذا النوع من التماكب على عدم التناظر الفراغي للمركبات العضوية . ويلاحظ التماكب الضوئي في المركبات العضوية المشبعة التي تحتوي على الأقل على ذرة كربون لا متناظرة (أي مرتبطة بأربعة متبادلات مختلفة) ويقال له كربون كيرالي chiral (يدوي) ويوسم هذا الكربون أحياناً بنجمة * .

1-2. الجزيئات اللامتناظرة والمتخايلات

بشكل عام، وجود أي عنصر من عناصر التناظر (مستوي تناظر، محور تناظر ، ومركز تناظر) في أي جزيء (أو أي جسم) يجعل من هذا الجسم أن يكون متطابقاً مع خياله في مرآة مستوية ، والذي يمكن أن نتصوره في جزيء بينما تكون إمكانية ترتيب متبادلات ذرة كربون لا متناظرة بطريقتين، وبطريقتين فقط في رؤوس رباعي الوجوه المنتظم بحيث يكون أحد الترتيبين الفراغيين (التشكيلين) الناتجين خيلاً للآخر في مرآة مستوية وغير قابل للانطباق عليه ، ويعرف هذان المتماكبان الفراغيان بالمتماكين الضوئيين ، كما هي الحال الأتي وفي جزيء البوتانول 2- (الشكل 1).

Lactic acid, however, has no such symmetry plane.





الشكل (1) متماكبا البوتانول -2

وبذلك يمكن أن توجد الجزيئات التي لا تحوي أي عنصر من عناصر التناظر في تشكيلين مختلفين فراغياً غير متطابقين ، يكون أحدهما بالنسبة للآخر كالجسم وخياله في مرآة مستوية .
يعرف الجزيء الذي ينتمي إلى هذا النمط من الجزيئات بجزيء يدوي أو chiral (من اليونانية وتعني يد، إذ إن العلاقة بين الجزيئات في هذه الحالة مثل العلاقة بين اليد اليمنى واليد اليسرى) .



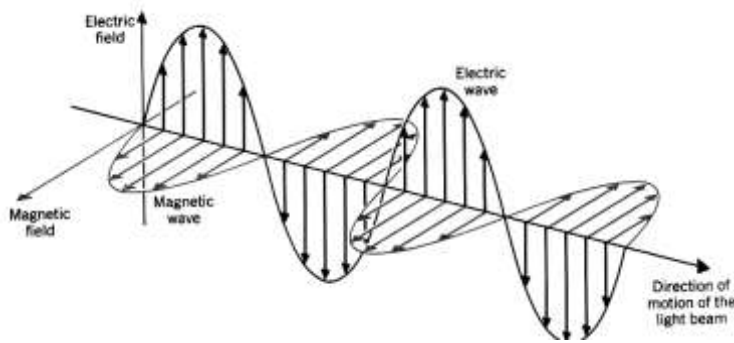
من الممكن أن نتعرف على عدم التناظر في الجزيء بمقارنة الصيغ الفراغية ثلاثية الأبعاد الممكنة له (أو باستعمال النماذج الجزيئية) ، فعدم التناظر في جزيء البوتانول - 2 ، يعود كما يبين الشكل (4) إلى أن الكربون رقم (2) يرتبط بأربع مجموعات مختلفة (H ، OH ، CH₃ ، C₂H₅) . تدعى ذرة الكربون هذه ذرة كربون لا متناظرة لأنها سبب عدم التناظر في الجزيء .

تعرف المتماكبات الفراغية التي ينتسب بعضها إلى بعضها الآخر في أن أحدها يكون خيالياً للآخر في المرآة (جزيئات يدوية) باسم المتخايلات (الإنانتيوميرات) enantiomers ، ويكون المتخايلان دائماً غير متطابقين .
من أبسط طرق التعرف على الجزيء الذي يتصف بالخواص اليدوية (عدم التناظر) ، النظر إلى ذرات الكربون التي ترتبط بأربع مجموعات مختلفة ، حيث إن الكربون الذي يرتبط بمجموعتين متماثلتين على الأقل يجعل الجزيء متناظراً achiral (غير يدوي) ومنطبقاً بالتالي مع خياله في مرآة .

تتصف المركبات اليدوية بأنها فعالة ضوئياً optically active ، وتعرف هذه الظاهرة تحت اسم الفعالية الضوئية optical activity ، ولكي ندرس هذا النوع من التماكب لا بد من دراسة طبيعة الضوء المستقطب .

1-3. مستوى الضوء المستقطب

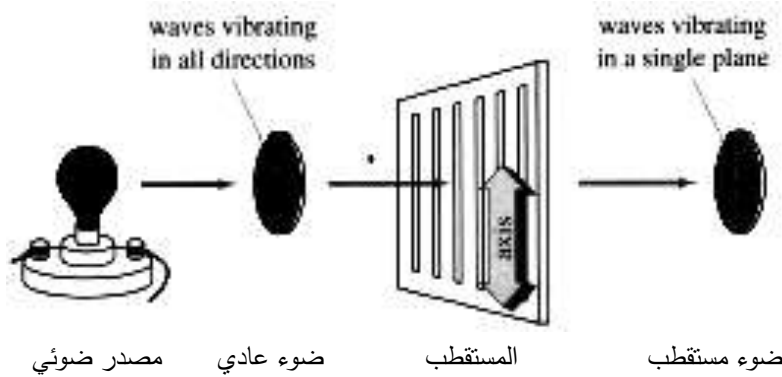
الضوء ظاهرة موجية كهرومغناطيسية ، ويتألف الشعاع الضوئي من مجالين متعامدين ، هما المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي الشكل (5) ، واللذان ينتشران على شكل اهتزازات في مستويين متعامدين بحيث يكون كل منهما عمودياً على اتجاه مسار الضوء .



يوجد عدد لا نهائي من المستويات المارة عبر خط انتشار الضوء ، ويهتز الضوء العادي في جميع هذه المستويات ، وبذلك ينتشر الضوء في جميع اتجاهات الفراغ .

الشكل (2) المجالان الكهربائي والمغناطيسي في حزمة الضوء العادي

أما الضوء المستقطب فهو الضوء الذي ينتج عن اهتزازات الموجة الكهرومغناطيسية في واحد فقط من هذه المستويات (في مستوى واحد) الشكل (3)، ويتشكل الضوء المستقطب إذا مر الضوء العادي في عدسة مصنوعة من مادة تسبب الاستقطاب . وهي عادة عبارة عن قطع من حجر الكالسيت (وهي بلورات خاصة من CaCO_3) مرتبة بحيث تعطي ما يدعى بموشور نيكول . فإنها تتفاعل معه بشكل يجعل المجال الكهربائي للضوء الخارج والمجال المغناطيسي المتعامد معه يهتز في مستوى واحد.

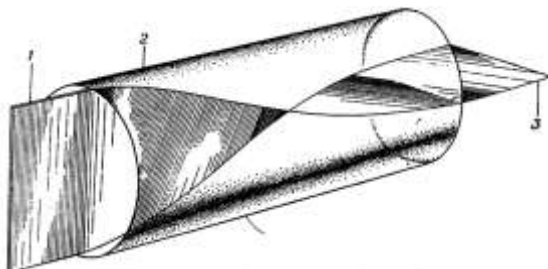


الشكل (3) الحصول على الضوء المستقطب في مستوى

1-4. الفعالية الضوئية

عرف مع بداية القرن التاسع عشر أن بعض البلورات (بلورات المرو والمعروفة بالكوارتز) تسبب تدوير مستوي استقطاب الضوء المستقطب ، دعت هذه الظاهرة الضوئية بالفعالية الضوئية ودعت المواد التي تتميز بهذه الصفة بالمواد الفعالة ضوئياً . لاحظ العالم الفرنسي بيو Biot عام 1815 أن بعض المركبات العضوية ذات الأصل الحيواني أو النباتي تحرف مستوي الضوء المستقطب. وأثار بذلك اهتمام الكثير من زملائه العلماء في ذلك الوقت ، حيث تبين لهم فيما بعد أن صفة الفعالية الضوئية التي تتميز بها هذه المركبات تبقى واضحة، حتى وإن كانت هذه المركبات منحلّة في المذيبات. ويؤكد هذا بالطبع أن الفعالية الضوئية يجب أن تكون متعلقة بالجزيء ذاته .

تختلف المواد الفعالة ضوئياً بزاوية دوران مستوي الاستقطاب الشكل (4) . وتقاس زاوية دوران الضوء المستقطب في مستوى عند مروره في مادة فعالة ضوئياً أو في محلولها بواسطة مقياس الاستقطاب polarimeter الشكل (5) .



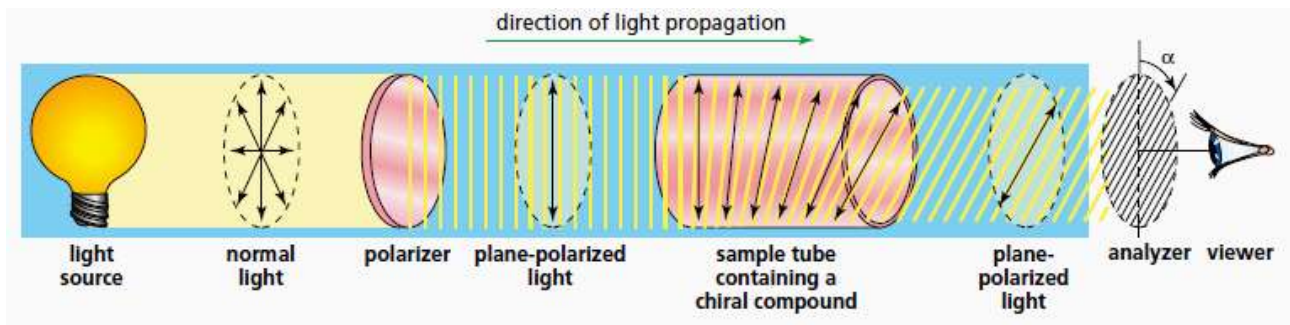
الشكل (4) دوران مستوي الاستقطاب

حيث :

- 1- مستوي استقطاب الضوء المستقطب ، 2- المادة
- الفعالة ضوئياً ، 3- مستوي الاستقطاب بعد دورانه

وحيث يمر الضوء البسيط وحيد اللون الصادر من المنبع الضوئي (يكون عادة ضوء الصوديوم 589 نانومتر) خلال موشور الاستقطاب (موشور نيكول) ، فيخرج ضوءاً مستقطباً في مستوى واحد ، ثم يدخل هذا الشعاع الضوئي عبر المحلول الموجود في أنبوب العينة الشكل (5) ، ليخرج منه إلى الموشور المحلل . إذا كان الموشوران المقطب والمحلل متوازيين وكانت المادة في أنبوب العينة غير فعالة ضوئياً ، برز الضوء أعظمي الشدة من المحلل ، أما إذا كانت هذه المادة فعالة ضوئياً فإنها ستدير مستوي استقطاب الضوء زاوية مقدارها α ، ولن نحصل بالتالي على شدة عظمى للضوء البارز إلا إذا أدنا الموشور المحلل زاوية قيمتها α ، ونقاس هذه الزاوية مباشرة على قوس مدرج . تحوي مقاييس الإستقطاب المصنعة حديثاً خلية ضوئية تقوم بتحديد زاوية الدوران بدقة.

تعتمد قيمة زاوية الدوران α على عدد الجزيئات الفعالة ضوئياً التي يعبرها الشعاع الضوئي وعلى طبيعة هذه الجزيئات ، كما تتأثر α بالمذيب . إن وجد . وبطول موجة الشعاع الضوئي المستقطب وبدرجة الحرارة التي يجري عندها القياس .



الشكل (5) جهاز مقياس الاستقطاب

لقد جرت العادة أن نعبر عن القياسات الكمية للفعالية الضوئية بما يسمى القدرة الدورانية $[\alpha]$ التي تعطى بالعلاقة :

$$\text{Specific rotation, } [\alpha]: \quad [\alpha]_D^T = \frac{\alpha}{l \times c}$$

α : observed rotation

$[\alpha]$ = القدرة الدورانية النوعية

l : sample path length (dm)

α = الزاوية التي يدورها الضوء المستقطب نتيجة مروره خلال محلول العينة

c : sample concentration (g/mL)

l = طول أنبوب العينة (دسم)

C = تركيز المتخايل في المحلول (غ مل⁻¹)

لكن تعبر بعض المصادر العلمية عن القياسات الكمية للفعالية الضوئية $[\alpha]$ بالعلاقة :

$$[\alpha] = \frac{100\alpha}{cl}$$

where c is the concentration of the sample in grams per 100 mL of solution, and l is the length of the polarimeter tube in decimeters. (One decimeter is 10 cm.)

تعرف القدرة الدورانية النوعية $[\alpha]_D^t$ لمادة بأنها الزاوية التي يدورها مستوي الضوء المستقطب نتيجة مروره في عمود محلول من المادة طوله ديسمتر واحد (dc) ، وتركيز المحلول فيه غرام واحد في المليلتر (g ml⁻¹) . وتعطى القدرة الدورانية النوعية لسائل نقي بالعلاقة $\alpha = [\alpha]_D^t \cdot l \cdot d$ ، حيث d : كثافة السائل .

يستعمل عادة ضوء الصوديوم الأصفر D (589 نانومتر) كمنبع ضوئي في مقياس الاستقطاب ، وتجري القياسات عادة عند الدرجة العادية من الحرارة ، لذلك يستخدم الرمز $[\alpha]_D$ للتعبير عن القدرة الدورانية النوعية في هذه الدرجة ، أو ينبغي تحديد درجة الحرارة التي أجري عندها القياس $[\alpha]_D^t$. من الممكن . بالطبع . استخدام مقياس الاستقطاب في حساب تركيز مادة ما إذا عرفت قيمة قدرتها الدورانية النوعية والعكس صحيح أيضاً .

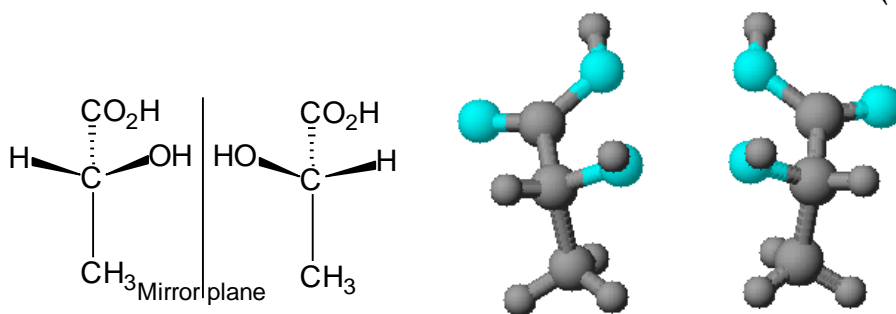
نسمى المتخايل الذي يحرف مستوي استقطاب الضوء باتجاه عقارب الساعة بالمتخايل (المماكب الضوئي) يميني الفعالية أو يميني التدوير، ويرمز له بالإشارة (+)، أما المتخايل الذي يدير مستوي الضوء المستقطب في عكس اتجاه عقارب الساعة، فهو يساري الفعالية أو يساري التدوير، ويرمز له بالإشارة (-)¹. يحرف المتخايلان مستوي الضوء المستقطب بزاوية لها القيمة المطلقة نفسها، ولكن في اتجاهين متعاكسين.

إن القدرة الدورانية النوعية خصيصة ذاتية للمركب الفعال ضوئياً، وللمتخايلين قدرتان دورانيتان متساويتان بالقيمة المطلقة ومختلفتان بالإشارة، فالقدرة الدورانية النوعية لأحد متخايلي 2- يود البوتان هي $[\alpha]_D^{24} = +15.9^\circ$ أما للمتخايل الآخر فهي $[\alpha]_D^{24} = -15.9^\circ$. وبالرغم من ذلك لا تخبرنا هذه القدرة الدورانية عن طبيعة التشكيل حول ذرة الكربون اللامتناظرة، فليس هناك في الحقيقة علاقة بسيطة بين إشارة زاوية الدوران الضوئي والتشكيل المطلق للجزيء.

وجد تجريبياً أن جميع خواص المتماكبين الضوئيين (المتخايلين) الفيزيائية متطابقة، إلا أنهما يحرفان مستوي الضوء المستقطب بزاوية لها القيمة المطلقة نفسها وذلك في اتجاهين متعاكسين، كما وجد أن لهما الخواص الكيميائية نفسها بشرط ألا يحوي المركب المتفاعل معهما ذرة كربون لا متناظرة أي غير فعال ضوئياً.

يسمى الخليط الذي يحوي كميتين متساويتين من متخايلين ضوئيين بالخليط الراسيمي الذي لا يؤثر في الضوء المستقطب، لأن كل متخايل يدير هذا الضوء في اتجاه يعاكس الآخر بزاوية لها القيمة نفسها، وهكذا تكون المحصلة صفراً، ويكون إذن الخليط الراسيمي غير فعال ضوئياً ويرمز له بالرمز (\pm) .

ترتبط ذرة الكربون رقم (2) في جزيء حمض اللاكتيك (حمض اللبن) $\text{CH}_3^*\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$ بأربع مجموعات مختلفة، فهي ذرة كربون لا متناظرة ويوجد حمض اللاكتيك إذن في تشكيلين فراغيين غير منطبقين: متخايلين الشكل (9).



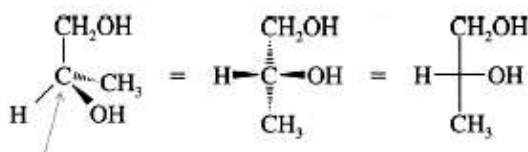
الشكل (9) متخايل حمض اللاكتيك

يوجد المتخايل اليساري (-) من حمض اللاكتيك في اللبن الحامض، ويتكون المتخايل يميني الفعالية (+) في العضلات. ويختلف متخايل حمض اللاكتيك في اتجاه تدوير مستوي الضوء المستقطب وبعض الخواص البيولوجية (تفاعلات مع مركبات فعالة ضوئياً)، إلا أن لهما الخواص الفيزيائية والكيميائية نفسها بشرط ألا يحوي المركب المتفاعل مع هذا الحمض ذرة كربون لا متناظرة.

5-1. صيغ فيشر

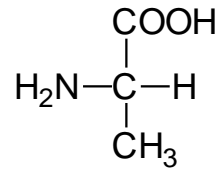
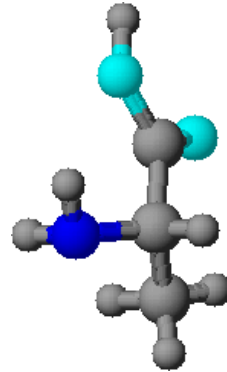
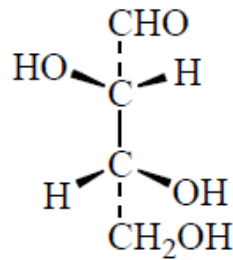
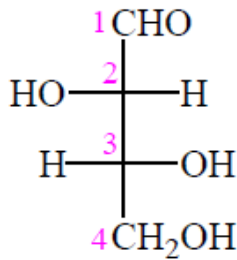
إن رسم صيغ التماكبات الضوئية بطريقة ثلاثية الأبعاد على مستوي الورقة بحيث تظهر علاقة عدم التطابق بين المتخايلين ليس بالأمر السهل.

اقترح فيشر Fischer طريقة تتضمن استخدام مساقط الصيغ المجسمة على مستوي الورقة، لذا تسمى هذه الصيغ بـ " صيغ فيشر أو مساقط فيشر"، وفيما يلي كيفية تمثيل أحد متخايلي 1,2- البروبانديول بهذه الطريقة.



¹ يرمز للمتخايل اليميني (+) في بعض الكتب القديمة بالحرف d، وللمتخايل اليساري (-) بالحرف λ.

من الملاحظ أن أطول سلسلة كربونية كُتبت بشكل عمودي ، و كان الكربون رقم (1) من هذه السلسلة في الأعلى ، وروابط المجموعات البارزة في الصيغ المجسمة تجاه الناظر (في مثالنا H ,OH) ، على يمين ذرة الكربون اللامتناظرة ويسارها ، أما الروابط المرسومة فوق ذرة الكربون اللامتناظرة وتحتها فهي تمثل المجموعات البارزة بعيداً عن الناظر .



[(2S,3R)-2,3,4-Trihydroxybutanal]

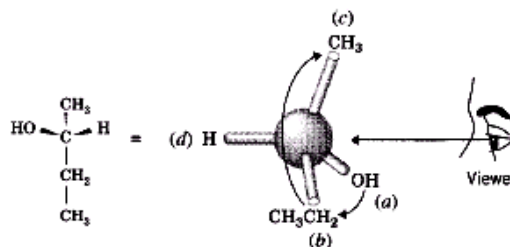
تمثيل أحد متخالي الألانين وفق مساقط فيشر

6-1. تسمية المتخيلات وفق الاصطلاح S و R

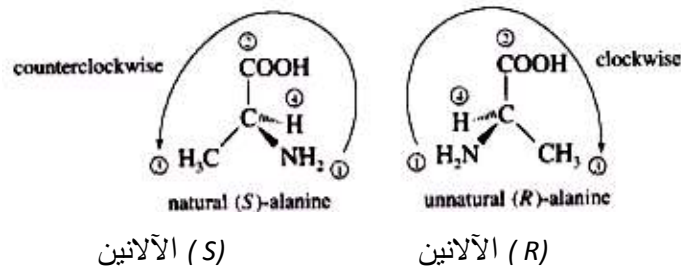
يعود سبب اختلاف إشارة زاوية القدرة الدورانية للمتخيلات إلى اختلاف التشكيل الفراغي حول ذرة الكربون اللامتناظرة ، بالرغم من أنه لا يوجد علاقة مباشرة بين التشكيل المطلق وإشارة زاوية الدوران . لهذا من الضروري إيجاد طريقة واضحة لتسمية المتخيلات تصف التشكيل المطلق حول ذرة الكربون اللامتناظرة .

إن طريقة وصف التشكيل المطلق عند الكربون اللامتناظر (وهي الطريقة المعتمدة وفق التسمية المنهجية IUPAC) وإعطائه اسماً أو رمزاً يُمكن من فهم البنية الفراغية للمركب اعتمدت نظام الأفضلية للزمر التي ترتبط بذرة الكربون اللامتناظر (الأفضلية وفق العدد الذري للذرة المرتبطة مباشرة بالكربون اللامتناظر) ، المقترح أصلاً من قبل برلوغ . انغولد . كاهن cahn-Ingold-prelog ، حيث ترتب المجموعات الأربع المرتبطة بذرة الكربون اللامتناظرة وفق أفضليتها : $1 > 2 > 3 > 4$ أو $a > b > c > d$.

يُوجه الجزيء في الفراغ بحيث يمكن النظر إليه عبر الرابطة بين الكربون اللامتناظر والمجموعة الأخيرة 4 أو d (الأقل أفضلية) ، وبشكل تكون فيه هذه المجموعة أبعد ما يمكن عن المشاهد .

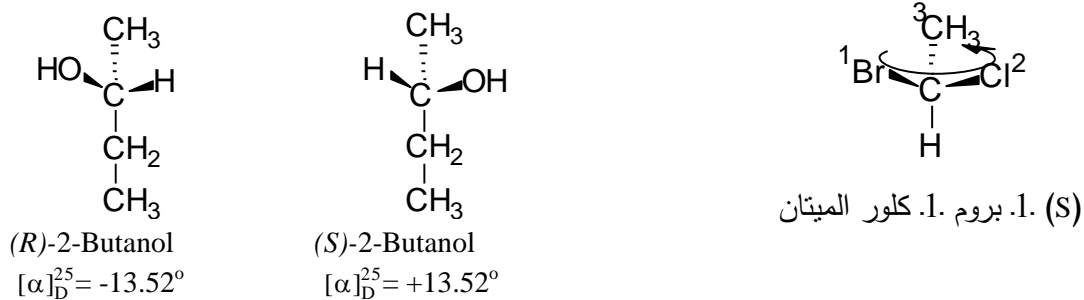


تتوضع عندئذٍ المجموعات الثلاث الأخرى 1 ، 2 ، 3 حول ذرة الكربون اللامتناظرة أمام المشاهد ، الذي يمكنه أن يحدد اتجاه الأفضلية في هذه المجموعات . إذا كان اتجاه ترتيب الأفضلية للمجموعات 1 ، 2 ، 3 في اتجاه عقارب الساعة يكون المتخايل من التشكيل R (من اللاتينية Rectus : يمين) ، أما إذا كان ذلك في عكس اتجاه عقارب الساعة فالمتخايل من التشكيل S (من اللاتينية Sinister : يسار) .



هناك بعض القواعد المرتبطة بنظام الأفضلية ينبغي احترامها أثناء تسمية المتخاليات بالاصطلاح R و S أهمها :

- 1- تعتبر الذرة المرتبطة مباشرة بالكربون اللامتناظر ، وتحدد أفضليتها وفق عددها الذري ، ترتب مثلاً المجموعات الأربع في 1. بروم 1. كلور الإيتان وفق مايلي : $Br > Cl > CH_3 > H$.
- 2- إذا تماثلت الذرتان المرتبطتان بالكربون اللامتناظر في الكتلة عدت الذرة الثانية ، والذرة الثالثة وهكذا...، ولذلك تكون مجموعة الإيثيل قبل مجموعة الميثيل ، أما مجموعة البروبيل فلها الأفضلية على مجموعة الإيثيل . وتصنف عادة مجموعة إيزو البروبيل - $(CH_3)_2CH$ قبل مجموعة نظامي البروبيل - $CH_3CH_2CH_2$ ومجموعة إيزو البوتيل قبل المجموعة - $CH_3CH_2CH_2CH_2$. ويكون كل من التشكيلين R و S للبتانول -2 كما يلي



- 3- عندما تحوي المجموعات المرتبطة بالكربون اللامتناظر ، رابطة ثنائية (أو رابطة ثلاثية) تستبدل برابطتين أحاديتين (أو بثلاث روابط أحادية) مع ذرات من النوع نفسه . فالزمرة الكربونيلية تعد وكأنها كربون مرتبط مع ذرتي أكسجين برابطتين أحاديتين ، كما هو ملاحظ في صيغة أحد متخالي الكارفون Carvone ، أما الرابطة الثلاثية كربون . كربون فتعد كأنها ثلاث روابط كربون . كربون .

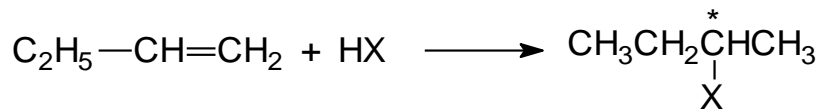
من الضروري أن نتذكر أنه لا يوجد أي علاقة مباشرة بين الرمز R و S (نمط تسمية) المستخدم لتحديد التشكيل المطلق حول ذرة الكربون اللامتناظر ، وبين إشارتي زاويتي الدوران (+) و (-) المرتبطتين بالفعالية الضوئية . هناك متخاليات يمينية الفعالية من التشكيل R أو من التشكيل S ، كما أن هناك متخاليات يسارية الفعالية من التشكيل R أو التشكيل S .

1 - 9. الخلائط الراسيمية

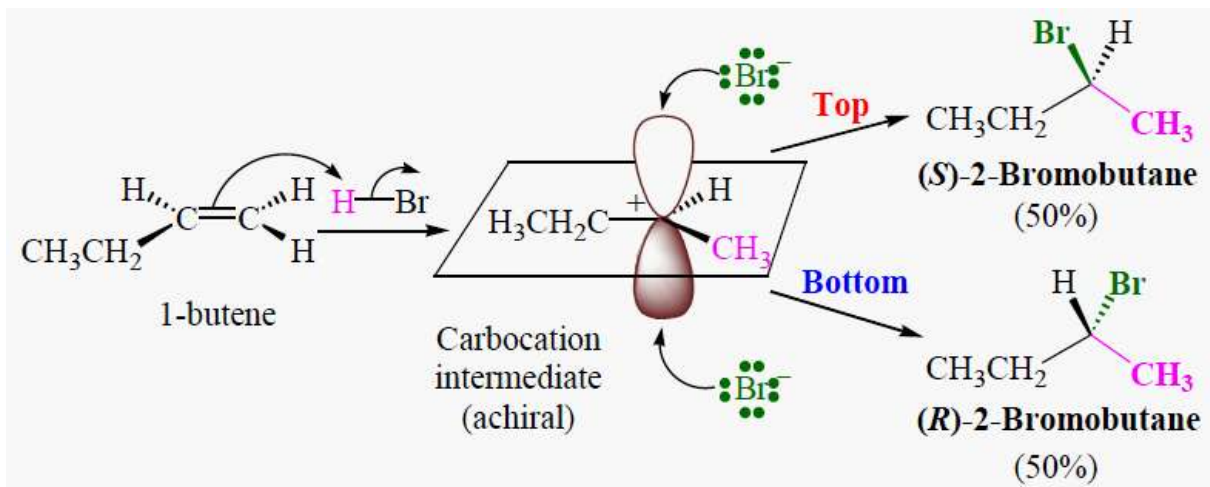
يعرف الخليط الذي يحوي كميتين متساويتين من المتخاليين اليميني (+) واليساري (-) بالخليط الراسيمي ، وليس له أية فعالية ضوئية ويشار إليه بالاشارة (\pm) أو بالرمز (d L). من الطبيعي ألا يبدي الخليط الراسيمي فعالية ضوئية ، حيث أن نصف الجزيئات الموجودة (أحد المتخاليين) في محلول الخليط تحرف مستوي الضوء المستقطب إلى جهة ما بزاوية معينة ، كما تحرف الجزيئات المتبقية (المتخايل الآخر) هذا المستوي بزاوية لها القيمة نفسها ولكن في الاتجاه المعاكس ، وهكذا تكون المحصلة تساوي صفراً .

تعرف الرسمزة بأنها الحادثة التي يتم فيها تحول جزيئات متخايل ضوئي ما إلى المزيج الراسيمي (\pm) الذي يحوي كميات متساوية منه ومن متخايله الضوئي الآخر. ومن الممكن تتبع هذه العملية أحياناً خلال بعض التفاعلات الكيميائية (تفاعل تبادل نكليوفيلي SN^1 ،) .

وتؤدي مثلاً إضافة أحد الحموض الهالوجينية HX إلى بعض الألكانات إلى تشكل خليط راسيمي ، يعود السبب في ذلك إلى أن الكربوكاتيون المتشكل أولاً في هذه الحالة يخضع إلى عملية إعادة ترتيب بحيث يتحول إلى كربوكاتيون أكثر ثباتية أي أن الخطوة الأولى من تفاعل الضم القطبية تنتهي بتشكيل الكربوكاتيون ، وتكون هذه الشاردة الكربونية مستوية من الشكل SP^2 ، ولذا تتوضع المجموعات الثلاث في الفراغ حول الذرة المركزية (الحاملة للشحنة الموجبة) بحيث تكون الزوايا فيما بينها متساوية (120°) فتحوي الشاردة الكربونية الموجبة إذن مستوي تناظر ، وبالتالي يستطيع النكليوفيل المهاجم في الخطوة الثانية أن يقترب من الكربوكاتيون من جهتي المستوي الذي يحويه وبالاختلال نفسه ، أي أن ناتج الضم يكون عبارة عن خليط راسيمي (في حالة النواتج التي تحوي ذرة كربون لامتناظرة) ، فمثلاً عند إضافة HX إلى البوتن - 1 يتشكل 2 - هالو البوتان :



من الملاحظ أن ناتج التفاعل السابق (2 - هالو البوتان) يملك ذرة كربون غير متناظرة ، رغم ذلك هذا الناتج لا يحرف الضوء المستقطب ، لأنه عبارة عن خليط راسيمي ويتشكل وفق الآلية الآتية وحيث الهالوجين هو البروم :



تعطي تفاعلات المركبات الفعالة ضوئياً في تفاعلاتها في الخلايا الحية دائماً مركبات فعالة ضوئياً ، لأن الانزيمات التي تتوسط مثل هذه التفاعلات في الخلايا تكون فعالة ضوئياً أيضاً ، أي أنها تتمكن من التمييز بين المتخايلات اليمينية واليسارية .

تمرين : احسب القدرة الدورانية النوعية $[\alpha]_D^t$ لكل من المركبين التاليين في ضوء المعلومات التالية :

(أ) إذا وضع محلول من 2. يود الأوكتان في الايتير (24.28 غ/ليتر) في أنبوب مقياس

الاستقطاب طوله 40 سم ، كانت زاوية الدوران تساوي $+4.5^\circ$ عند $t = 26^\circ$ س.

(ب) محلول من 2-كلور البنتان في الكلوروفورم (1 مول) ، وضع في انبوب العينة طوله 10 سم ، فكانت $\alpha = 3.64^\circ$.



مكتبة
A to Z