



كلية العلوم

القسم :الكيمياء

السنة : الثالثة

المادة : كيمياء حيوية

المحاضرة : الثانية /نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

مكتبة A to Z : Facebook Group

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

15

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

الكيمياء الحيوية Biochemistry

هو العلم الذي يهتم بدراسة كيمياء مكونات الكائنات الحية المختلفة ، ودراسة كيفية وآلية الترابط والتسويق (التحولات الكيميائية) بين مختلف التفاعلات الجارية (التي تحدث) في الكائن الحي . وتنقسم الكيمياء الحيوية إلى :

1- الكيمياء الحيوية الوصفية (الساكنة) : وتشمل دراسة التركيب الدقيق للمادة الحية (أي تشمل دراسة المكونات المختلفة للخلية ، والتي تتألف من آلاف المواد الكيميائية المختلفة (العضوية واللاعضوية) وكيفية فصلها ، وتنقيتها وتشخيصها .

2- الكيمياء الحيوية الحركية : تهتم بدراسة التغيرات والتحولات الكيميائية أو العمليات الاستقلابية الحياتية Metabolism التي تحدث في الأنظمة الحياتية.

3- هناك تصنيفات أخرى (كيمياء حيوية سريرية، حيوانية، نباتية، مجهرية الخ) .

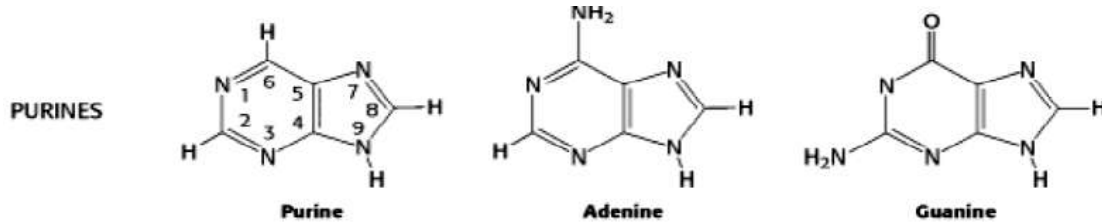
الجزيئات الحيوية Biomolecules :

تتكون الجزيئات الحيوية الأساسية الداخلة في بناء الكائن الحي من عناصر كيميائية منها (P, S, N, H, O, C) ، وهي الأكثر تواجداً في الخلايا الحية وتدخل في تشكيل المركبات العضوية (المعروفة بالمواد الحية) وأهمها:

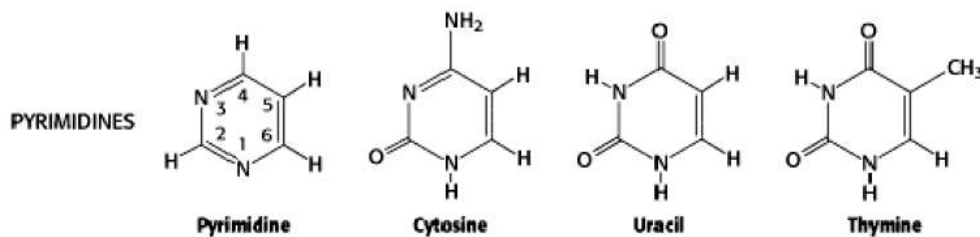
الكربوهيدرات (السكريات) Carbohydrates ، الحموض الأمينية Amino acids ، البروتينات Proteins ، الليبيدات (المواد الدسمة) Lipids ، النكليوتيدات Nucleotides ، ومركبات أخرى مثل الفيتامينات .

تدل الدراسات بأن الجزيئات الحيوية الأساسية التي تعتبر مواد - مولدة Precursors في بناء الكائنات الحية تتكون من ثلاثين جزيئة مولدة صغيرة بالإضافة إلى الماء H_2O ، يمكن تصنيفها إلى أربعة أصناف هي :

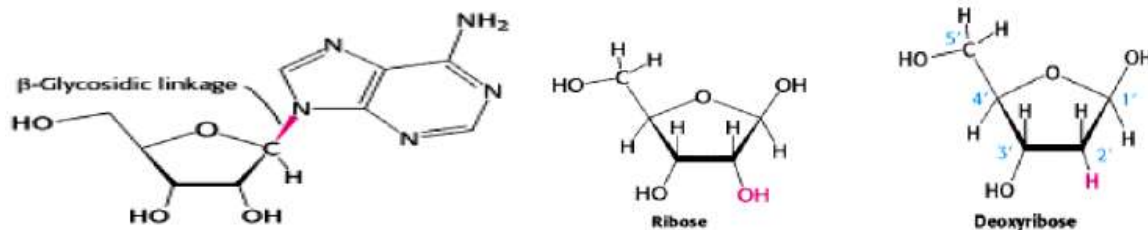
1- عشرون حمضاً أمينياً (α -) من نوع L- مولدة للبروتينات . 2- خمس قواعد (أسس) نتروجينية ، وهي نوعان : النوع الأول قواعد البيورين Purine وتشمل قاعدتين : (الأدينين Adenine والكوانين Guanine)



النوع الثاني: قواعد البيريميدين وتشمل ثلاث قواعد: السيتوسين Cytosine واليوراسيل Uracil والتيمين Thymine

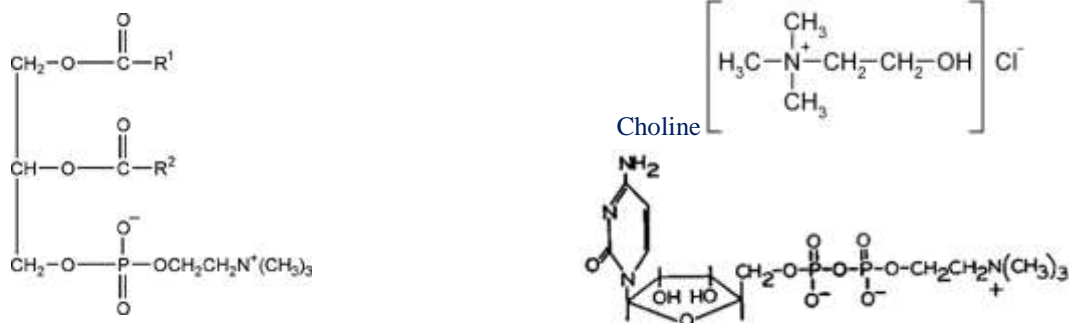


وترتبط هذه القواعد الخمس بسكر الرايبوز D-Ribose أو بسكر الرايبوز المنقوص الأكسجين Deoxyribose لبناء النكليوزيدات ، وترتبط هذه الأخيرة مع الفوسفات لبناء النكليوتيدات ، التي تعتبر الوحدات البنائية المتكررة للحموض النووية RNA , DNA .



3 - سكر الجلوكوز D-Glucose ، وهو الناتج الرئيس من عملية التركيب الضوئي في النباتات ، والمركب الوسطي المركزي للإستقلاب Metabolism وسكر الرايوز .

4 - حمض البالميتيك Palmitic acid $C_{16}H_{32}O_2$ ، والجليسرول (Glycerol) ومادة الكولين الأمينية Choline ، وتعتبر هذه المركبات الثلاثة مواد أولية للدهون المفسفرة ، وتمثل الأغشية البيولوجية Phospho Biological Membranes



مقدمة الكيمياء الفراغية

درسنا بأن المتصاوغات (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 وتنقسم إلى ضوئية و دياستيرية و هندسية (مقرون - مفروق) .

1- المتماكبات الفراغية

المتماكبات الفراغية التي يمكن فصلها كمركبات نقية ، فهي تعرف باسم المتماكبات الفراغية التشكيلية ، هذا ويتضمن انقلاب مماكب من هذا النوع إلى مماكب آخر فصم رابطة وإعادة تشكيلها . ونصادف فيها :

أ (**المتماكبات الهندسية** : أن التداخل المتبادل الجانبي بين المدارات المتوازية p التي تشكل الرابطة π عند الألكينات ، (راجع التهجين sp^2) .

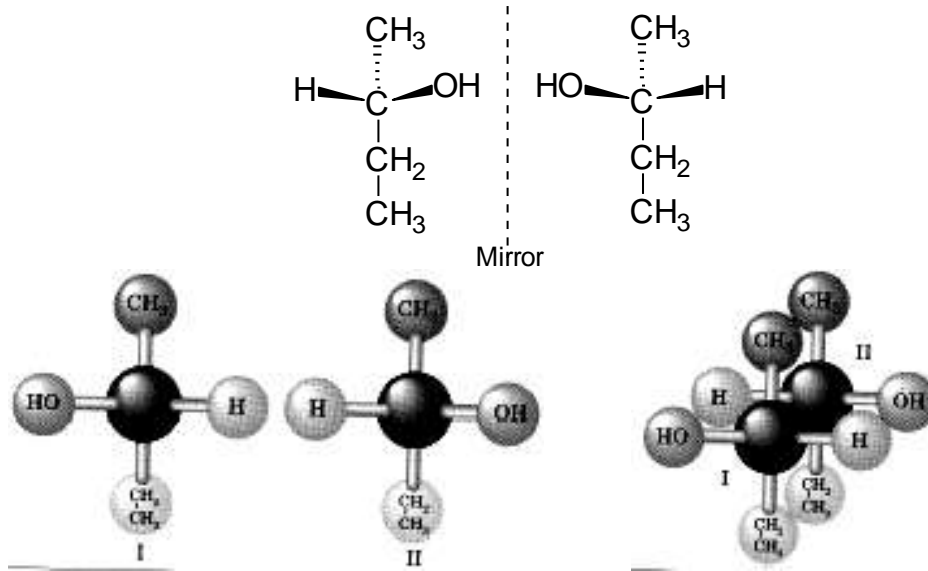
ب (**المتماكبات الضوئية** : يتوقف هذا النوع من التماكب على عدم التناظر الفراغي للمركبات العضوية . ويلاحظ التماكب الضوئي في المركبات العضوية المشبعة التي تحتوي على الأقل مركز كيرالي أي على ذرة كربون لا متناظرة (أي مرتبطة بأربعة متبادلات مختلفة) ويوسم مثل هذا الكربون أحيانا بنجمة * .

1-2. الجزيئات اللامتناظرة والمتخايلات

تسمح لنا نظرية الكربون رباعي الوجوه المنتظم أن نتصور بأن أي جزيء عضوي تكون فيه كل ذرة كربون ، مرتبطة بمجموعتين متطابقتين على الأقل ، مثل كلور الميثان CH_3Cl أو ثنائي كلور الميثان CH_2Cl_2 أو ثلاثي كلور أو كلور ثنائي فلور الميثان $CHClF_2$

تكون إمكانية ترتيب متبادلات ذرة كربون لا متناظرة (كيرالية) بطريقتين ، وبطريقتين فقط في رؤوس رباعي الوجوه المنتظم بحيث يكون أحد الترتيبين الفراغيين (التشكيلين) الناتجين خيالا للآخر في مرآة مستوية وغير قابل للانطباق عليه ، ويعرف هذان المتماكان الفراغيان بالمتماكين الضوئيين ، كما هي الحال في جزيء البوتانول -2 (الشكل 2) .

توجد هذه الجزيئات (التي تحوي في بنيتها الهيكلية على ذرة كربون مرتبطة بأربع متبادلات مختلفة) في تشكيلين مختلفين فراغياً غير متطابقين ، يكون أحدهما بالنسبة للآخر كالجسم وخياله في مرآة مستوية



الشكل (2) متماكبا البوتانول -2-

يعرف هذا النمط من الجزيئات بجزيء بدوي أو chiral (من اليونانية وتعني يد، إذ إن العلاقة بين الجزيئات في هذه الحالة مثل العلاقة بين اليد اليمنى واليد اليسرى) .

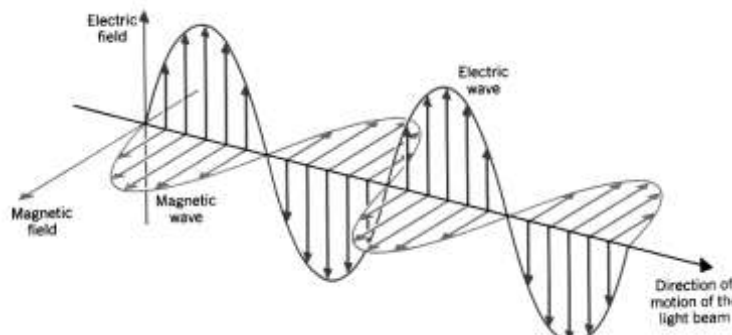


من الممكن أن نتعرف على عدم التناظر في الجزيء بمقارنة الصيغ الفراغية ثلاثية الأبعاد الممكنة له (أو باستعمال النماذج الجزيئية) ، فعدم التناظر في جزيء البوتانول - 2 ، يعود كما يبين الشكل (2) إلى أن الكربون رقم (2) يرتبط بأربع مجموعات مختلفة (H ، OH ، CH₃ ، C₂H₅) . تدعى ذرة الكربون هذه ذرة كربون لا متناظرة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

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

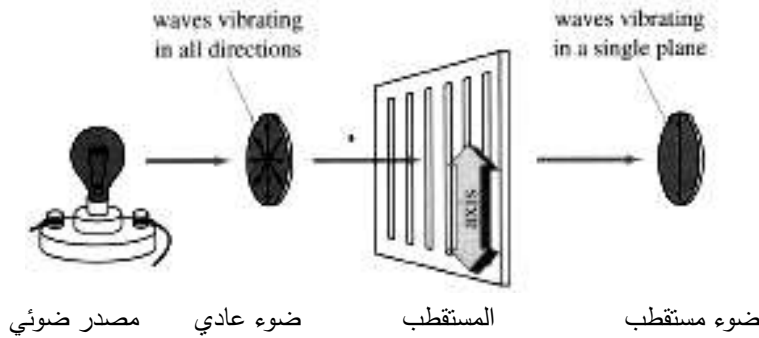
1-3. مستوي الضوء المستقطب

الضوء ظاهرة موجية كهرومغناطيسية ، ويتألف الشعاع الضوئي من مجالين متعامدين ، هما المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي الشكل (3) ، واللذان ينتشران على شكل اهتزازات في مستويين متعامدين بحيث يكون كل منهما عمودياً على اتجاه مسار الضوء .



الشكل (3) المجالان الكهربائي والمغناطيسي في حزمة الضوء العادي

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 .
أما الضوء المستقطب فهو الضوء الذي ينتج عن اهتزازات الموجة الكهرومغناطيسية في واحد فقط من هذه المستويات (في مستوي واحد) الشكل (4)، 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 مستوي واحد.

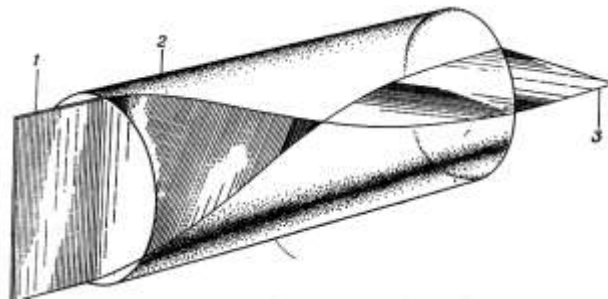


الشكل (4) الحصول على الضوء المستقطب في مستوي

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 (5) . وتقاس زاوية دوران الضوء المستقطب في مستوي عند مروره في مادة فعالة ضوئياً أو في محلولها بواسطة مقياس الاستقطاب polarimeter الشكل (8) .



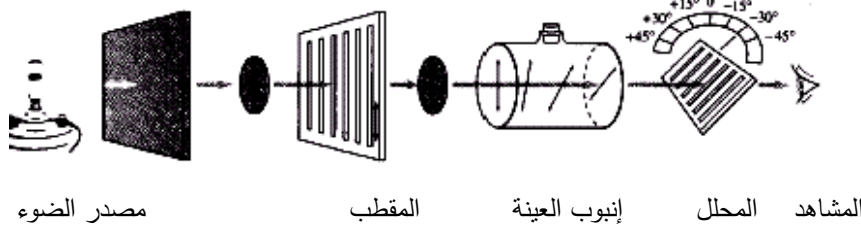
1- مستوي استقطاب الضوء المستقطب ، 2- المادة الفعالة ضوئياً ، 3- مستوي الاستقطاب بعد دورانه

الشكل (5) دوران مستوي الاستقطاب

حيث يمر الضوء البسيط وحيد اللون الصادر من المنبع الضوئي (يكون عادة ضوء الصوديوم 589 نانومتر) خلال موشور الاستقطاب (موشور نيكول) ، فيخرج ضوءاً مستقطباً في مستوي واحد ، ثم يدخل هذا الشعاع الضوئي عبر المحلول الموجود في انبوب العينة الشكل (8) ، ليخرج منه إلى الموشور المحلل . إذا كان الموشوران المقطب والمحلل متوازيين وكانت المادة في انبوب 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 أدركنا 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 (8) جهاز مقياس الاستقطاب

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

$$[\alpha]_D^t = \frac{\alpha}{\ell \cdot c}$$

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

$[\alpha]$ = القدرة الدورانية النوعية، ℓ = طول أنبوب العينة (دسم) ، C = تركيز المتخايل في المحلول (غ مل⁻¹)

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

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

$$[\alpha] = \frac{100\alpha}{c\ell}$$

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.)

نسمي 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 .

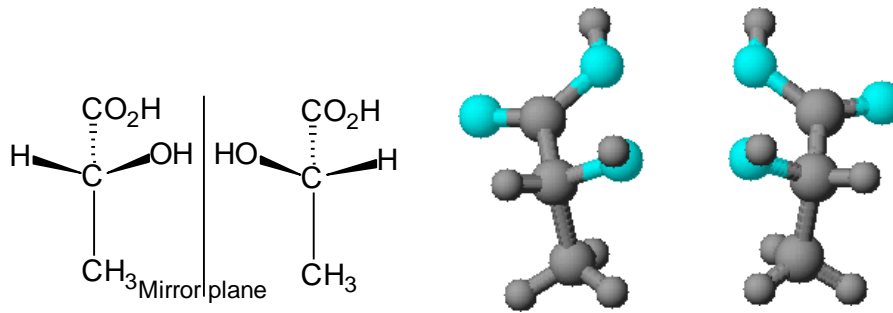
إن القدرة الدورانية النوعية خصيصة ذاتية للمركب الفعال ضوئياً ، وللمتخايلين قدرتان دورانيتان متساويتان بالقيمة المطلقة ومختلفتان بالإشارة ، فالقدرة الدورانية النوعية لأحد متخايلي 2- يود البوتان هي $[\alpha]_D^{24} = +15.9^\circ$ أما للمتخايل الآخر فهي $[\alpha]_D^{24} = -15.9^\circ$. وبالرغم من ذلك لا 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 .

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

وجد تجريبياً أن جميع خواص المتماكين الضوئيين (المتخاليلن) الفيزيائية متطابقة ، إلا أنهما يحرفان مستوي الضوء المستقطب بزواوية 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 متخاليلن ضوئيين **بالخليط الراسيمي** الذي لا يؤثر في الضوء المستقطب ، لأن كل متخاليل يدير هذا الضوء في اتجاه يعاكس الآخر بزواوية 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 : متخاليلن الشكل (9) .



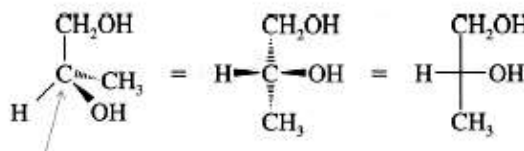
الشكل (9) متخاليل حمض اللاكتيك

يوجد المتخاليل اليساري (-) من حمض اللاكتيك في اللبن الحامض ، ويتكون المتخاليل يميني (+) في العضلات. ويختلف متخاليل 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 المتخاليلن 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 متخاليل 1،2- البروبانديول بهذه الطريقة .



عين الناظر

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 .

السكريات (الكربوهيدرات)

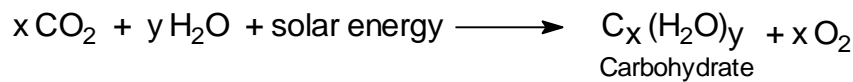
مقدمة

دعيت مجموعة المركبات التي يبدو معظمها وكأنه ماءات (هيدرات) الكربون $C_x(H_2O)_y$ بالكربوهيدرات ، وتُسمى الحدود الدنيا من الكربوهيدرات بالسكريات ، والتي تُعرف بأسماء تنتهي بالنهاية " أوز ose " مثل الغلوكوز ، الفركتوز ، السكروز ، المالتوز ، الرافينوز ، الستاكيوز ، الرايبوز

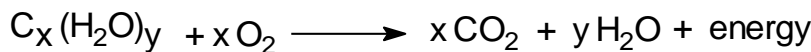
تضم السكريات مجموعة هامة من المركبات العضوية الطبيعية المنشأ ، والمنتشرة بصورة واسعة في النباتات (80% من كتلتها الجافة) ، كالسيليلوز ، والنشاء ، والبكتين ، والسكريات البسيطة : السكروز والغلوكوز .

يعتبر الغلوكوز ، وهو من السكريات البسيطة ، من مكونات الدم المهمة جداً ويوجد أيضاً بشكل بوليمري في الغليكوجين والنشاء والسيليلوز .

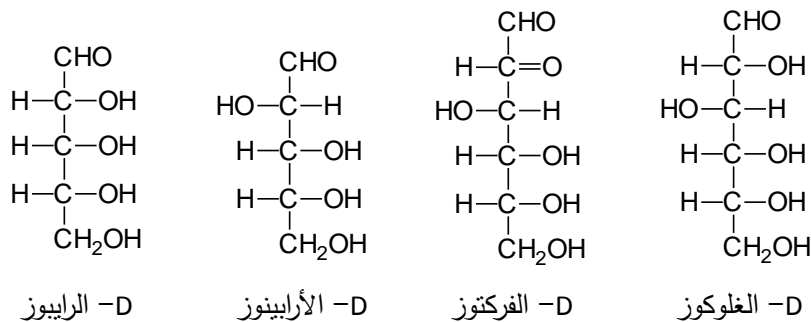
تتكون السكريات في النباتات الخضراء بواسطة الاصطناع الضوئي ، وهي العملية التي يقوم فيها الكلوروفيل الموجود في هذه النباتات ب تثبيت ثنائي أكسيد الكربون CO_2 والماء في تفاعل تحولهما إلى سكر ، حيث تقدم أشعة الشمس الطاقة اللازمة لهذا التفاعل .



وتتطلق هذه الطاقة من جديد عندما يتم استقلاب السكريات في الخلايا الحيوانية والنباتية ، فتحول إلى ثاني أكسيد الكربون والماء .



تعرف السكريات التي لا يمكن حلمتها (كيميائياً ، أو أنزيمياً) إلى وحدات سكرية أبسط منها ، مثل الغلوكوز والفركتوز ... ، بالسكريات الأحادية (البسيطة). يبين الشكل (14) صيغ بعض هذه السكريات وفق مساقط فيشر .



الشكل (14) صيغ بعض السكريات الأحادية وفق مساقط فيشر

تتكون بعض السكريات من وحدتين من السكريات الأحادية مثل السكروز والمالتوز (سكر الشعير) و اللاكتوز (سكر الحليب) ، وتعطي بالحلمة الحمضية اللطيفة جزيئين من السكريات الأحادية ، لذا تدعى بالسكريات الثنائية .

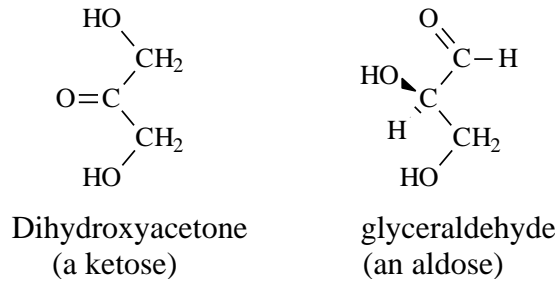
وهكذا تدعى الكربوهيدرات التي تتكون من ثلاثة جزيئات من السكريات الأحادية بالسكريات الثلاثية ، مثل الرافينوز الذي يوجد في الفطريات والشوندر السكري وفي بذور القطن ، حيث يعطي بالحلمة الكاملة جزيئاً واحداً من كل من الفركتوز والغلوكوز والغالاكتوز ، وأما السكريات الرباعية (سكر الستاكيوز مثلاً) فهي تلك التي تتكون جزيئاتها من أربع وحدات من السكريات الأحادية .

تضم السكريات المتعددة (متعددات السكاريد) النشاء والسيليلوز والغليكوجين ، وتعطي جميعها عدداً كبيراً من جزيئات السكريات الأحادية والثنائية عند حلمتها .

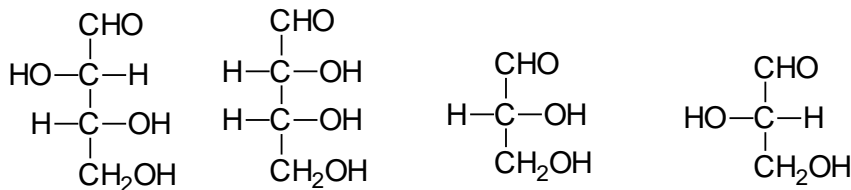
2 - 1 . تصنيف السكريات الأحادية وتسميتها

السكريات الأحادية بشكل عام هي ألدهيدات متعددة الهيدروكسيل أو كيتونات متعددة الهيدروكسيل عدد ذرات الكربون في سلاسلها من 3 - 6 ذرات ، وبذلك تصنف وفق عدد ذرات الكربون في السلسلة ، وبحسب طبيعة الزمرة الكربونيلية (ألدهيدية أو كيتونية) التي تحويها هذه السلسلة .

لدى أكسدة (نزع الهيدروجين) الغليسيرين بالإمكان الحصول على اثنين من أبسط السكريات الأحادية، هما الغليسيرألدهيد وثنائي هيدروكسي الأسيتون اللذان يؤديان درواً هاماً في استقلاب الخلية الحية:



يعرف ألدهيد الغليسيرين (الغليسر ألدهيد) ، وهو أبسط سكر أحادي باسم ألدوتريوز ، ويحوي جزئي السكر رباعي الكربون ذرتي كربون غير متناظرتين ، ولذا نجد لكل سكر من هذه المجموعة مماكبين فراغيين مثل : D-الإريتروز و D-التريز .

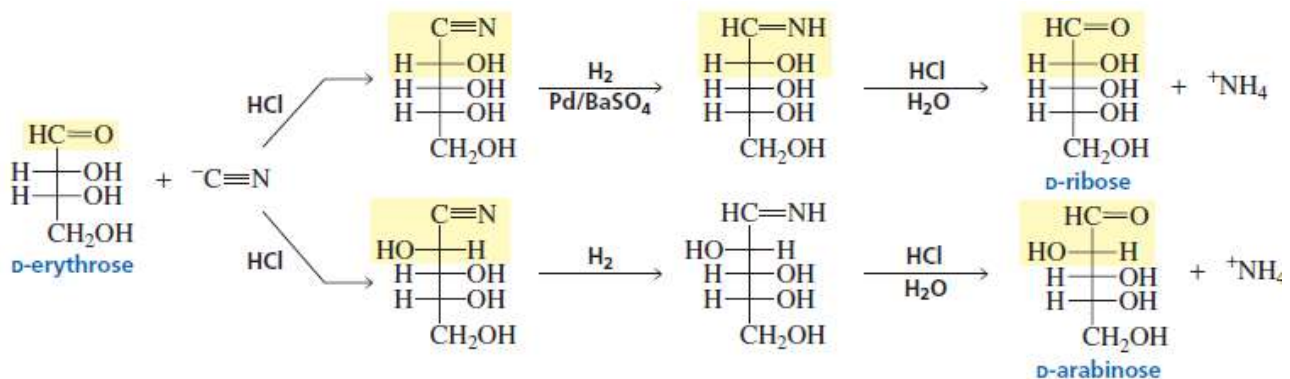


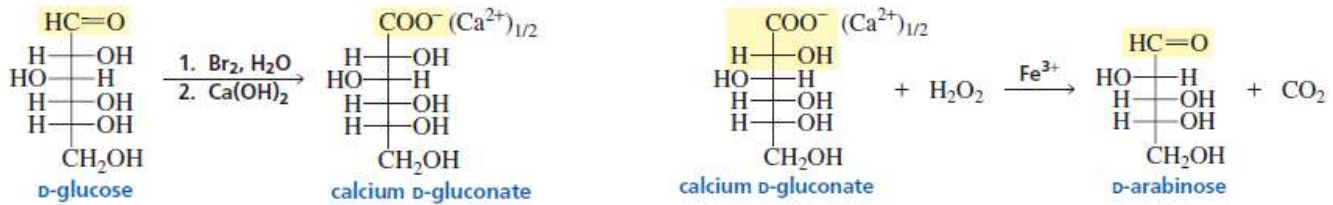
D-(-) - ألدهيد الغليسيرين (+) - ألدهيد الغليسيرين D-الإريتروز D-التريز

S-(-) - ألدهيد الغليسيرين R-(+) - ألدهيد الغليسيرين

يحوي جزئي ألدهيد الغليسيرين كربوناً واحداً لامتناظراً، ولذا يوجد في تشكيلين فراغيين (متخايلين)، وتصنف السكريات الأحادية في سلسلتين كيميائيتين فراغيتين: السلسلة D- والسلسلة L- ، ويعتمد هذا التصنيف على التشكيل حول ذرة الكربون اللامتناظرة والأكثر بعداً عن الزمرة الكربونيلية في جزئي السكر، حيث تنسب المتماكبات التي لها التشكيل المماثل لتشكيل D-ألدهيد الغليسيرين إلى السلسلة D- (الزمرة OH - على اليمين في صيغ فيشر) ، وأما المتماكبات ذات التشكيل المماثل لتشكيل L- ألدهيد الغليسيرين فتتنسب إلى السلسلة L- .

إذ تم اصطناع السكريات (من قبل كيلاني- فيشر Kiliani-Fischer) وخسفا (أوتو روف Otto Ruff):

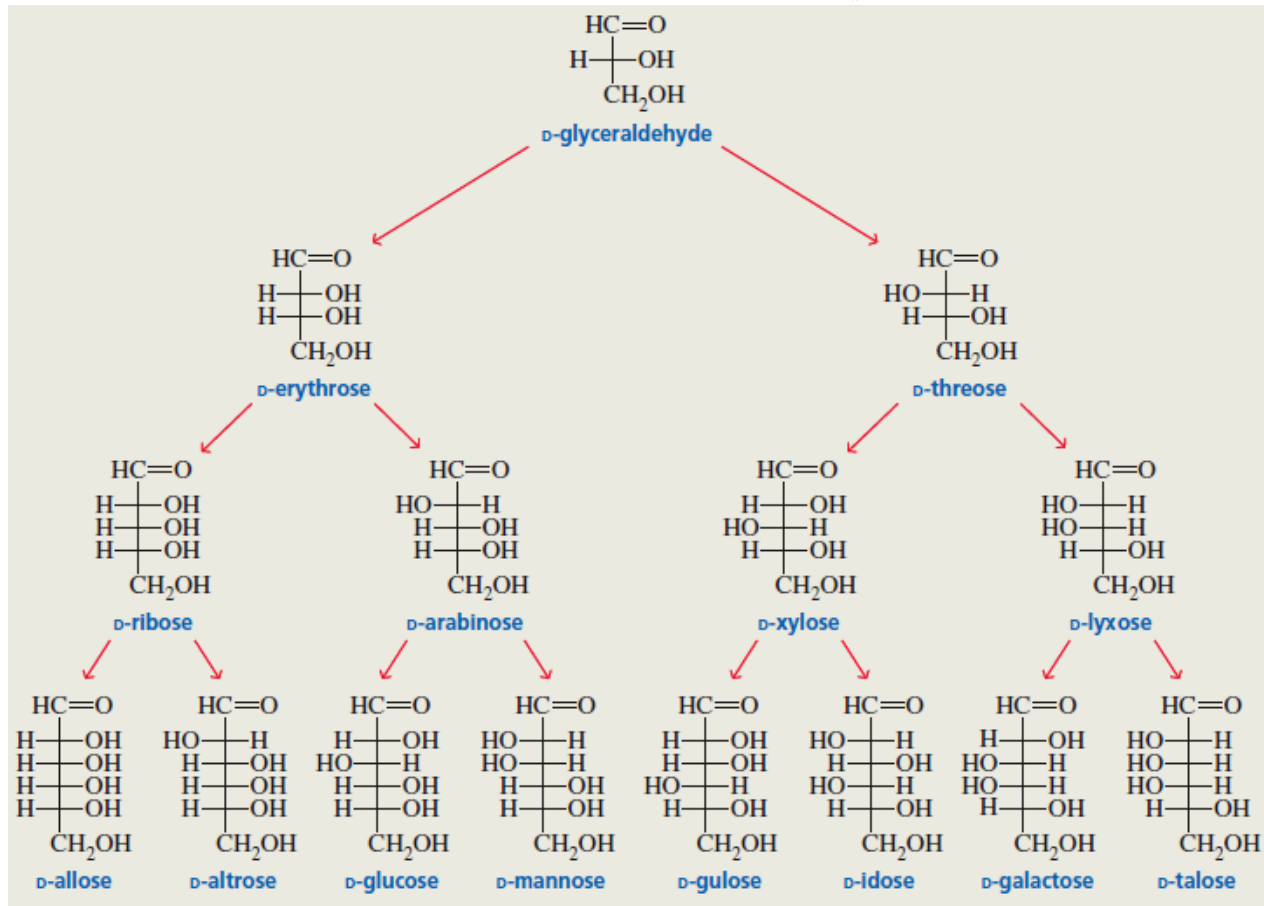




الجليسير ألدهيد وثنائي هيدروكسي الأسيتون يحتويان على ثلاث ذرات كربونية، لذا ينطويان تحت مجموعة السكريات الأحادية تريوزات Threoses، أما السكريات الأحادية الحاوية في جزيئتها على أربع ذرات كربون فتسمى تيتروزات Tetroses، والحاوية خمسة تسمى بنتوزات Pentoses والحاوية ستة تسمى هكسوزات Hexoses، والحاوية سبعة تسمى هبتوزات Heptoses .

يصنف الجلوكوز ضمن السكريات البسيطة التي يعرف كل منها باسم ألدوهكسوز ، أما الفركتوز فهو كيتوهكسوز .
ويصنف كل سكر أحادي يحوي خمس ذرات كربون بالاسم العام بنتوز ، ألدوبنتوز إذا كان يحوي زمرة ألدهيدية مثل الريبوز .

يؤدي وجود أكثر من كربون لامتناظر في جزيئات السكريات الأحادية إلى وجود عدد كبير من المتماكبات المختلفة ، فالألدوهكسوزات يمكن أن توجد في ستة عشر مائكة (أربع ذرات كربون لامتناظرة) ، وتكون العلاقة بين D - ألدهيد الجليسرين والسكريات الرباعية والخماسية والسداسية ، وكذلك بين ثنائي هيدروكسي الأسيتون والسكريات الرباعية والخماسية والسداسية وفق الآتي:

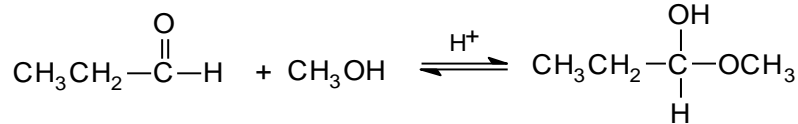


توصل فيشر بعد دراسات مستفيضة إلى أن الجلوكوز - وهو الأكثر انتشاراً من بين السكريات الأحادية - يوجد في التشكيل D - وأنه يميني الفعالية : D - (+) - الجلوكوز . وينبغي ألا ننسى هنا أن الرمز D - أو L - ليس لهما علاقة مباشرة بجهة الدوران للضوء المستقطب ، فقد يكون السكر D - (+) أو L - (-) أو D - (-) أو L - (+) ، وتبين الدراسات المختلفة التي أجريت على الفركتوز أن له التشكيل D - وأنه يساري الفعالية : D - (-) - الفركتوز .

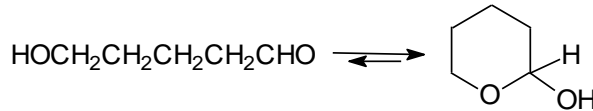
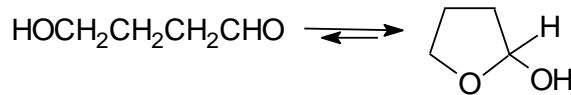
2 - 2 . البنية الحلقية للسكريات الأحادية السداسية

لا تتفق الصيغة ذات السلسلة المفتوحة (صيغة إسقاطات فيشر) التي أعطيت للغلوكوز في الفقرة السابقة مع بعض خواص هذا السكر ، فمع أن كثيراً من خواص D-(+)-الغلوكوز يمكن أن تفسرها الصيغة المفتوحة هذه ، نجد أن هناك دلائل كثيرة تشير إلى وجود توازن بين هذه الصيغة وصيغتين حلقيتين.

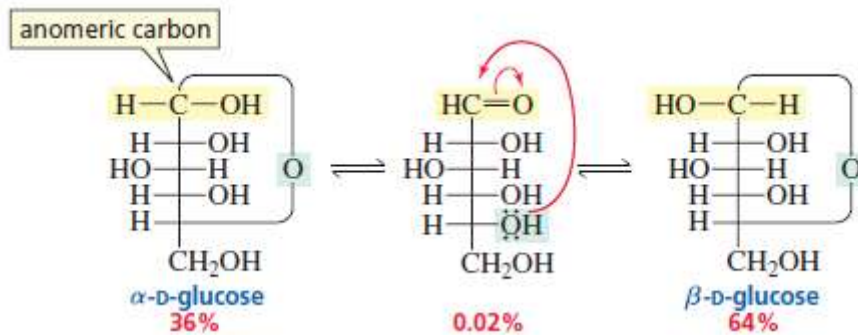
لكن بالعودة إلى بحث الزمرة الكربونيلية ، إذ أشرنا في إلى أن الأغوال تتفاعل مع الألدهيدات أو الكيتونات تفاعلاً عكوساً ، فتشكل مركبات يسمى كل منها نصف الأسيتال أو نصف الكيتال .



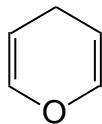
عندما يحوي الجزيء الزمرة الغولية والزمرة الألدهيدية معاً وفي مواقع مناسبة يسمح بتشكيل حلقة سداسية أو خماسية ، عند تشكيل نصف الأسيتال ، يكون هذا التفاعل ممكناً أنتروبياً .



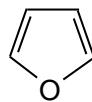
إذاً من الطبيعي أن يوجد الغلوكوز على شكل نصف أسيتال داخلي حلقى ، ويؤدي ذلك إلى تحويل كربون الزمرة الألدهيدية إلى كربون لا متناظر جديد ويكون لها الصغتين الآتيتين وفق مساقط فيشر:



تدعى الصيغ الحلقية سداسية الأضلاع لسكر ما باسم بيرانونز نسبة إلى المركب الحلقى غير المتجانس الذي يسمى البيران ، وهكذا نجد من الأفضل تسمية الغلوكوز باسم α -D-الغلوكوبيرانوز و β -D-الغلوكوبيرانوز .



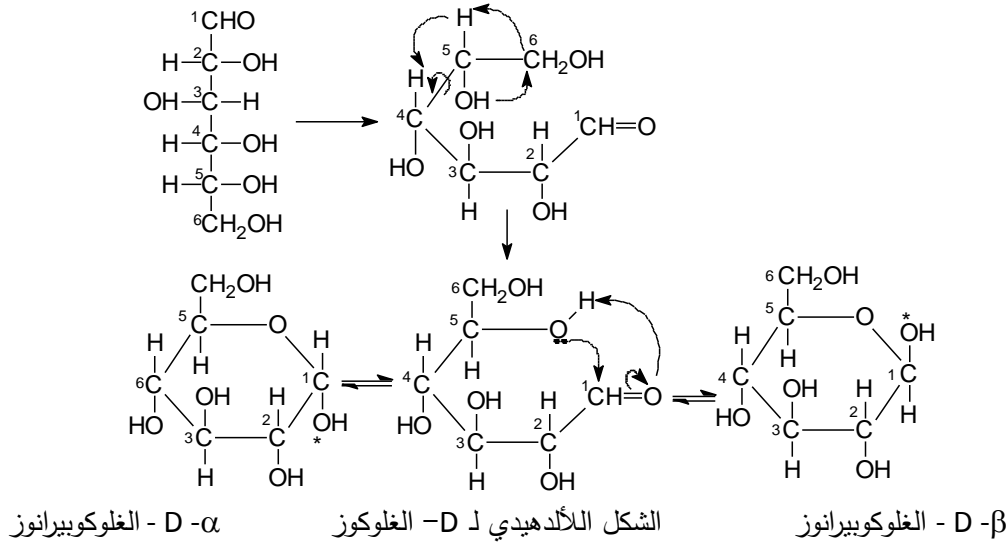
البيران



الفوران

- **لا بد من الإشارة** أن الصيغ الحلقية المكتوبة للغلوكوز وفق مساقط فيشر لا تبين بصورة صحيحة أطوال الروابط المختلفة بين الذرات، ولذا اقترح هارث Haworth أن يكون تشكيلا الغلوكوز في نصف الأسيتال الحلقى هما:

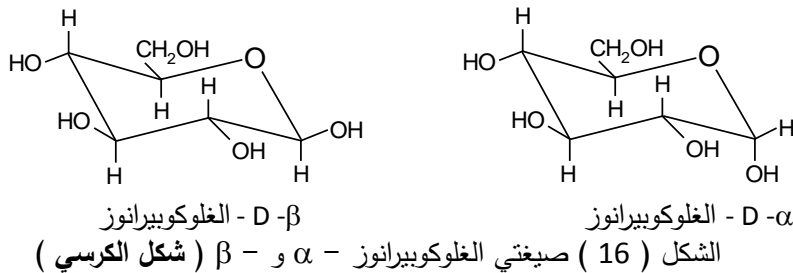
α -D-الغلوكوبيرانوز و β -D-الغلوكوبيرانوز وفق الآتي الشكل (15):



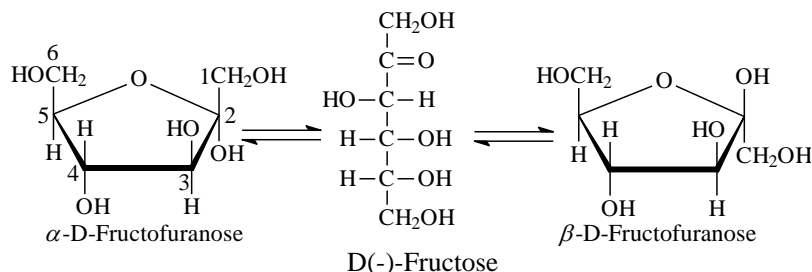
الشكل (15) تحول الجلوكوز إلى الصيغة نصف الأستائية

من الواضح أن الصيغ الحلقية المكتوبة للجلوكوز منذ قليل (هارث Haworth) لا تصور شكل الحلقة السداسية بدقة غير أن استخدامها مفيد من الناحية العملية .

بينت الدراسات التي أجريت بواسطة الأشعة السينية أن الصيغة الحلقية في D - الجلوكوز هي على شكل امتثال الكرسي ، وهكذا ترسم صيغتنا الجلوكوز الحلقى نصف الأستائي بصورة أكثر واقعية كما هو مبين بالشكل (16) ، وهي أن الجلوكوز يوجد بشكل الكرسي تكون فيه جميع المتبادلات في الوضع الاستوائي Equatorial في الصيغتين ، ما عدا الزمرة الهيدروكسيلية المرتبطة بالكربون الأنوميري في الأنومير - α والتي تكون في الوضع المحوري Axial .



يمكن تعميم تحول الجلوكوز على السكريات الأحادية الأخرى بما فيها D - فروكتوز ، والذي يُعرف بسكر الفواكه ، وهو من أحلى السكاكر ، ويوجد حراً في الثمار وعصير الفواكه والعسل ، ويرتبط مع الجلوكوز في السكروز ، يحوي الفركتوز زمرة كيتونية عند ذرة الكربون رقم 2 وزمراً هيدروكسيلية ، وهو من التشكيل D - (-) . والصيغة الحقيقية للفركتوز هي صيغة حلقية ، لكنها خماسية الرؤوس . من الأفضل إذن وصفه باسم D - β - الفركتوفورانوز أو D - α - الفركتوفورانوز علماً بأنه يوجد في مصادره النباتية بالشكل D - β - الفركتوفورانوز .

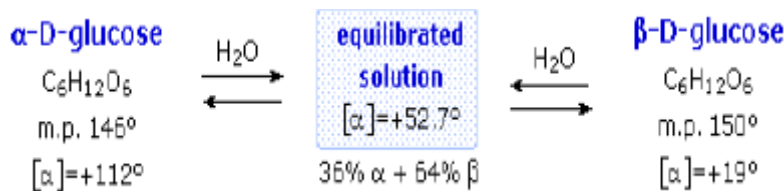


كما يلاحظ من الصيغ الواردة أعلاه، لدى تشكل الأشكال الحلقية من الألدوزات يصبح عندها أيضاً ذرة الكربون الأولى لا متناظرة، أما عند الكيتوزات فتصبح الذرة الثانية لا متناظرة.

الدوران التلقائي للغلوكوبيرانوز:

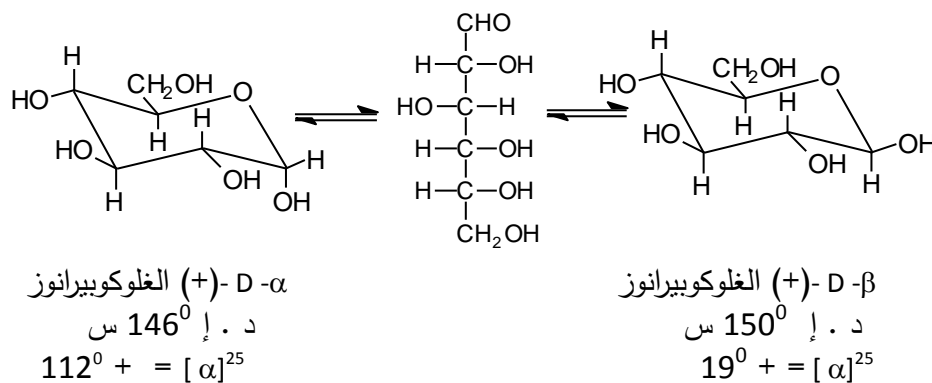
يوجد الغلوكوز المتبلور النقي إذن في شكلين α - D - الغلوكوبيرانوز ، و β - D - الغلوكوبيرانوز ، وتشير الدراسات المطيافية إلى غياب الزمرة الكربونيلية في كلا الشكلين ، كما تبين دراسة مطيافية انحراف الأشعة السينية التي أجريت على أحد شكلي الغلوكوز البلوري (درجة إنصهاره : 150⁰ س) أن جميع الزمر الهيدروكسيلية هي في **الوضع الاستوائي** ، بينما تكون جميع ذرات هيدروجين الحلقة في **الوضع المحوري** .

تساوي القدرة الدورانية النوعية $[\alpha]_D^{25}$ لمحلول محضر حديثاً من هذا الشكل البلوري للغلوكوز + 19⁰، ولكن تزداد هذه القيمة ببطء في المحلول مع الزمن حتى تصبح + 52.7⁰ . يمكن حينئذ أن نفصل من هذا المحلول ، ضمن شروط بلورة خاصة ، شكلاً متبلوراً آخر للغلوكوز درجة انصهاره 146⁰ س وقدرته الدورانية النوعية (محلول محضر حديثاً) تساوي + 112⁰ ، إلا أن هذه القيمة تنخفض في المحلول مع الزمن حتى تصبح + 52.5⁰ . تشير الدراسات المختلفة إلى غياب الزمرة الكربونيلية أيضاً في هذا النوع من بلورات الغلوكوز، كما أن لها بنية الغلوكوز + 19⁰ نفسها ، باستثناء الزمرة الهيدروكسيلية الخاصة بالكربون الأنوميري (كربون الألدريد) التي تكون في الوضع المحوري .



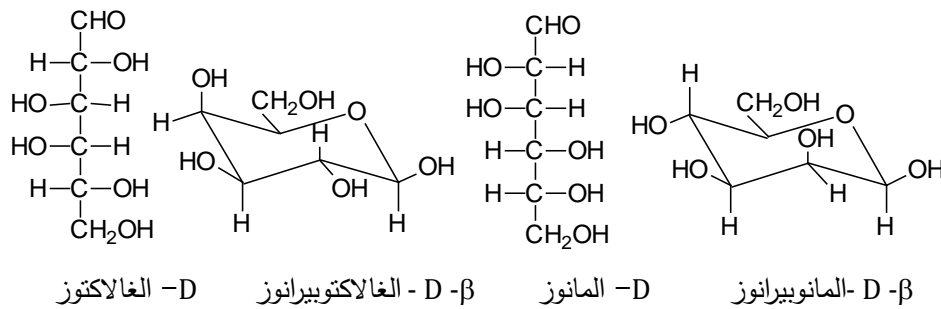
تدعى ظاهرة التغير التدريجي والبطيء في القدرة الدورانية لمحلول الغلوكوز (ولجميع السكريات) باسم **الدوران التلقائي** ، ويعود سبب هذه الظاهرة إلى التبدل الداخلي الذي يحدث في الصيغة نصف الأسيائية الحلقية عبر الشكل الألديدي المفتوح ، فهذا الشكل - وإن كان تركيزه منخفضاً جداً في المحلول - يكفي لإحداث التوازن بين الشكلين α - و β .

يحتوي محلول الغلوكوز عند التوازن { $[\alpha]^{25} = + 52.7^0$ } 64% من الشكل β - (الأنومير + 19⁰) و 36% من الشكل α - (الأنومير + 112⁰) كما يحتوي كمية قليلة جداً (أقل من 0.02 %) من الغلوكوز المفتوح الذي يحتوي زمرة ألدهيدية حرة ، ولذلك لا تظهر مثل هذه المحاليل عادة أي امتصاص أثناء الدراسات المطيافية الخاصة بهذه المجموعة ، كما تعطي اختباراً سلبياً عند إضافة كاشف شيف (وهو خاص بالزمرة الألدهيدية ، ويتطلب تركيزاً مرتفعاً منها) .



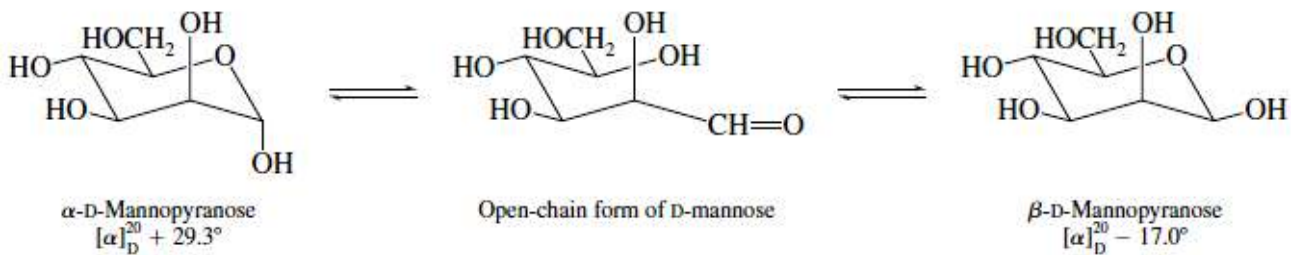
تفسر فكرة وجود شكلي الجلوكوز في وضع التوازن : شكل حلقي \leftrightarrow سلسلة مفتوحة جميع الملاحظات التجريبية لفعالية الجلوكوز الكيميائية (وجميع السكريات التي يمكن أن توجد فيها الزمرة الوظيفية الكربونيلية حرة) ، فبالرغم من أن كمية السكر الألدهيدي الموجودة في المحلول قليلة جداً إلا أن محلول الجلوكوز المائي يعطي اختبارات الألدheid بشكل مميز (اختبار تولانز $Ag(NH_3)_2^+$ أو محلول فهلنغ Cu^{2+}) ، ويعود سبب ذلك إلى أن الألدheid الحر المستهلك بالتفاعل يعمل على إزاحة التوازن بين الشكل الحلقي والشكل المفتوح باستمرار باتجاه الشكل الذي يتفاعل مع الكاشف ، وفي النهاية نجد أن الجلوكوز الموجود في المحلول قد تفاعل كلياً مع الكاشف .

يختلف D - المانوز عن D - الجلوكوز في التشكيل عند ذرة الكربون -2 ، وهو يوجد في الشكلين α - و β - المانوبيرانوز ، ويختلفان فيما بينهما بالتشكيل حول ذرة الكربون الأنوميرية (الجلوكوزيدية) . أما D - الغالاكتوز فهو يختلف عن D - الجلوكوز في التشكيل عند ذرة الكربون -4 ، ويعرف السكر الثنائي المتشكل من جزئي D - غالاكتوز وجزئي D - جلوكوز باسم اللاكتوز أو سكر الحليب وهو يوجد في الدماغ والأنسجة العصبية .



الدوران التلقائي للمانوبيرانوز:

يوجد المانوز المتبلور النقي في شكلين α - D - المانوبيرانوز ، و β - D - المانوبيرانوز ، وتساوي القدرة الدورانية النوعية $[\alpha]_D^{20}$ لمحلول محضر حديثاً من الشكل البلوري α - D - المانوبيرانوز $+29.3^\circ$ ، ولكن تتناقص هذه القيمة ببطء في المحلول مع الزمن حتى تصبح $+14.2^\circ$. ويمكن أن نفصل من هذا المحلول ، ضمن شروط بلورة خاصة ، شكلاً متبلوراً آخر للمانوز (β - D - المانوبيرانوز) قدرته الدورانية النوعية (محلول محضر حديثاً) تساوي -17.0° ، وتنخفض هذه القيمة في المحلول مع الزمن حتى تصبح $+14.2^\circ$ ، احسب نسبة كل من المتماكان α - و β - للمانوز :



Let A = percent α isomer; $100 - A$ = percent β isomer. Then

$$A(+29.3^\circ) + (100 - A)(-17.0^\circ) = 100(+14.2^\circ)$$

$$46.3A = 3120$$

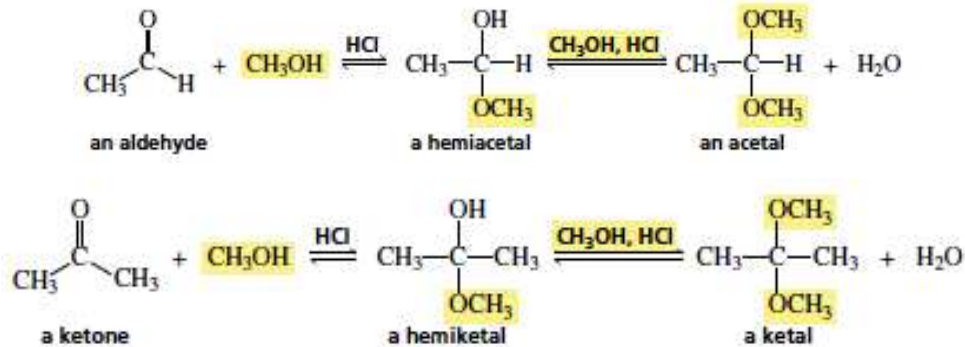
$$\text{Percent } \alpha \text{ isomer} = 67\%$$

$$\text{Percent } \beta \text{ isomer} = (100 - A) = 33\%$$

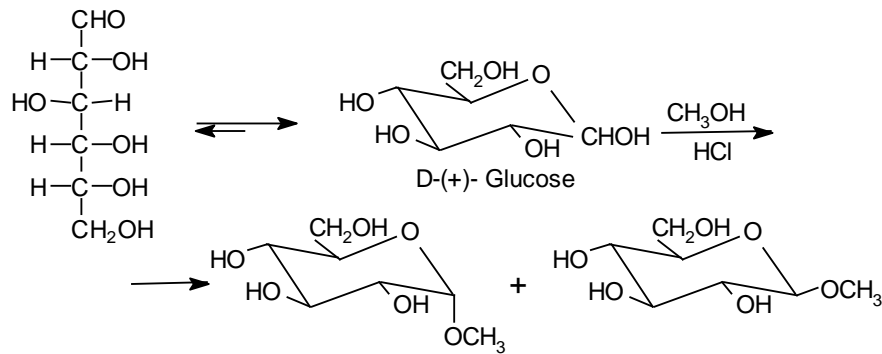
2-1. تفاعلات السكاكر الأحادية :

2-1-1. تشكيل الغليكوزيدات

لقد أشرنا سابقاً إلى أن الغلوكوز ومعظم السكريات الأحادية توجد في الصيغة نصف الأستائية ومحاليلها في حالة توازن بين الشكلين α - و β - ، وذلك عبر الشكل الألدهيدي المفتوح ، كما نعلم أن المركبات نصف الأستائية تتفاعل مع جزي غول آخر (بوجود حمض معدني) لتعطي الأستيات :



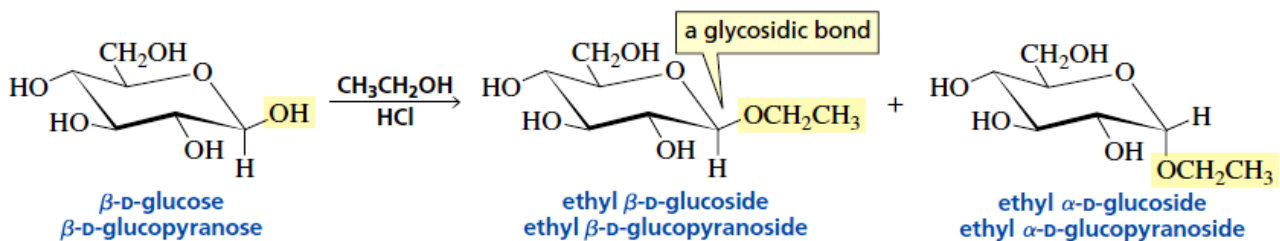
لذلك من الطبيعي أن يتفاعل الغلوكوز مع الأغوال في أوساط حمضية لطيفة ، وتعطي مشتقات تعرف باسم الغليكوزيدات (تقابل الأستيات) ومن خلال الزمرة OH - المرتبطة مع الكربون الأنوميري ، وهكذا يتشكل ميتيل α -D- غلوكوبيرانوزيد وميتيل β -D- غلوكوبيرانوزيد من تفاعل الغلوكوز مع الميتانول . لانتأثر بقية الزمر الهيدروكسيلية الموجودة في الجزيء في شروط التفاعل هذه، لكن يمكن أن تدخل في تفاعل مع الأغوال وتعطي الايترات الموافقة وذلك بشروط تفاعلية مختلفة.



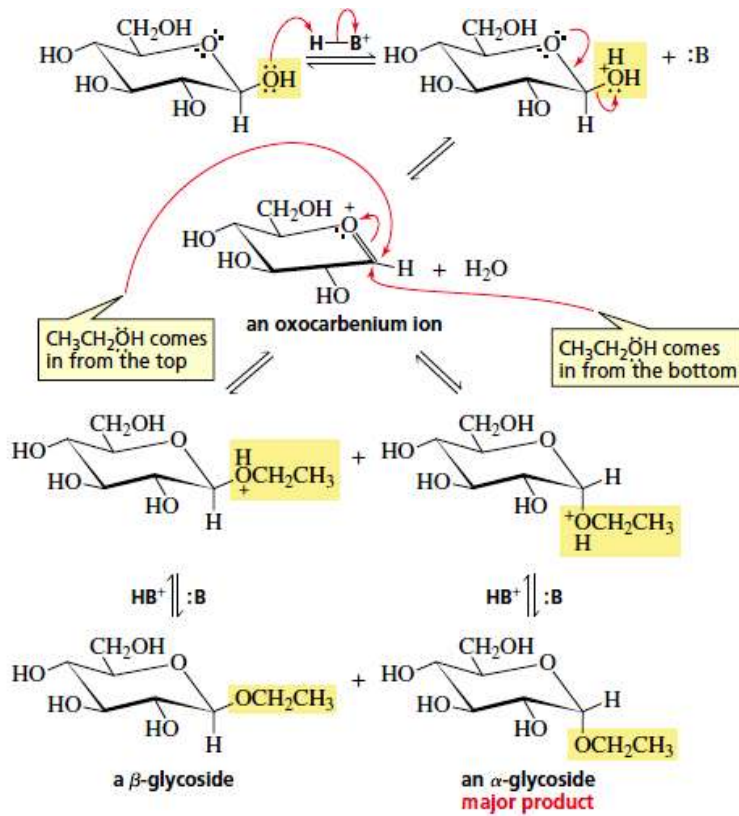
ميتيل α -D - الغلوكوبيرانوزيد
($\text{Mp} = 165^\circ \text{C}$, $[\alpha]_D^{25} = +158^\circ$)

ميتيل β -D - الغلوكوبيرانوزيد
($\text{Mp} = 107^\circ \text{C}$, $[\alpha]_D^{25} = -33^\circ$)

ومع الإيتانول :



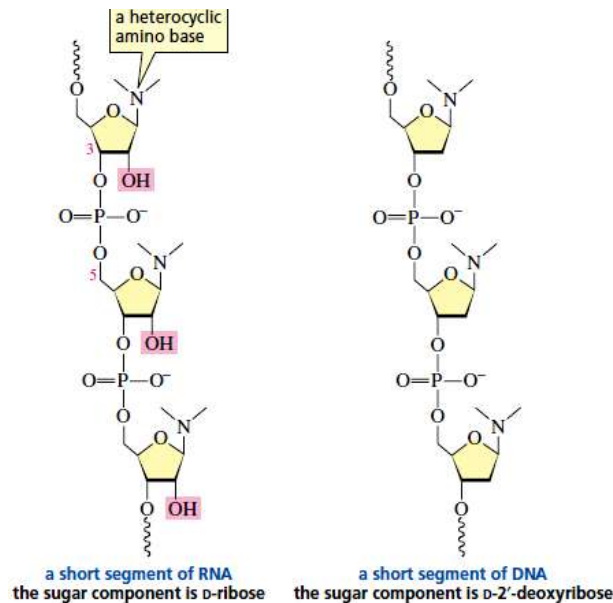
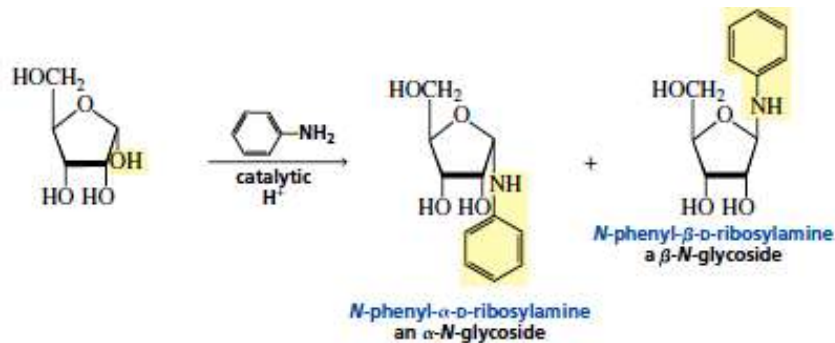
ويتم التفاعل وفق الآلية الآتية : (برتنة ، حذف جزيئة ماء وتشكل ألكسوكربينيوم أيون ، هجوم نكليوفيلي)

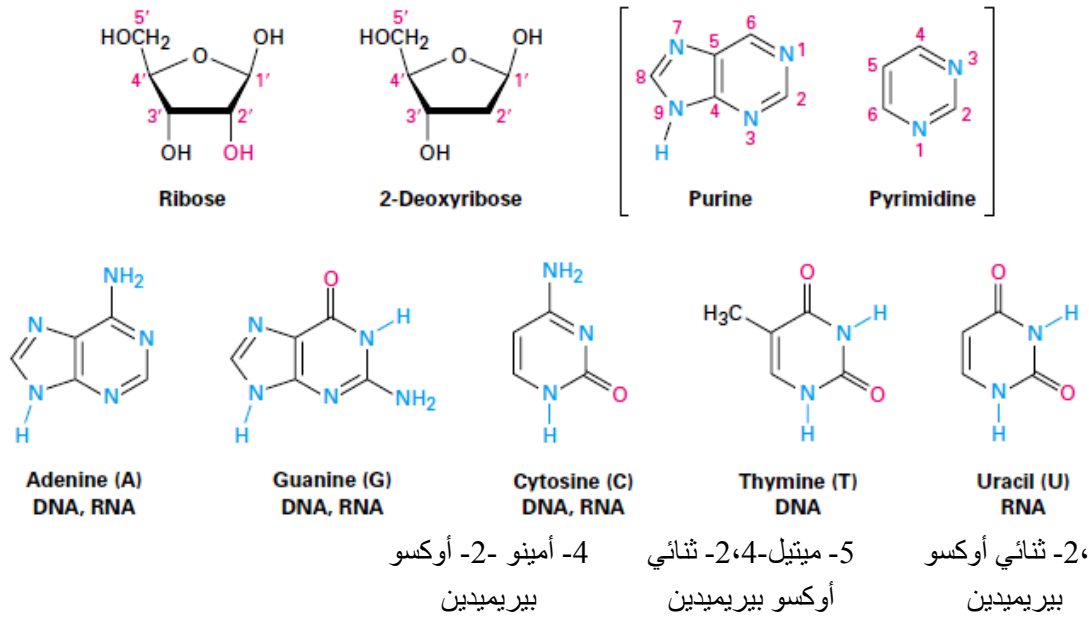


تعد الغليكوزيدات مجموعة من أهم مشتقات السكريات الأحادية في المختبر وفي كيمياء الكائنات الحية ، فالسكريات الثنائية والنشاء والسيليلوز والحموض النووية تحوي جميعها سكاكر أحادية متحدة بشكل ما عبر روابط غليكوزيدية .

- اكتب تفاعل كل من المانوبيرانوز والغالكتوبيرانوز في الشروط السابقة مع الإيتانول أو الميتانول

بشكل مشابه لتفاعل السكاكر الأحادية مع الأغوال ، تتفاعل السكاكر الأحادية مع الأمينات بوجود كمية قليلة لحمض ، ويتشكل N-غلوكونيد N-glycoside ، والذي يصادف في الـ DNA و RNA في التشكيل β -N-glycoside :

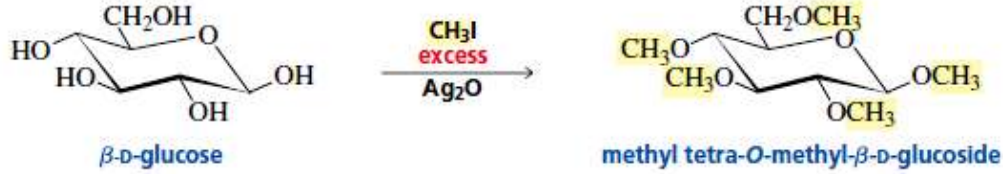




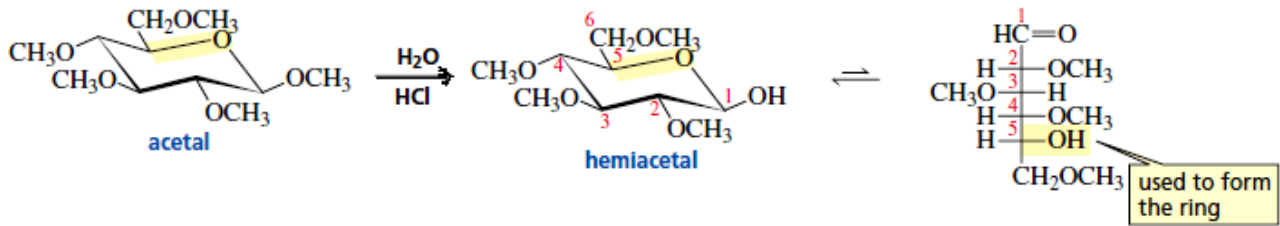
<p>هل تعلم :</p> <p>أن بعض النيوكليوتيدات تستخدم كمركبات خازنة للطاقة في الخلايا ، وهي النيوكليوتيدات ثلاثية الفوسفات ، مثل:</p> <ul style="list-style-type: none"> - الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) - الغوانوزين ثلاثي الفوسفات (GTP) 	<p>(a) (b)</p>
<p>Nucleotides</p>	<p>Nucleosides</p>
<p>هناك الكثير من الغلوكوزيدات الطبيعية ذات الأهمية الطبية (المقوية لعضلة القلب ، المضادات الحيوية الطبيعية ...)</p>	

2-1-2. تشكيل الإيترات :

لقد أشرنا سابقاً إلى تفاعل تشكيل رابطة إيترية (الغليكوزيد) مع الزمرة OH - المرتبطة في الكربون الأنوميري في شروط حمضية لطيفة . لانتأثر بقية الزمر الهيدروكسيلية الموجودة في الجزيء في شروط التفاعل هذه ، وإن كان من الممكن حماية جميع هذه الزمر بتحويلها إلى زمر ميثوكسي بواسطة ثنائي ميثيل الكبريتات $(CH_3)_2SO_4$ في حضور محلول من هيدروكسيد الصوديوم 30% (أو بواسطة Ag_2O / CH_3I) .

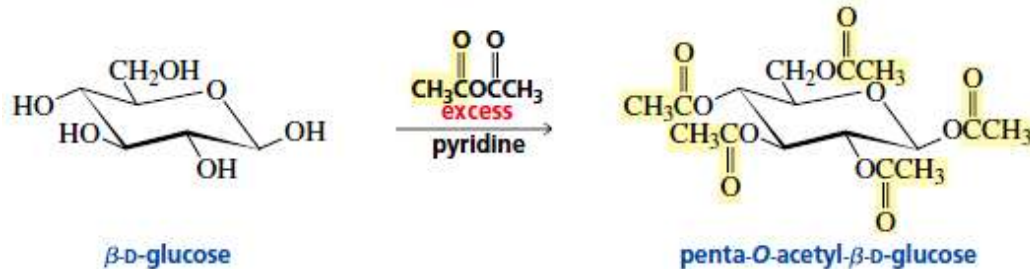


يمكن من خلال التفاعل السابق التعرف على بنية السكر الحلقية ، وذلك بتطبيق تفاعل الحلمة اللطيفة :



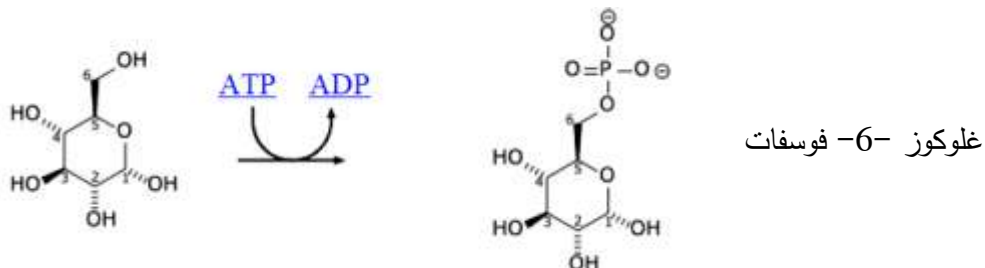
2-1-3. الأسترة :

من الممكن أسترة الزمر الهيدروكسيلية في السكاكر عبر تفاعلات الأسترة العادية ، والطريقة الأكثر شيوعاً في كيمياء السكاكر استخدام بلا ماء حمض الخل في وسط قلوي لطيف (خلات الصوديوم أو البيريدين) . تحدث الأسترة في البيريدين عند درجة منخفضة من الحرارة بسرعة أكبر بكثير من سرعة تفاعل التكميب بين الأنوميرات المختلفة ، وعند انجاز التفاعل في الدرجة صفر يمكن تحضير كل من خماسي خلات $D - \alpha$ - أو $D - \beta$ - الغلوكوز ، وعند درجة عالية من الحرارة يكون خماسي الخلات β - هو المشتق السائد في الوسط :



تعد السكريات الفوسفاتية Phospho sugars من أسترات حمض الفوسفور ، وهي مجموعة من المركبات المهمة جداً في الجلمة الحيوية ، كمركبات وسطية في كثير من عمليات الاستقلاب مثل تفاعل خسف الغليكوجين إلى حمض اللاكتيك في العضلات ، وتفاعل تخمر النشاء إلى الإيتانول ، كما أنها تدخل في تركيب الحموض النووية الريبية RNA والحموض الريبية منقوصة الأكسجين DNA التي تعتبر هامة جداً في تخزين المعلومات الوراثية ونقلها.

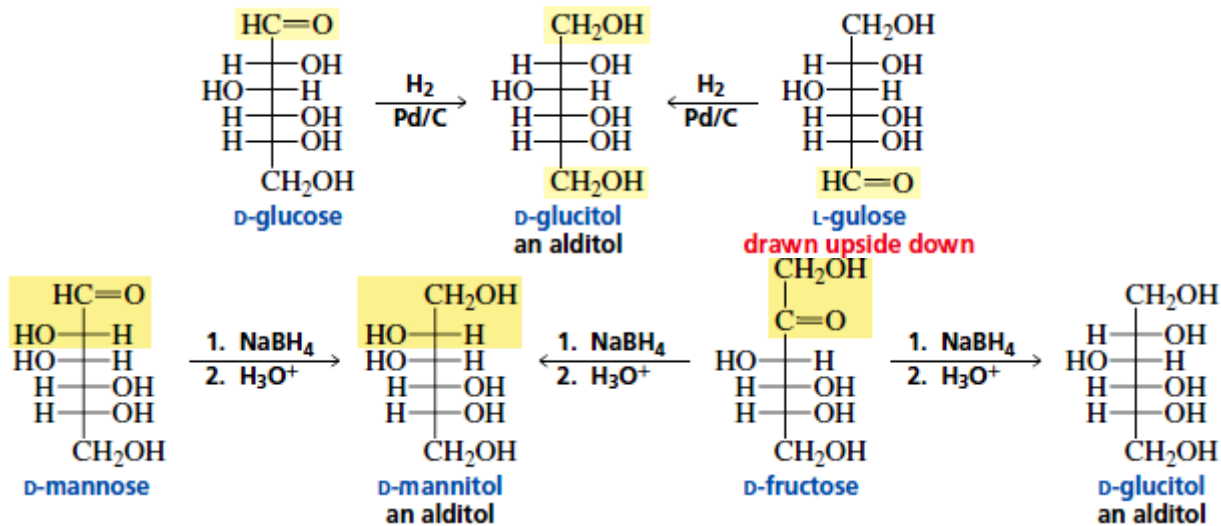
يعد 6-فوسفات D-الغلوكوز من السكريات النموذجية التي تدخل في تفاعلات الاصطناع الحيوي ، والذي يتشكل في الجسم من D-الغلوكوز بفعل أنزيم هكسوكيناز Hexokinase



غلوكوز -6- فوسفات

4-1-2. تفاعل تشكيل الألديتول : الإرجاع :

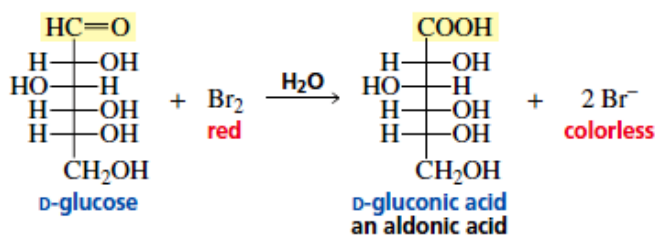
ترجع الزمرة الكربونيلية في السكاكر الأحادية بالهدرجة الواسطية أو بواسطة بورهيدريد الصوديوم ، ويعرف السكر الناتج عن هذا التفاعل بالاسم العام **الألديتول** . يتحول D-الغلوكوز عند إرجاعه إلى D- الغلوسيتول (والذي يعرف في الكتب القديمة باسم السوربيتول) ، والذي يوجد أيضاً في بعض النباتات . من الممكن الحصول على هذا المركب أيضاً عند إرجاع L- الغلوكوز ، ويصنع D- الغلوسيتول في الصناعة من تفاعل هدرجة D- الغلوكوز هدرجة وساطية في النيكل كفاف .



تنتشر السكاكر السداسية الغولية كثيراً في النباتات ، حيث يوجد الغلوسيتول (السوربيتول) مثلاً في الطحالب البحرية الحمراء بنسبة عالية وفي الفواكه مثل التفاح والأجاص والكرز والخوخ . تحوي الطحالب البحرية أيضاً المانيتول والذي يوجد أيضاً في الزيتون والبصل والفطور ، وهو ينتج عن تفاعل إرجاع D- المانوز بواسطة بورهيدريد الصوديوم كما يتشكل مع كمية قليلة من D- الغلوسيتول عند إرجاع D- الفركتوز .

5-1-2. أكسدة السكاكر :

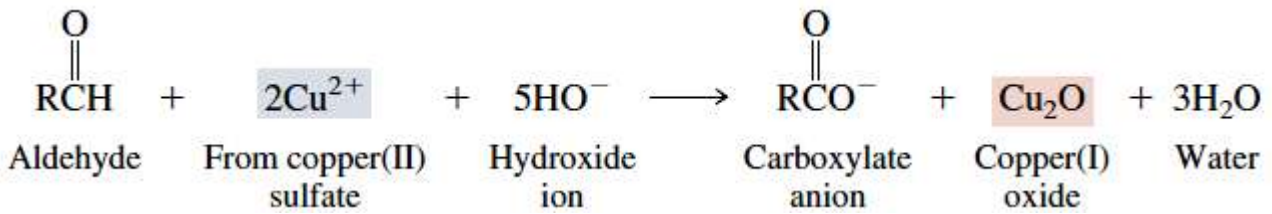
تتأكسد السكاكر بسهولة بواسطة عدد من الكواشف المؤكسدة ، حيث يكون ناتج كل تفاعل من تفاعلات الأكسدة هذه مختلفاً يتحدد بنوعية الكاشف المطبق ، ومن الطبيعي أن تكون الزمرة الألهيدية في الألدوزات هي الأكثر تأثراً بكواشف الأكسدة .



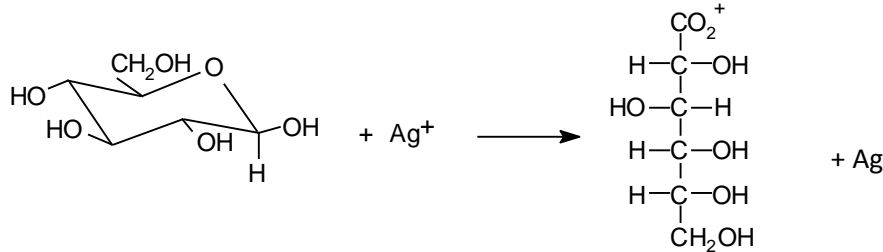
يعتبر تفاعل الأكسدة بواسطة محلول مائي للبروم (PH = 5-6) من العوامل المؤكسدة اللطيفة للألدوزات ، ولكنه لا يؤثر في الكيتوزات . يتأكسد D- الغلوكوز في هذه الشروط إلى D- حمض الغلوكونيك ، أما D- المانوز فيتأكسد إلى D حمض المانونيك ، ويدعى الناتج بشكل عام حمض الألدونيك .

يتضمن تفاعل أكسدة الألدوزات طريقة تحليلية جيدة وسهلة ، استخدمت كثيراً في كيمياء السكاكر ، حيث يصنف كاشف **فهلنغ** و **بندكت** وكاشف **تولان** ضمن الكواشف الجيدة المستخدمة لهذا الهدف .

تتحول شاردة النحاس Cu²⁺ في **محلول فهلنغ** (محلول CuSO₄ مع محلول طرطرات الصوديوم والبوتاسيوم في هيدروكسيد الصوديوم) أو في **محلول بندكت** (محلول سترات الصوديوم وكربونات الصوديوم) إلى راسب أحمر أجري Cu₂O عندما تؤكسد الزمرة الألهيدية في جزيء السكر :



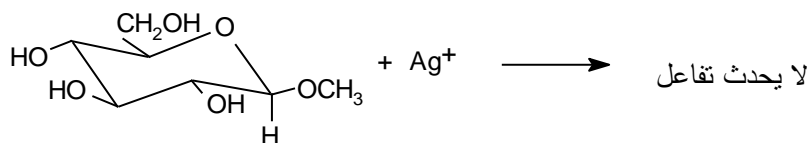
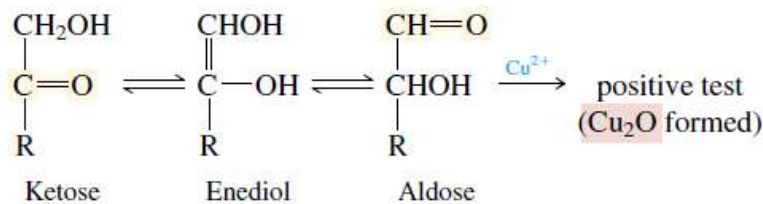
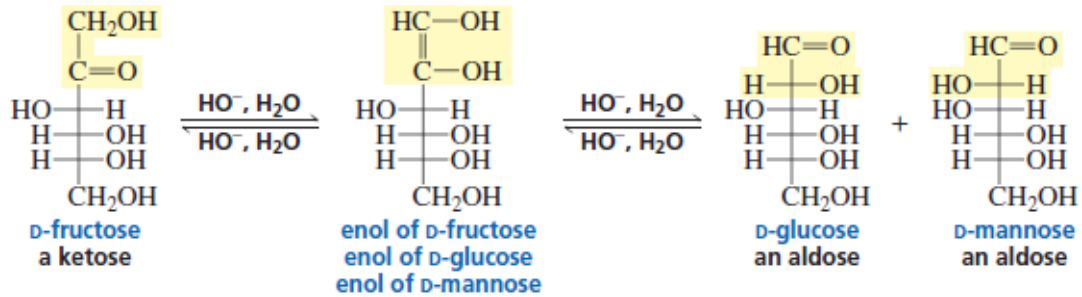
وأما شاردة الفضة Ag^+ في كاشف تولانز $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+$ فهي تؤكسد السكر وترجع بالتالي إلى الفضة المعدنية التي تترسب على شكل مرآة من الفضة .



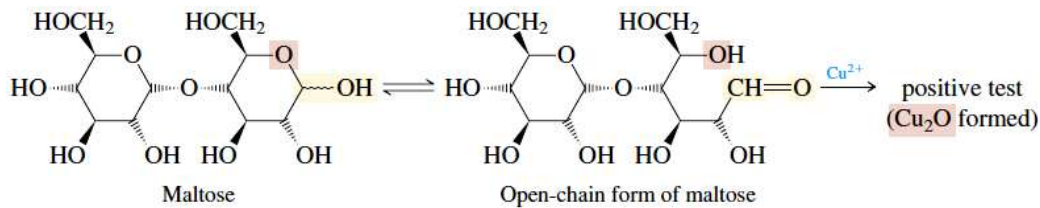
D-β - الغلوكوبيرانوز

شاردة حمض الغلوكونيك

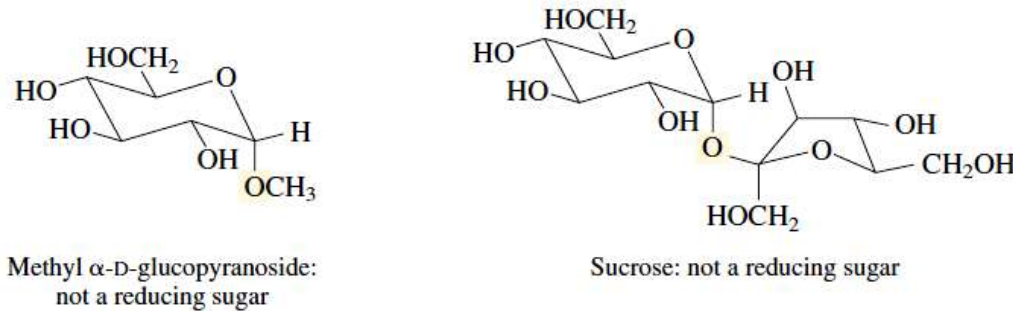
يعطي الفركتوز نتيجة إيجابية عند إضافة كاشف تولانز أو محلول فهلنغ أو محلول بندكت إليه ، علماً أنه لا يحوي زمرة ألدهيدية ، ويعود سبب ذلك إلى التوازن الحادث تحت تأثير الأساس بين الفركتوز والغلوكوز والمانوز . يمكن تحويل الغلوكوز إلى الفركتوز في تفاعل أكسدة - إرجاع داخلي بتأثير الأسس وعبر تشكيل الإينول (التماكب النزوحى - التيتوميري) .



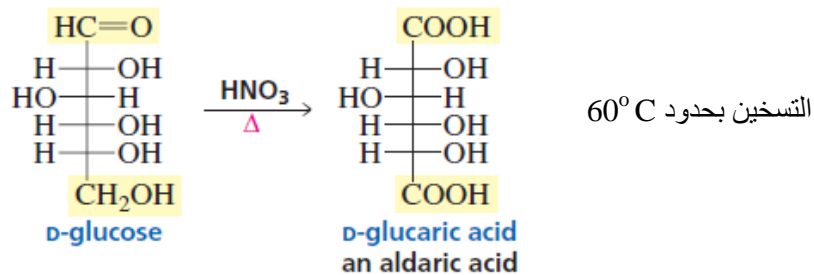
ميثيل D-β - الغلوكوبيرانوزيد



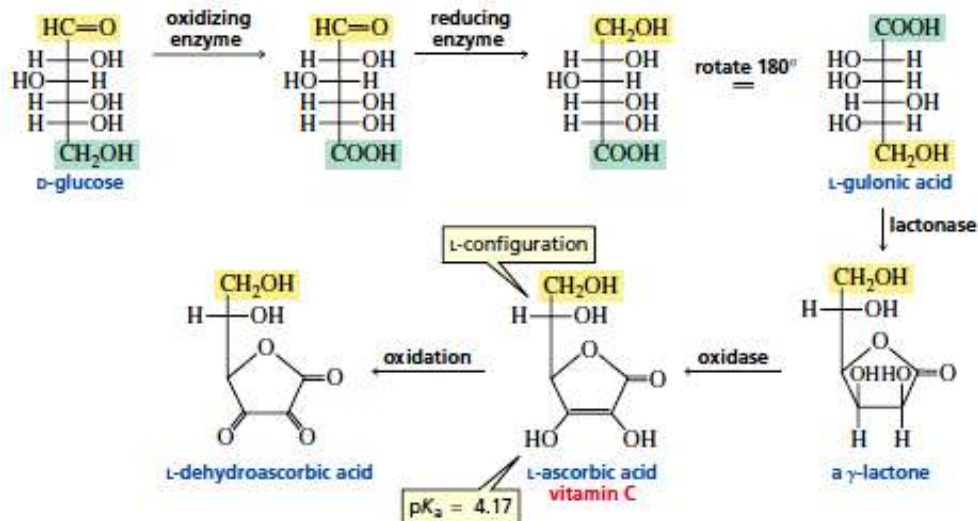
إذا أرجع السكر كاشف تولان أو محلول فهلنغ فإنه يعرف باسم سكر مُرجِع ، أما إذا كانت ذرة الكربون الأنوميرية في جزيء السكر محمية (على شكل غليكوزيد) فالسكر لا يتأثر بشروط الأكسدة اللطيفة هذه ، ويعرف السكر حينئذ بأنه سكر غير مُرجِع ، والمثال النموذجي لهذا الصنف هو السكروز .



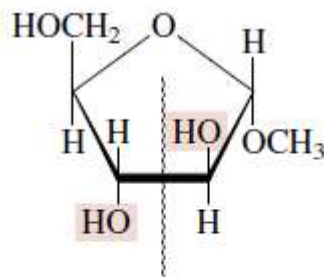
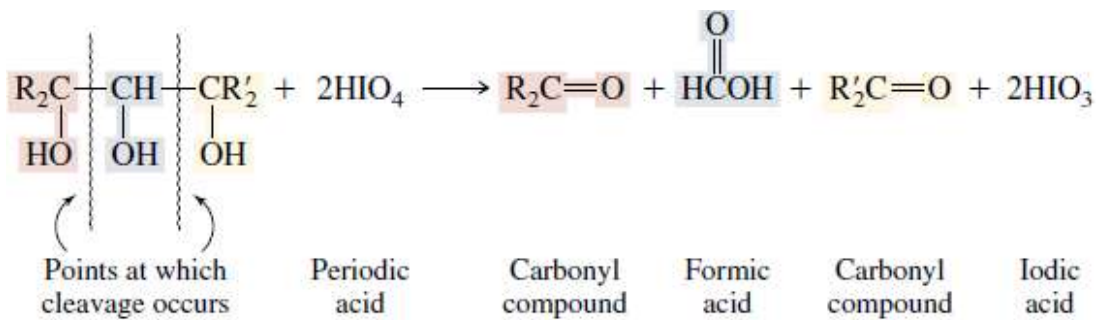
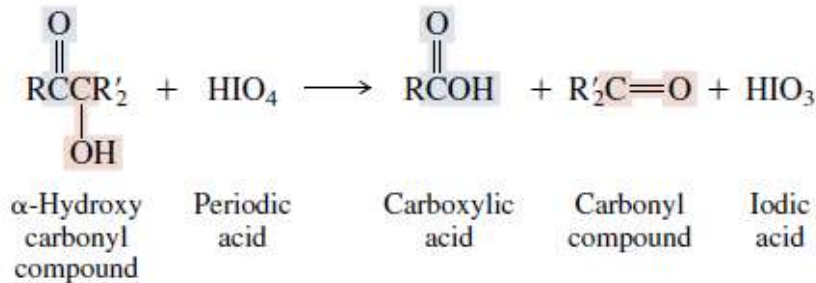
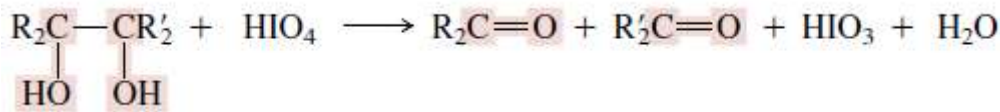
يؤكسد محلول حمض الأزوت HNO_3 الزمرة الهيدروكسيلية الأولية بالإضافة إلى الزمرة الألدهيدية في الألدوزات ، وهكذا يتأكسد D - الجلوكوز إلى D - حمض السكاريك (الغلوكاريك) ، وأما D - الغالاكتوز فهو يتأكسد إلى حمض الميوسيك (الغالاكتاريك Galactaric). وينتمي الناتج إلى الحموض الألدارية (حمض ألداريك) .



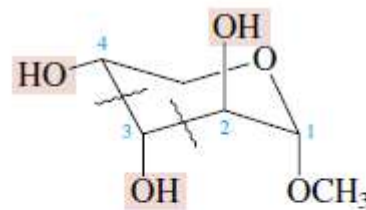
يمكن أن تجري أكسدة السكريات الأحادية أيضاً بشكل تتأكسد فيه فقط الزمرة الغولية الأولية إلى الزمرة الكربوكسيلية بنتيجة الأكسدة بالأوكسجين وبوجود البلاطين كمثبط للزمرة الكربونيلية O_2 / Pt .
الحموض المتشكلة بذلك عُرِفَت بـحموض اليورونيك (Uronic acids) ، ويتشكل من الغالاكتوز حمض الغالاكتيورونيك ومن المانوز حمض المانيورونيك.
ويتشكل حمض الأسكوربيك (الفيتامين C) في الحمضيات والبندورة والفليفلة وجميع النباتات الخضراء :



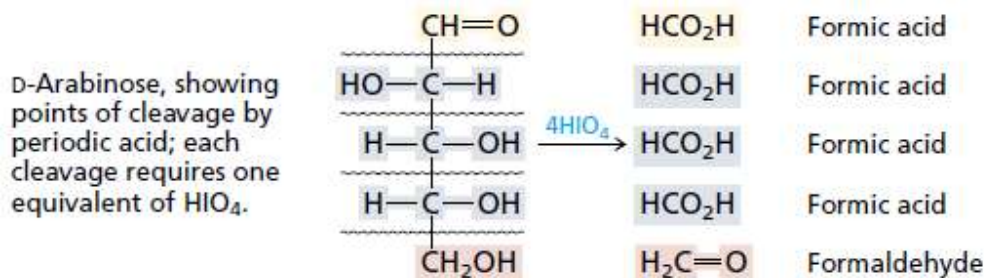
ومن الكواشف المؤكسدة للسكريات: **حمض فوق اليود أو ميتا فوق يودات الصوديوم** ، وهي كواشف تؤدي إلى كسر وأكسدة الرابطة كربون - كربون المرتبطة مع زمر هيدروكسيلية متجاورة فيما بينها (α) أو المتجاورة مع الزمرة الكربونيلية وفق الآتي:



Only one site for periodic acid cleavage in methyl α -D-arabinofuranoside



Two sites of periodic acid cleavage in methyl α -D-arabinopyranoside, C-3 lost as formic acid

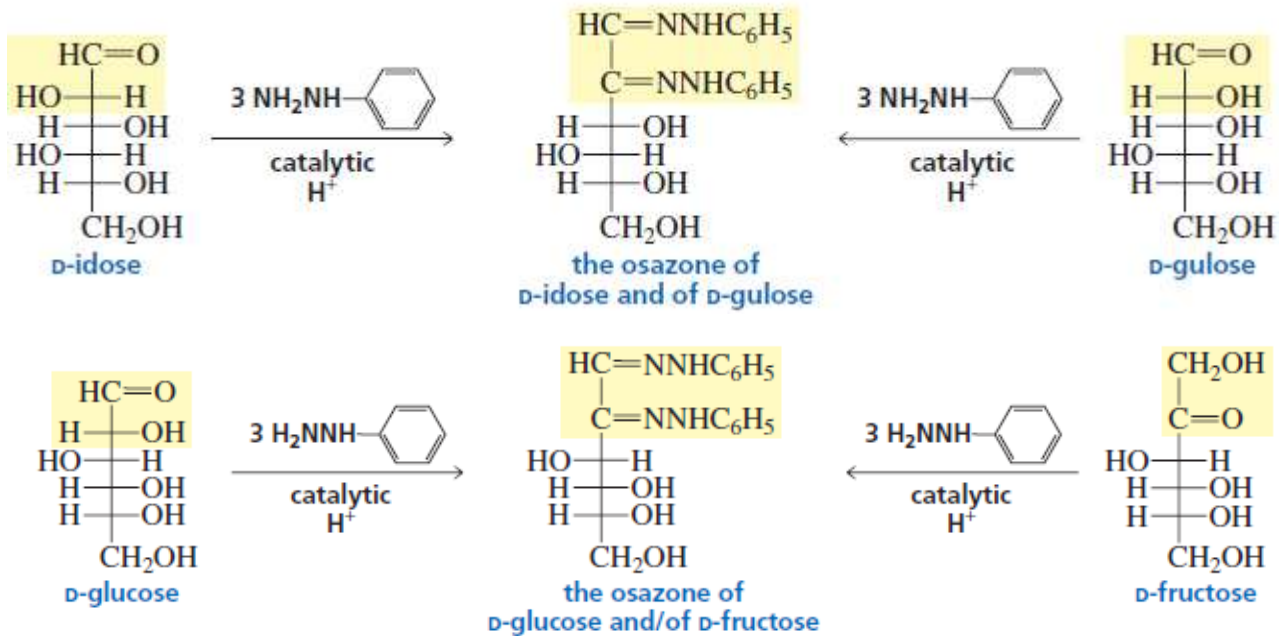


من الملاحظ أن الزمرة الألدهيدية والغولية الثانوية تتأكسد إلى كربوكسيلية ، بينما الغولية الأولية تتأكسد إلى ألدهيدية .

2-1-6. تفاعل تشكيل الأوزازون :

تتفاعل السكاكر الأحادية مع معظم الكواشف الخاصة بالزمرة الكربونيلية مثل فينيل الهيدرازين وهيدروكسيل الأمين وسيانيد الهيدروجين . ولقد اعتبر تفاعل السكاكر مع فينيل الهيدرازين لوقت طويل من التفاعلات المهمة جداً بسبب البنية الخاصة لهذه المركبات فالسكاكر - كما هو معروف - هي مركبات متعددة الهيدروكسيل يصعب فصلها وتنقيتها بشكل جيد ، لأنها تتحلل بالماء تماماً وتشكل محاليل لزجة لا تتفصل بالبلورة .

لقد كانت هذه مشكلة العاملين في المخابر قديماً قبل تطوير الطرق المطيافية الحديثة في التحليل ، ففي ذلك الوقت كانت درجة الانصهار تستخدم بشكل واسع لمطابقة مادتين عضويتين ، ولهذا استخدم فيشر محلول فينيل الهيدرازين في العمليات التحليلية للمركبات السكرية ، حيث وجد أن السكاكر الأحادية تتفاعل عن طريق السلسلة المفتوحة (وهي الكمية القليلة جداً والموجودة في وضع التوازن مع الشكل الحلقي) مع فينيل الهيدرازين في محلول من حمض الخل ، فتشكل فينيل الهيدرازون العادي (فقرة : تفاعل الزمرة الكربونيلية مع مشتقات النشادر) الذي يتفاعل مرة أخرى مع الكاشف ، فيعطي مشتقات صلبة ، عرفت حينئذ باسم **الأوزازونات** ، وهكذا يتفاعل مول واحد من الجلوكوز مع ثلاثة مولات من فينيل الهيدرازين في حمض الخل ، فيشكل فينيل أوزازون D - الجلوكوز .



يؤدي تكون الأوزازونات إلى تحطيم عدم التناظر عند الكربون 2- ولذلك يعطي تفاعل D - الجلوكوز أو تفاعل D - المانوز (يختلف أحدهما عن الآخر فراغياً عند الكربون 2- ويقال عن كل منهما إيبيمير) الأوزازون نفسه ، هذا وتتكون الأوزازونات أيضاً من تفاعل الكيتوزات مع فينيل الهيدرازين بالطريقة ذاتها ، ولذا يعطي الفركتوز فينيل أوزازون D - الجلوكوز ذاته الناتج عن تفاعل الجلوكوز أو المانوز مع فينيل الهيدرازين ، لكن يختلف زمن تشكل الأوزازون من سكر لآخر (راجع بحث الكربوهيدرات في عملي الكيمياء العضوية) .

من الممكن إيقاف هذا التفاعل عند مرحلة تشكل الهيدرازون ، إلا أن الأوزازونات مواد صلبة صفراء شحيحة الانحلالية في الماء وذات درجات انصهار واضحة ومميزة ، ولذا شاع في الماضي استعمالها في الكشف عن السكاكر وتعرفها .

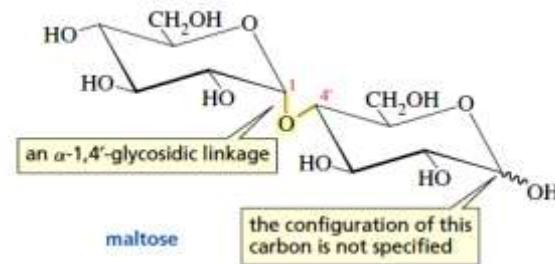
راجع بحث الكربوهيدرات في قسم العملي وتعرف على : تأثير الحموض المعدنية على السكريات ، والتي تؤدي إلى حلمة السكريات الثنائية والمتعددة ، وتشكيل الفورفورال ومشتقاته ، وتأثير الوسط القلوي بالشروط اللطيفة والغليان باختبار بارفويد ، ودوره مع الفركتوز في اختبار تولان وبندكت وفهلنغ .

2-2. السكاكر الثنائية :

تشكل السكاكر الثنائية القسم الأكبر من مجموعة من السكاكر تُعرف باسم قليلات السكاكر Oligosaccharide، وهي تعطي بالحلمهة 2 - 8 جزيء من سكر أحادي ، أما السكاكر الثنائية فهي تعطي بالحلمهة نوعين من السكاكر الأحادية أو جزيئين من سكر أحادي .

1-2-2. المالتوز :

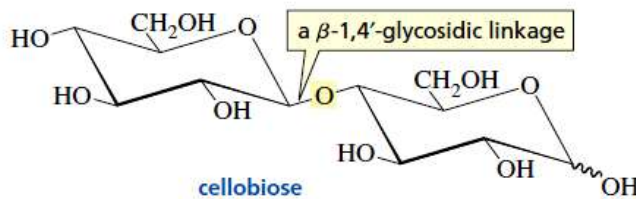
يتكون المالتوز من وحدتي D - غلوكوز مرتبطتين برابطة غليكوزيدية α - بين هيدروكسيل الـ C₄ من جزيء الكربون الأنوميري من جزي آخر وتكون الزمرة الـ OH - المرتبطة بالكربون الأنوميري الآخر في بلورات المالتوز في الشكل β - $[\alpha]_D = +112^\circ$ ، ولكنها تتحول في المحلول - بفعل الدوران التلقائي - إلى مزيج من الشكلين $[\alpha]_D$ α - $\{ = +168^\circ \}$ و β - ، هذا وتساوي القدرة الدورانية النوعية لهذا المزيج $+136^\circ$ ، احسب نسبة تواجدهما .



يتصف المالتوز بأنه سكر مرجع لأن الزمرة الكربونيلية في الحلقة الثانية تكون في الشكل نصف الأسيتالي ، ولذا يدخل المالتوز في جميع تفاعلات كربونيل السكاكر الأحادية .

ينتج المالتوز (سكر الشعير) عن الحلمهة الجزئية للنشاء حيث يعمل إنزيم الدياستاز على تحويل النشاء (الذرة ، القمح ، البطاطا ، ...) إلى المالتوز ، الذي يتحلل مائياً إلى وحدتي غلوكوز بواسطة أنزيم α - Maltase ، وتعد هذه الخطوة التفاعلية مرحلة أساسية في تفاعل تخمر النشاء وتحويله إلى الإيثانول ، لا بد من الإشارة عند تحليل الأميلوبكتين بتشكيل ايزو المالتوز ، والذي يتكون من ارتباط وحدتي غلوكوز بالرابطة α -(1 \rightarrow 6') ، وتحلله يحتاج أنزيم Isomaltase دون غيره .

2-2-2. السلوبيوز :



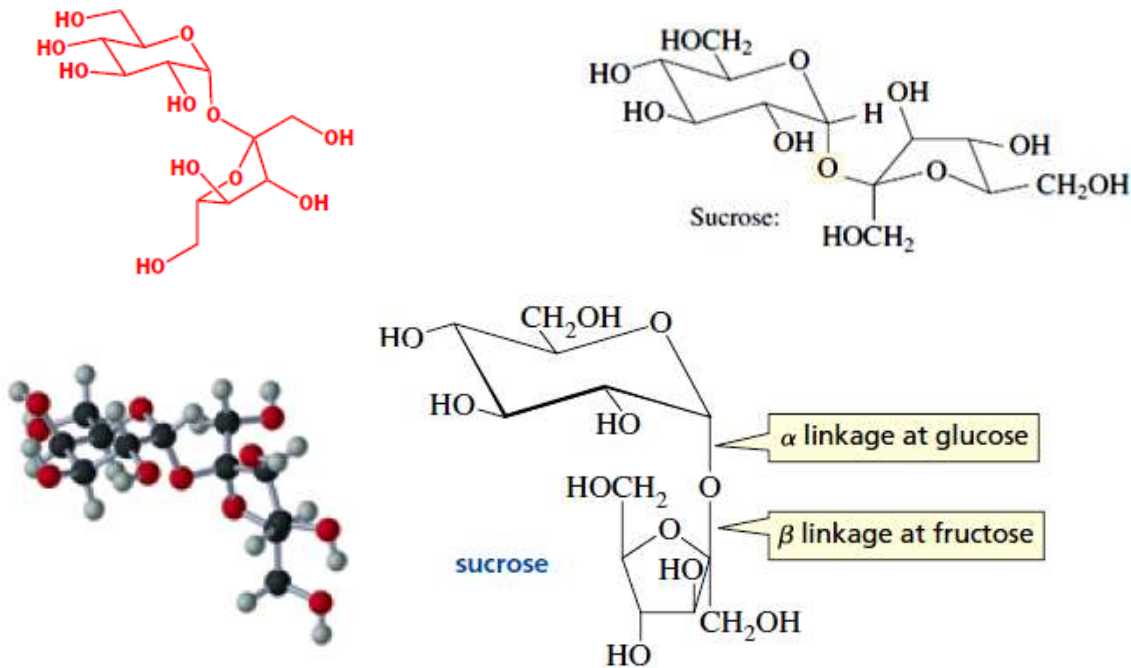
تسمح الحلمهة الجزئية الحمضية للسليولوز (القطن) بفصل سكر ثنائي هو السلوبيوز ، وهو يتميز بأنه سكر مرجع ، قابل للدوران التلقائي ، ويتكون من وحدتي غلوكوز مرتبطتين برابطة غليكوزيدية 1 - 4 تشبه طريقة الارتباط التي رأيناها في حالة المالتوز .

يختلف السلوبيوز في أن الرابطة الغليكوزيدية في الأول هي رابطة β -(1 \rightarrow 4') ، بينما تكون الرابطة في المالتوز α -(1 \rightarrow 4') . يعد هذا الاختلاف في الرابطة الغليكوزيدية في المالتوز (وهي α) والرابطة الغليكوزيدية في السلوبيوز (وهي β) ذا أهمية حيوية كبيرة ، فالإنزيمات التي تستطيع حلمهة الرابطة α - لا يمكنها حلمهة الرابطة β - ، والعكس صحيح ، أي أن الإنسان يستطيع هضم النشاء ولا يمكنه الاعتماد على السيلولوز كمصدر غذائي .

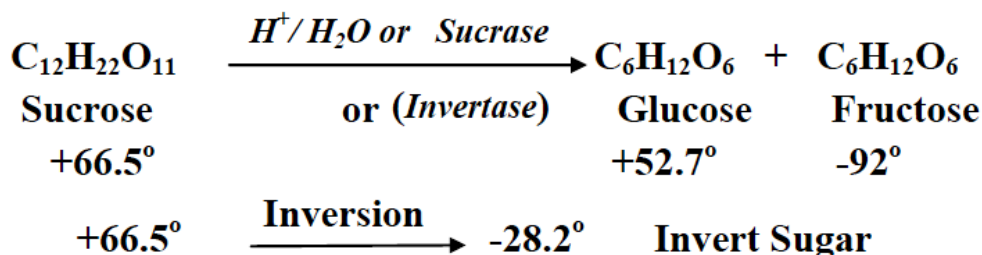
3-2-2. السكروز (سكر المائدة) :

يعرف السكر العادي المستخدم في التغذية باسم السكروز ، وهو يعد من أكثر السكاكر الثنائية أهمية ، ويستحصل عليه من قصب السكر والشمندر السكري . يعطي السكروز بالحلمة كميتين متساويتين من D - الغلوكوز و D - الفركتوز ، ولايبدى ظاهرة الدوران التلقائي ، ولايرجع محلول فهلنغ أو كاشف تولانز ، ولا يشكل أوزاناً (إلا في حالة الغليان طوال فترة مديدة) ، وتشير هذه الحقائق التجريبية إلى أن الزمرة الكربونيلية في كلا شطريه غير حرة .

تبين الدراسات المختلفة التي أجريت على السكروز أن بنيته هي : D-α - غلوكوبير أنوزيل - D - β - الفركتوفورانوزيد أو D - β - فركتوفورانوزيل D - α - الغلوكوبيرانوزيد .



من الممكن تتبع تفاعل حلمة السكروز بواسطة مقياس الاستقطاب ، فالقدرة الدورانية النوعية للسكروز تساوي +66° ، بينما تساوي القدرة الدورانية النوعية لمحلول الغلوكوز عند الاتزان (مزيج من α - و β - الغلوكوبيرانوز) +52.7° ، وللـفركتوز - 92° . يحوي وسط تفاعل حلمة السكروز في نهاية التفاعل مزيجاً من الغلوكوز والفركتوز بكميات متساوية ، ولذا تكون قيمة قدرته الدورانية النوعية مسبقة بإشارة سالبة ، وهكذا تتحول القدرة الدورانية للسكروز خلال تفاعل حلمته من قيمة موجبة إلى قيمة سالبة . يهضم السكروز في الأمعاء بفعل أنزيم Sucrase .

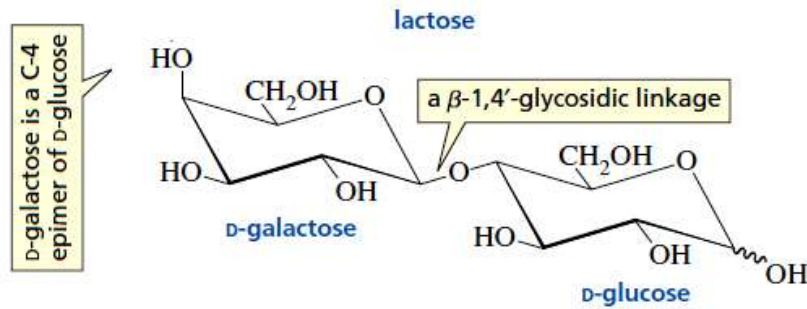


يعرف تفاعل فصم السكروز إلى الغلوكوز والفركتوز تاريخياً باسم انقلاب السكر ، ويدعى مزيج المنتجات بالسكر المنقلب invert sugar ، ولذا يدعى أنزيم التحلل بـ Invertase ، ويستطيع إنزيم الأنفرتاز الذي تفرزه بعض أنواع الخمائر أن يقوم بتفاعل الفصم هذا . يدعى الغلوكوز تجارياً باسم الديكستروز ، ويعرف الفركتوز بالليفولوز للدلالة على جهة دوران الضوء .

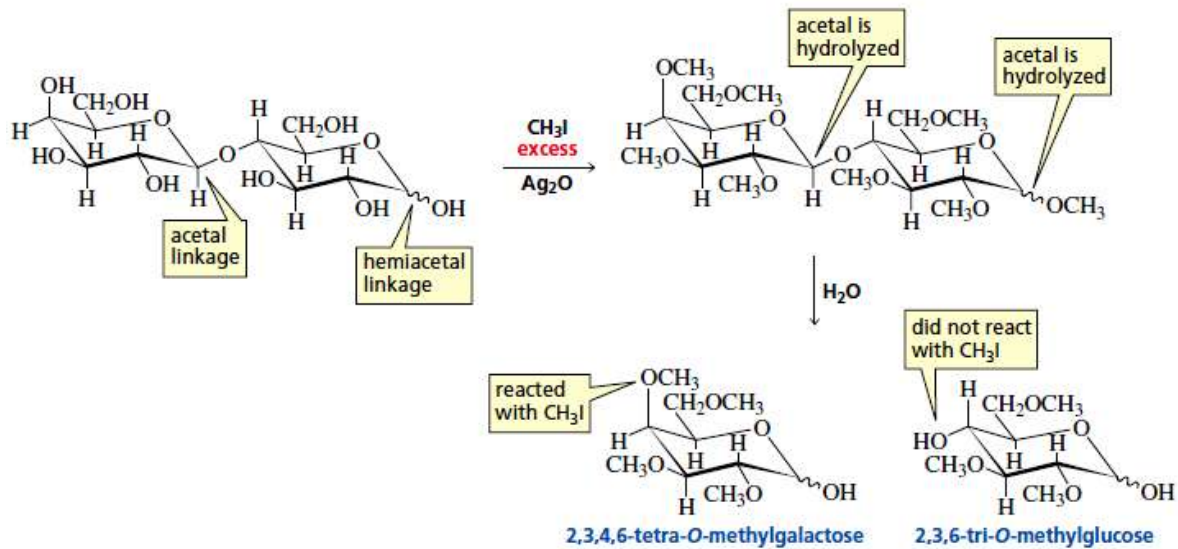
4-2-2. اللاكتوز (سكر الحليب):

اللاكتوز من السكريات الثنائية التي تتألف من وحدتين مختلفتين من السكريات الأحادية ، ويوجد بنسبة لا بأس بها في حليب الثدييات (بين 4 و6%) ويستحصل عليه صناعياً من المصل المتبقي خلال مراحل صناعة الجبن .

تسمح حلمة اللاكتوز بفصل كميتين متكافئتين من D-الغلوكوز و D-الجالاكتوز ، وتوضح الدراسات المختلفة (المطيافية والكيميائية) أن الرابطة الغليكوزيدية تكون بين الكربون 1- من الجالاكتوز والكربون 4- من الغلوكوز ، مما يؤمن لوحدة الغلوكوز إمكانية البقاء بشكل سلسلة مفتوحة أو نصف أسيتالية ، أي تحتوي جزيئة الغلوكوز في اللاكتوز على هيدروكسيل غليكوزيدي حرّ ، يعاني حادثة الدوران الذاتي ويرجع محلول فهلنغ، أما بالنسبة لزاوية الدوران النوعي للمحلول المتوازن وتبلغ $+52.6^\circ$.

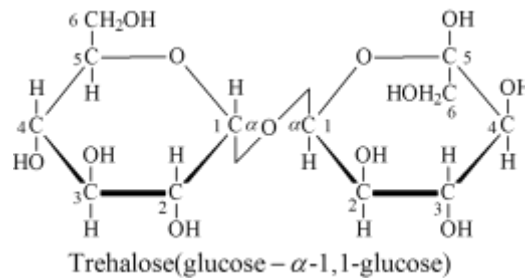


وتم التأكد من البنية الأكيدة لللاكتوز من الحلمة اللطيفة لنواتج الأيترة



5-2-2. التريهالوز Trehalose (سكر الفطر): يوجد في الفطور والأشنيات وبعض النباتات الراقية (من فصيلة Selaginella). تبلغ كمية هذا السكر في خميرة الخبز حوالي 18% من المادة الجافة، ويتخمر بواسطة أغلب الخمائر.

يتألف من اتحاد جزيئتي D- α - غلوكوبيرانوز بواسطة هيدروكسيليها الغليكوزيديين:



ونظراً لعدم وجود أي هيدروكسيل غليكوزيدي حرّ في جزيئة هذا السكر فهو لا يعاني حادثة الدوران الذاتي ولا يرجع محلول فهلنغ، وتبلغ زاوية الدوران لمحلوله المائي $+187.3^\circ$.

2-5. متعددات السكريات من الدرجة الثانية Polysaccharides:

تعرف متعددات السكريات باسم Polysaccharides تسمى أحياناً بالسكريات المعقدة، لأنها بوليميرات للسكريات الأحادية، حيث تتألف من عدد كبير من شقوق السكريات البسيطة، ولذا تعدّ من المركبات ذات الوزن الجزيئي المرتفع، حيث توجد بحالة غروية في محاليلها المائية. ويمكن تمييز نوعين من السكريات المتعددة:

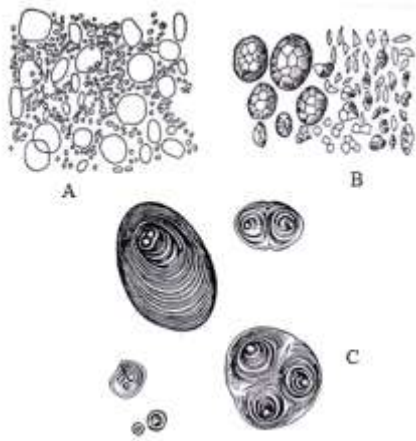
أ- **متعددات السكريات المتجانسة Homopolysaccharides** وهي التي تتألف من اتحاد جزيئات نوع واحد من السكريات الأحادية.

ب- **متعددات السكريات غير المتجانسة Heteropolysaccharides** وتتألف من شقوق تابعة لأكثر من نوع واحد من السكريات الأحادية (2 إلى 4 أنواع عادة، ونادراً من 5 إلى 6 أنواع) ويمكن أن تحوي على عناصر إضافية كالأزوت.

2-5-1. متعددات السكريات المتجانسة:

تتفكك هذه السكريات بعد حلمتها الحمضية أو القلوية إلى سكريات أحادية من نوع واحد وتعدّ هذه الفئة من أوسع السكريات انتشاراً في الطبيعة، وتوجد بشكل رئيس في المنتجات النباتية وتقسّم إلى ثلاثة أنواع: معتدلة، يدخل في تركيبها سكريات معتدلة، وقلوية يدخل في تركيبها سكريات أمينية، وحمضية يدخل في تركيبها أحماض سكرية، ويمكن أن تكون السلاسل فيها مستقيمة ومنفرعة، أهمها: النشاء، الغلايكوجين، الإنولين، السييلولوز، الكالوز، الدكستران، الآغار - آغار، الكيتين.

2-5-1-1. **النشاء Starch**: من السكريات الإذخارية التي تتوافر في النباتات متجمعة على شكل حبيبات متفاوتة الشكل والحجم، وقد تكون بيضوية أو كروية أو غير منتظمة. أما قطرها فيتراوح من 0.002 وحتى 0.15 mm، وأكبر أنواع الحبيبات يوجد في البطاطا وأصغرها في الأرز كما في الشكل (1):



الشكل (1): حبيبات النشاء، A: القمح،

B: الشوفان، C: البطاطا

تنتفخ حبيبات النشاء عند إضافة الماء البارد إليه ولكنها لا تنحل، أما إذا سخنا معلق حبيبات النشاء في الماء تدريجياً، فإن انتفاخه يزداد بشكل تدريجي أيضاً حتى يتشكل في النهاية، ضمن درجة حرارة معينة، محلول غروي لزج يسمى مطبوخ النشاء (النشاء المتهلم). يتألف النشاء بنسبة 96.1-97.6% من سكر مركب يعطي بالحلمة الحمضية جزيئات D-α - غلوكوبيرانوز، وتبلغ نسبة المركبات اللاعضوية في النشاء حوالي 0.2-0.7% وهي عبارة عن حمض الفوسفور بشكل رئيس.

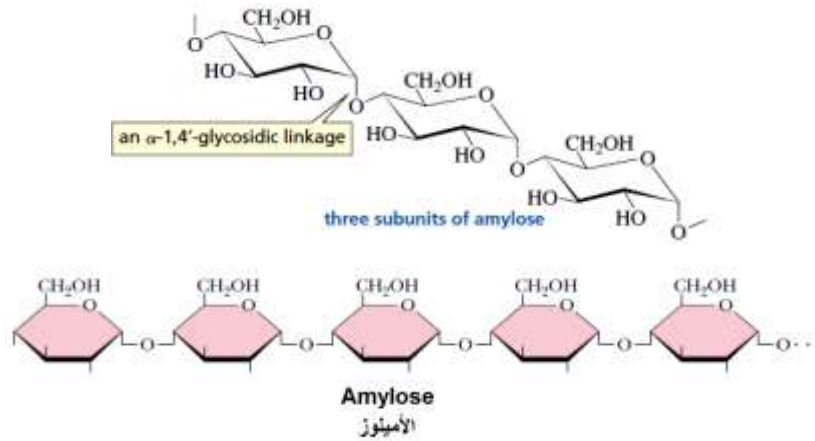
كما عثر في النشاء على بعض الحموض الدسمة المرتفعة الوزن الجزيئي كحمض البالميتيك والستياريك وغيرهما بنسبة قد تصل حتى 0.6% وتكون ممتزة على جزء النشاء السكري المعقد ويمكن استخلاصها بالمذيبات العضوية المعتدلة.

أما ارتباط حمض الفوسفور مع النشاء فقد يكون إما على شكل شائبة كما في نشاء الذرة والقمح والأرز ويمكن نزعها بواسطة الماء الدافئ أو الايثانول أو دي أوكسان، أو قد يكون مرتبطاً مع النشاء بروابط إستيرية كما في نشاء البطاطا، حيث تؤدي الحلمة الحمضية أو الأنزيمية إلى تشكّل نسبة من جزيئات الغلوكوز -6- فوسفات.

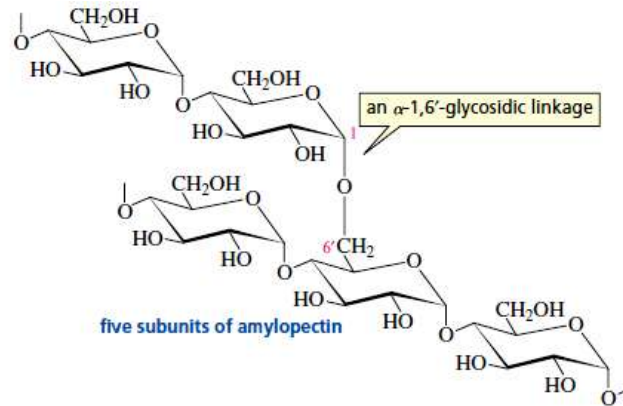
يتكون الجزء الكربوهيدراتي للنشاء من نموذجين من متعددات السكاريد، التي تختلف بخواصها الكيميائية والفيزيائية وهما الأميلوز والأميلوبكتين.

الأميلوز Amylose:

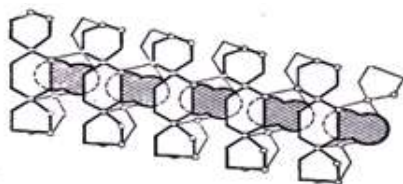
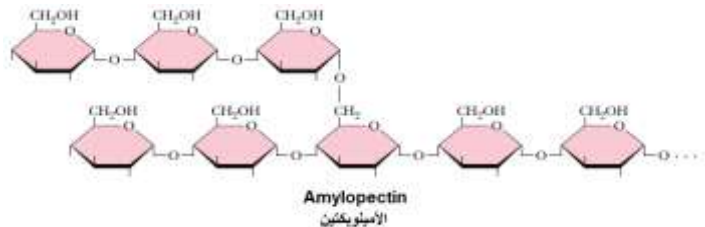
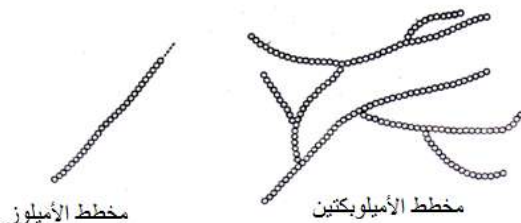
عبارة عن سلاسل مستقيمة من جزيئات $D-\alpha$ - غلوكوبيرانوز التي يبلغ عددها ما بين 2000 و 6000 جزيئة أو أكثر، بحيث يتراوح وزنه الجزيئي ما بين 300 ألف وحتى المليون. ينحل بسهولة في الماء الدافئ ويعطي محاليل قليلة اللزوجة نسبياً وقليلة الثبات، إذ يكفي تركها لفترة من الزمن حتى تبدأ بإعطاء رواسب بلورية، ترتبط شقوق الغلوكوز في سلسلة الأميلوز بروابط غليكوزيدية $\alpha-1,4$ معطية سلاسل مستقيمة غير متفرعة:



الأميلوبكتين Amylopectin: يختلف هذا المركب عن الأميلوز بوزنه الجزيئي الكبير وبزيادة عدم تجانسه. ودلت النتائج على أن جميع أنواع الأميلوبكتين يزيد وزنها الجزيئي عن 20 مليوناً. ينحل هذا المركب في الماء ولكن بالتسخين الشديد وتحت الضغط يعطي محلولاً شديداً اللزوجة وشديداً الثبات. ترتبط جزيئات الغلوكوز في الأميلوبكتين بروابط غليكوزيدية $\alpha-1,4$ كما في الأميلوز، بالإضافة إلى وجود روابط غليكوزيدية $\alpha-1,6$ مما يؤدي إلى تشكّل سلسلة متفرعة .



و يمكن التعبير عن بنية جزيئي الأميلوبكتين والأميلوز وفق التالي:



يتكون كل من الأميلوز والأميلوبكتين بواسطة محلول اليود، حيث يأخذ الأميلوز لوناً أزرقاً والأميلوبكتين لوناً أزرق - بنفسجياً، الأمر الذي يسمح بالكشف عن كميات قليلة جداً من النشاء في

مختلف الأوساط. وقد تبين أن تَلَوْن الأميلوز باليود ناجم عن مخطط بنية معقد الأميلوز مع اليود، ضمن فراغ السلسلة المتحلزنة تشكل معقد كيميائي تتوضع فيه جزيئات اليود ضمن سلسلة المنتئية، والمؤلفة من شقوق (معبر عنها بسداسيات الوجوه) تتوضع جزيئات اليود (المظلل)

الأميلوز المتحلزنة :

أما تَلَوْن الأميلوبكتين باليود فعلى الأغلب ناجم عن تشكل معقد كيميائي وامتزائي في الوقت نفسه.

أصبح تحديد الأميلوز والأميلوبكتين في نشاء مختلف النباتات ممكناً في الفترة الأخيرة بعد اعتماد طرق تكفي دقتها لتحقيق هذا الغرض وأهم هذه الطرق هي:

- 1- استخلاص الأميلوز بالماء الساخن، 2- ترسيب الأميلوز من المحاليل بواسطة الغول البوتيلي وغيره، 3- الامتزاز الانتقائي للأميلوز على السيلولوز، 4- المعايرة اليودية.

يتحول النشاء إلى غلوكوز بالتسخين مع الحموض اللاعضوية، أما لدى التأثير الأكثر ضعفاً للأحماض (مثل محلول HCl بتركيز 7.5% لمدة سبعة أيام وبدرجة الحرارة العادية) يتشكل ما يسمى بالنشاء المنحل والمستخدم عادة في المخابر. تفكك أنزيمات الأميلاز الموجودة بكميات كبيرة في البذور النامية وفي اللعاب والعصارات الهاضمة، النشاء وتحوله إلى المالتوز، ويتشكل في أثناء التفكيك والحلمهة، على شكل نواتج بسيطة وكميات قليلة أو كثيرة، سكريات مختلفة الأوزان الجزيئية تسمى دكستريانات Dextrins.

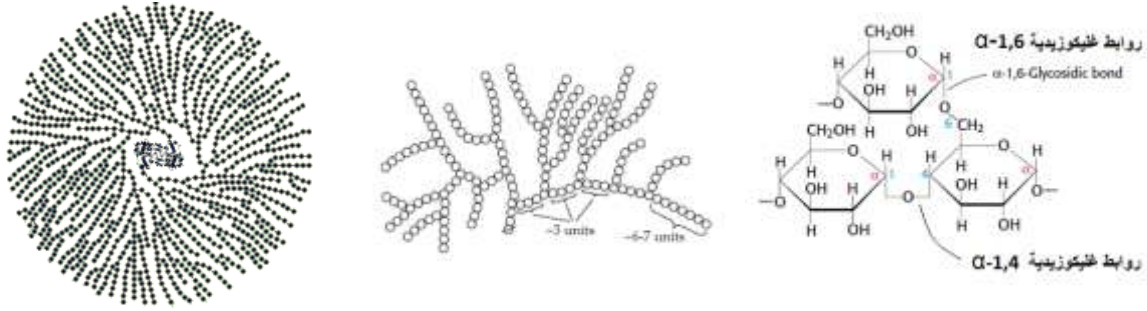
تنتج في المراحل الأولى للحلمهة دكستريانات قريبة جداً بخواصها وحجمها من النشاء وتعطي مع اليود لوناً أزرقاً أو بنفسجياً، ومع استمرار الحلمهة يتناقص الوزن الجزيئي لهذه الدكستريانات وتزداد إمكانية إرجاعها لمحلول فهلنج وتبدأ ألوانها بتأثير اليود بالتغير من البني الغامق إلى الأحمر ثم تفقد إمكانية التلون مع اليود. ويمكن تمييز أربعة أنواع من الدكستريانات وفقاً لخواصها:

- 1- الأميلودكستريانات: تتلون بالأزرق البنفسجي مع اليود، وهي عبارة عن مسحوق أبيض ينحل في الغول ذي التركيز 25% ويترسب في الغول ذي التركيز 40%، زاوية دورانها النوعي من 190° حتى 196° .
- 2- الإريترودكستريانات: تتلون بالأحمر الأرجواني مع اليود وتتحل في الايثانول ذي التركيز 55% وتترسب عندما يكون تركيزه 65%، زاوية دورانها النوعي 194° ، وتتبلور من المحاليل الغولية الساخنة على شكل بلورات كروية.
- 3- الأكرودكستريانات: لا تتلون باليود، وتتحل في الغول ذي التركيز 75%، وتترسب على شكل بلورات كروية بتبخير المحلول الغولي، زاوية دورانها النوعي 192° .
- 4- المالتودكستريانات: لا تتلون باليود ولا تترسب بالغول، زاوية دورانها النوعي من 181° حتى 183° .

2-5-1-3. الغلايكوجين Glycogen:

يؤدي الغلايكوجين دوراً هاماً في جسم الإنسان والحيوان كمادة مغذية إدارية، لذلك يسمى بالنشاء الحيواني. يتوافر في الفطور والخمائر وفي حبوب الذرة، وفي كبد الحيوانات تصل نسبته حتى 20% وفي العضلات 4%.

الغلايكوجين، من الناحية الكيميائية، هو عبارة عن سلاسل غلوكوزية، ترتبط فيها جزيئات α -D- غلوكوبيرانوز بنوعين من الروابط 1,4 و 1,6 مما يجعل جزيئته تتفرع بغزارة وتأخذ الشكل الكروي. في الواقع تتشابه البنية الكيميائية للغلايكوجين بدرجة كبيرة جداً مع جزيئية الأميلوبكتين، حيث إن كل ما قيل حول هذه الأخيرة ينطبق على الغلايكوجين، وينحصر الاختلاف بينهما بنقطتين، أولاًهما أن الوزن الجزيئي للغلايكوجين أعلى بكثير من الوزن الجزيئي للأميلوبكتين، وثانيهما أن تفرع سلاسل الغلايكوجين أكثر غزارة من تفرع الأميلوبكتين، إذ تضم السلاسل المفردة بين الفروع في الغلايكوجين ما بين 10-14 شقاً من الغلوكوز فقط ومن الشكل (2) يمكن التعرف إلى بنية الغلايكوجين:

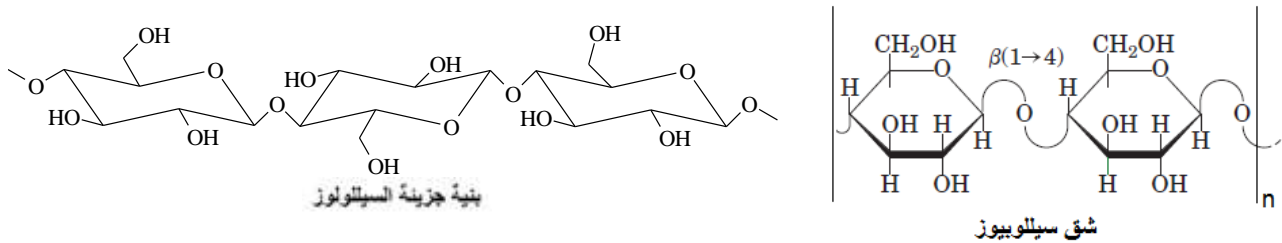


الشكل (2): مخطط بنية جزيئة الغلايكوجين

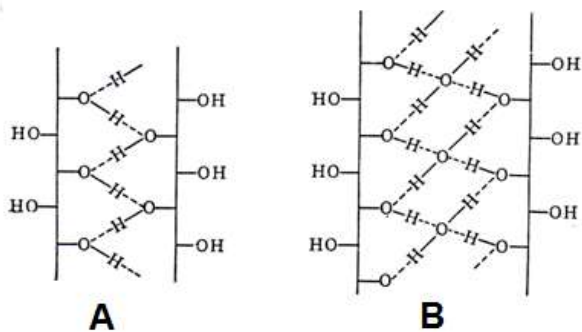
عثر في بعض أنواع الغلايكوجين والأميلوبكتين في أثناء تفككهما بواسطة الأنزيم α -أميلاز على كمية قليلة جداً من سكر المالتولوز (α -D-4-غلوكوبيرانوزيد-D - فروكتوز)، ولا يعرف حتى الآن ما إذا كان الفروكتوز ناتجاً عن تماكب الجلوكوز أم لا. بالإضافة إلى ذلك إذا زادت كمية الجلوكوزأمين أو الغالاكتوزأمين في جسم الحيوان فإن نسبة منهما ستدخل في بنية الغلايكوجين، وهذا ناجم على ما يبدو، عن ضعف في تخصص أنزيم الغلايكوجين سينتيتاز المسؤول عن الاصطناع الحيوي للغلايكوجين. أما الروابط α -1,2 و α -1,3 فإن كميتها في الغلايكوجين قليلة وتصل حتى 0.5% فقط.

4-1-5-2. السيلولوز Cellulose:

السيلولوز من السكريات المركبة البنيوية، يشكل الكتلة الرئيسة للجدران الخلوية في النبات، غير ذواب في الماء، لكن ينتج فيه فقط، ويشكل أكثر من 50% من بنية الخشب وأكثر من 90% من بنية ألياف القطن، كما يوجد في بعض البكتيريا والحيوانات الدنيا *Tuncata*. ترتبط شقوق السيلوبايوز في جزيئة السيلولوز بروابط غليكوزيدية على شكل سلاسل طويلة:



الوزن الجزيئي للسيلولوز غير مُقدَّر بدقة، لكن يُتَوَقَّع أنه مؤلف من مزيج مواد متشابهة، والوزن الجزيئي له يتأرجح في حدود كبيرة وفقاً لمصادر مختلفة، لكن بالمتوسط يمكن القول إن جزيئة السيلولوز تحوي من 1400 وحتى 10000 شقاً من الجلوكوز.



مخطط الروابط الهيدروجينية بين الجزيئات المتوازية للسيلولوز
الجاف A والرطب B

تبين بمساعدة التحليل البنيوي بالأشعة السينية، أن جزيئة السيلولوز ذات شكل خطي، تتحد هذه الجزيئات خطية الشكل ضمن حزم - ميسيلات، يتكون كل ميسيل تقريباً من 40-60 جزيئة سيلولوز. يجري ارتباط جزيئات السيلولوز في الميسيلات بفضل الروابط الهيدروجينية، التي تتشكل على حساب ذرات هيدروجين المجموعات الهيدروكسيلية في السيلولوز وجزيئات الماء الممتزة أيضاً في السيلولوز وفقاً للشكل المقابل :