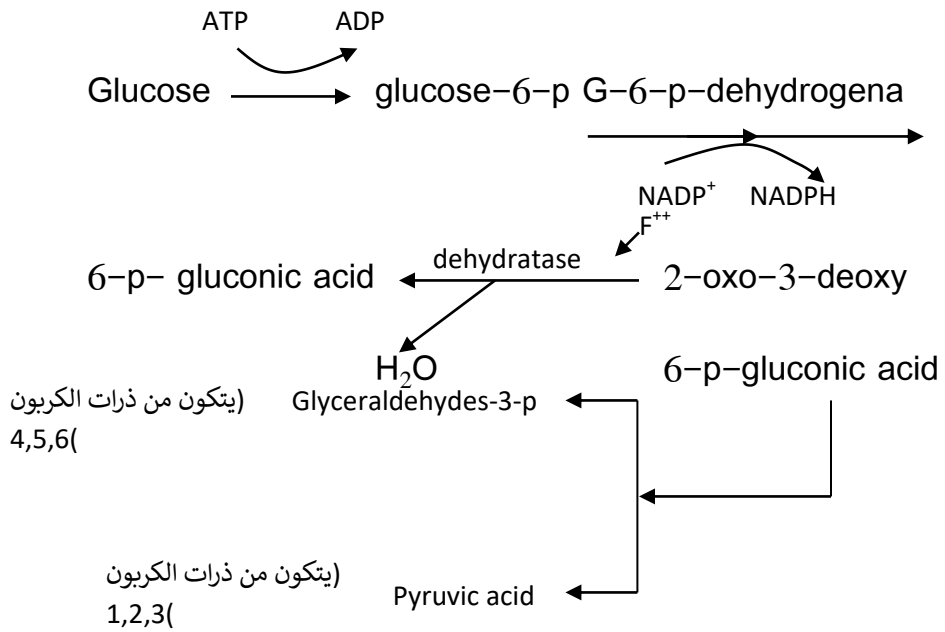
دورة انتر- دودوروف Enter- Doudoroff pathway

لقد اكتشفت دورة جديدة لتمثل الكلوكوز عندما لاحظ العالمان انتر ودودوروف ان بكتريا *Pseudomonas saccharophila* تحرر غاز CO_2 من ذرة الكربون رقم واحد للكلوكوز

في هذا المسار الخطوات الخمسة الأولى ينتج عنها مركبات وسطية جديدة هي 2-keto-3-deoxy 6-phosphogluconicaid(KDPG) تنشطر الى بايروفيت واحدة مع كلسيرالديهايد 3 فوسفات يتم في هذه الخطوات صرف ATP، ثم يكمل الأخير الخطوات الخمسة لدورة التحلل السكري او مسار Embden-Meyerhof pathway

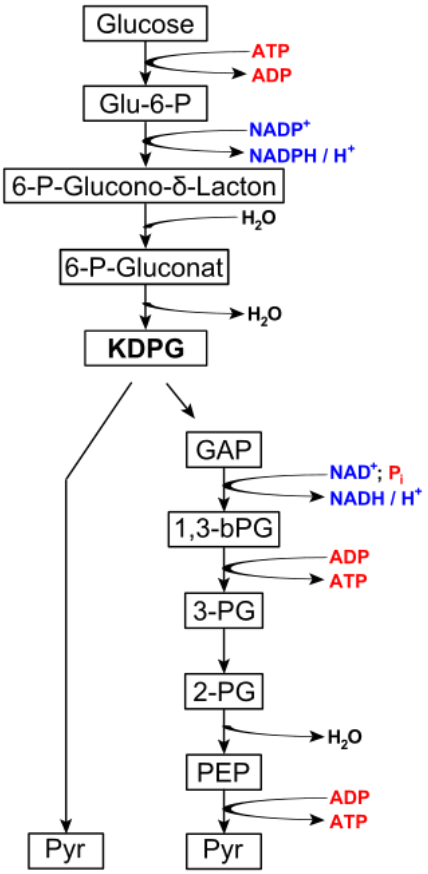
ومسار الدورة هو:-

ومسار الدورة هو:-



وهذه التفاعلات التي تسمى بـ Entner- Doudroff Pathway وجدت انها تحدث في عدد من البكتريا السالبة لصبغة كرام وخصوصاً بين افراد بكتريا جنس Pseudomonas وكذلك جنس Azotobacter ولكن يمكن ان تحدث بين افراد البكتريا الموجبة لصبغة كرام كالاحياء المنتجة للاكتيت مثل *Streptococcus Faecalis* عندما تنمو على الكلوكونيتولاتستعمله حقيقية النواة . ومن الانواع البكتيرية التي تمثل الكلوكوز بهذه الطريقة :

P. saccharophilus



as anerobica *Zymomon*

مسار فوسفات البنتوز pentose phosphate pathway

اعتبر مسار التحلل السكري لسنوات عديدة المسار الوحيد لتمثيل الكلوكوز لحين اكتشاف دورة فوسفات البنتوز والتي تعتبر ذات اهمية كبيرة للكائنات الحية عموما وللعديد من انواع البكتريا خصوصا ويسمى مسار فوسفات البنتوز (pentose phosphate pathway) أو (phosphogluconate pathway) أو (hexose monophosphate shunt) وتعرف بانها العملية الكيمائية التي يتم من خلالها تكوين pentose أو السكريات خماسية الكربون.
التي يمكن انتعمل بنفس الوقت مع مسار التحلل السكري اومسار انتر دودروف وتحت ظروف هوائية اولاهوائية

ان هذا المسار ينتج مركبات مهمة جدا وهي : (الانزيم المساعد) NADPH , وهو بدوره يعمل كناقل للالكترونات متخصص غالبا في عمليات البناء ومن بينها : صناعة الأحماض الدهنية...اما السكريات خماسية الكربون : فانها تدخل في تكوين النيكليوتيدات.
وخطوات التفاعل هي :

1- ان هذه الدورة تشتق من دورة التحلل السكري بشكل مباشر ويكون فيها عملية اكسدة G-6-P بشكل يؤدي الى تكوين 6-phosphogluconate , بعد ذلك يؤكسد لاحقا وتزال منه جزيئة CO_2 ليعطي سكر خماسي مفسفر هو Ribulose – 5- phosphate وان ذرة الكربون المزالة هي ذرة رقم (1)وتحرر خلالها NADPH .

2- يتكون المركب Ribulose – 5- phosphate وتحت تاثير انزيمات xylulose epimerase و pentose phosphate isomerase مزيج متوازن من مركبات – Ribulose 5- phosphate وRibose-5-p و xylulose-5-p ثم يحدث اعادة ترتيب لذرات الكاربون لهذه السكريات الخماسية المفسفرة بوجود تأثير انزيمات transaldolase (يحفز نقل ثلاث مجاميع من الكاربون) و transketolase(يحفز نقل مجموعتين من الكاربون) فتتكون مركبات وسطية رباعية وسباعية الكربون C_3 و C_7بسلسلة من التفاعلات التي لا تحتاج الاوكسجين تسمى

sedoheptulose –7–p وسكر ثلاثي الكربون هو glyceraldehyde–3–p والتفاعل يحدث بفعل انزيم transketolase الذي يحتاج الى عامل مساعد هو(thiamine (TPP pyrophosphate .

3–ثم يحدث تفاعل نقل بين المركبين glyceraldehyde–3–p و sedoheptulose –7– p يشترك فيه الانزيم transaldolase ويتكون نتيجة ذلك fructose–6–p والسكر الرباعي المسمى ب erythrose –4–p .

4– انزيم transketolase يشترك بتفاعل بين erythrose –4–p و xylulose–5–p وينتج عن هذا التفاعل glyceraldehyde–3–p التي من خلالها تدخل التحلل السكري وإنتاج البايروفيت، اما fructose–6–p بفعل انزيم phosphohexose isomerase تحول الى glucose –6–p ويمكنها بالتالي ان تعود الى الدخول للدورة مرة ثانية.

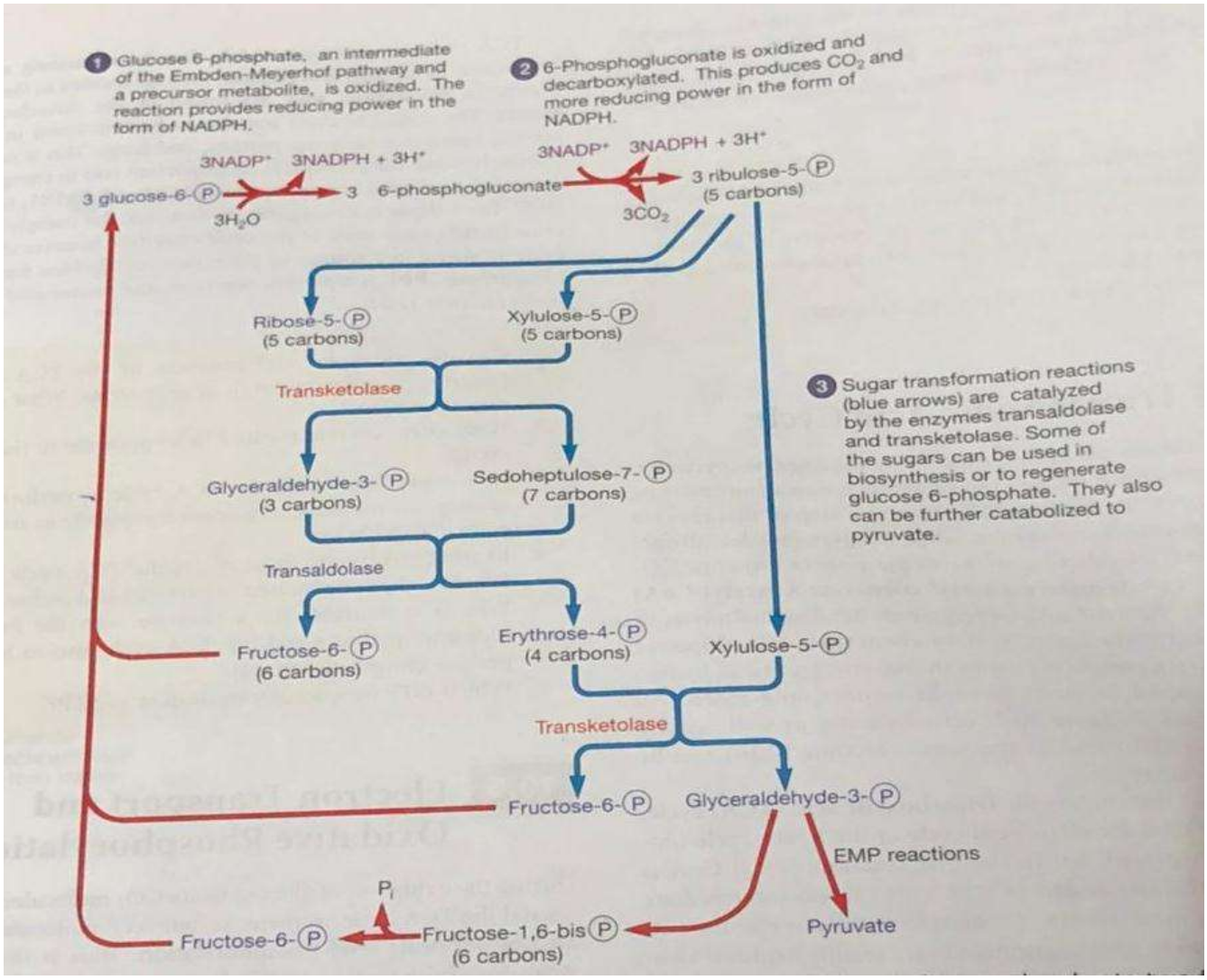
–5يقوم الانزيم triose phosphate isomerase بتحويل جزيئة واحدة من glyceraldehyde –3–p الى dihydroxyacetone–p وهذه تتحد مع جزيئة اخرى glyceraldehyde –3– p)) فتكونان fructose –1,6–bisphosphate ثم يحدث لهذه الجزيئة ازالة مجموعة فوسفات واعادة ترتيب ال isomerized فتعطي glucose–6–p وهذا يكون الجزيئة الخامسة من glucose–6–p من خلال التفاعلات نجد ان تفاعلين قد ادى الى تكوين NADPH وبذلك فانه (12) جزيئة (لان في كل تفاعل 6) يجب ان يعاد اكسدتها في كل دورة . وفي البكتريا وبالاعتماد على النوع فان اثنين او ثلاثة من ال ATP تنتج من اكسدة ال NADPH وعليه فان كمية ال ATP هي اما 24 او 36 جزيئة ولكن واحدة قد صرفت خلال عملية فسفرة الكلوكوز الى glucose–6–p.

هذه التفاعلات توضح كيف ان هذا المسار يكون الطاقة من خلال اكسدة الكلوكوز كليا الى 2CO وماء ومع هذا فان هذه النتيجة لا تعتبر النتيجة الاساسية والوحيدة لهذه الدورة وان ال NADPH المتكون يعتبر المصدر الرئيسي للمواد المختزلة التي تحتاجها الخلية بعملية تمثيل الدهون وايضا المسار يهيئ الهيكل الكربوني للمركبات الوسطية ومركبات اخرى مثل pentose و erythrose و triose phosphate.

مما سبق يتبين ان هذه العملية انتجت :

12 جزيئة NADPH وحسب نوع البكتريا فانه يمكن ان ينتج 2 او 3 من جزيئات ATP في السلسلة التنفسية لكل NADPH وهذه المركبات هي مصدر للالكترونات لعملية اختزال الجزيئات خلال عمليات البناء الحيوي

تمنح مركبات مهمة مثل Ribose–5–p يدخل في تصنيع الاحماض النووية و – erythrose 4–pيستعمل لتصنيع الاحماض الامينية الاروماتية وفيتامين6B



التنفس اللاهوائي **Anaerobic respiration**

يرتبط التنفس الخلوي على العموم بالغشاء السايتوبلازمي وكما اشرنا سابقا فان الخلية تتوخى من هذه العملية تخزين الطاقة باستخدام سلسلة نقل الالكترونات حيث يمثل الاوكسجين المستلم النهائي لها في حالة التنفس الهوائي اما في حالة التنفس اللاهوائي فان المستلم النهائي للالكترونات فيتمثل بمركبات لاعضوية غير الاوكسجين. وان سلسلة نقل الالكترونات في هذه الحالة تتشابه مع تللك التي تعمل في التنفس الهوائي ماعدا المؤكسد النهائي. ومن المستلمات الالكترونية في هذا المجال التي تدخل في عمليات التنفس اللاهوائي هي النترات 3NO والكبريتات 4SO فبكتريا القولون E– coli تستطيع ان تنمو لاهوائيا عندما يتأكسد الكلوكوزوباستخدام النترات مستلما نهائيا للالكترونات. ونتيجة لعملية الاكسدة هذه ينتج لدينا مشتقات النترات2NO وغاز النيتروجين 2N وان قابلية الكائن الحي على انتاج 2NO تحت ظروف غير هوائية غالبا ماتستخدم وسيلة تشخيصية في عمليات تصنيف البكتريا وان من البكتريا اللاهوائية التي تختزل الكبريتات هي بكتريا *Desulfovibrio sulfuricans*فهي تتنفس عن طريق اختزال الكبريتات 4SO الى ايونات الكبريتيد S على شكل H2S او الى الكبريت الذري S وان عملية اختزال الكبريتات هذه الى كبريتيد الهيدروجين هي السبب في اسوداد الطين في بعض الاحيان فضلا عن لون البحر الاسود المائل للسواد حيث ان كبريتيد الهيدروجين يتفاعل مع ايون الحديدوز Fe+ ليكون ملح كبريتيد الحديدوز FeS الاسود اللون.

التخمر Fermentation

يقتصر التخمر على نمط معين من الايض الذي من خلاله يستغل مركبا عضويا من خارج الخلية لتوليد ال ATP عن طريق تفاعلات الفسفرة بمستوى المادة الاساس .وتطرح نواتج التخمر الى الوسط البيئي خارج الخلية .اذ ان الكائن الحي لايستطيع استغلالها اكثر لتوليد ال ATP وبهذا نستطيع القول بان التخمر هو عملية انتاج الطاقة لا هوائيا تلعب فيها النواتج الايضية الوسطية دور المستلم النهائي للالكترونات وعلى هذا الاساس تكون نواتج التخمر لا اكثر تاكسدا ولا اكثر اختزالا من المادة الاساس .ان تحلل السكر ينتج حامض البايروفيك وعندما تتم العملية بمعزل عن الاوكسجين فان العملية تتحول الى تخمر.

أنواع التخمر The types of Fermentation : هناك عدة كائنات دقيقة خصوصا البكتيريا اللاهوائية الإجبارية أو الاختيارية تستعمل البيروفات في مسارات لا هوائية مختلفة.

1ـ التخمر الكحولي alcoholic Fermentation :تخمر ينتج بكثرة في الخمائر مثل *Saccharomyces* والفطريات لكن البكتيريا التي يمكنها القيام بالتخمر الكحولي قليلة مثل *Zymomonas mobilis*، خلال التخمر الكحولي تُنزع مجموعة الكربوكسيل لحامض البايروفك فينتج CO_2 و acétaldéhyde الذي يختزل إلى éthanol بوجود NADH.

2ـ التخمر اللبني المتجانس Homolactic fermentation : يمثل حمض اللبن الناتج الرئيسي لهذا التخمر، و ينتج عن إختزال حمض البيروفيك بوجود أنزيم lactic déhydrogénase. يحدث هذا التخمر عند الأجناس *Microbacterium, Pediococcus, Streptococcus* و أيضا عند العديد من أنواع *Lactobacillus* و بعض *Bacillus* و بعض الأعفان. يستعمل حمض اللبن في الصناعات الغذائية و في التخمرات اللبنية التي تؤدي إلى إنتاج الأجبان.

3ـ التخمر اللبني غير المتجانس Heterolactic fermentations : يمكن ان تنتج في ظروف لا هوائية إضافة لحمض اللبن ينتج كحول ethanol وحامض الخليك و CO_2 وكذلك يمكن ان ينتج الكليسرول.

4ـ التخمر **البيوتيري و التخمرات المشتقة منه:** تنتج البكتريا في هذا النوع من التخمر Butyric acid (الزبدة) وغاز CO_2 مثل جنس Clostridium منها C.butyricum و *Butyribacterium* بعض *Neisseria*

5- التخمر البروبيوني Propionic fermentation : ينتج بالاضافة لحامضPropionic كميات ضئيلة من ثاني اوكسيد الكاربون وحامض الخليك مثل Propionibacterium

6-butanediol fermentation: تخمير البيوتانديول هو تخمير لا هوائي للكلوكوز باستخدام 3،2-بيوتانيديول كأحد المنتجات النهائية فضلا عن انتاج كمية من الايثانول وحامض اللاكتيك والفورمك يمكن ان يحصل في الاجناس Klebsiella و Enterobacter ويتم اختباره باستعمال اختبار Voges-Proskauer.