

الوحدة الثانية: آليات تحويل الطاقة الكيميائية الكامنة في الجزيئات العضوية إلى ATP

مدخل الوحدة: يطرح النص في مدخل الوحدة ضرورة وجود مصدر للطاقة لكل خلية لغرض القيام بالوظائف المختلفة. ويركز المدخل على الخلايا غير ذاتية التغذية التي تستمد طاقتها من المواد الغذائية العضوية التي يتم هدمها للحصول على الطاقة القابلة للاستعمال في صورة ATP .

يطرح المدخل الإشكالية الرئيسية في هذه الوحدة وهي آليات تحويل الطاقة الكيميائية الكامنة إلى طاقة قابلة للاستعمال.

أما الصورة فتوضح العضية (المقر) التي يحدث فيها إنتاج الطاقة القابلة للاستعمال وهي الميتوكوندري.

تم تقسيم الوحدة إلى قسمين :

القسم الأول يتطرق إلى آليات تحويل الطاقة الكيميائية الكامنة في الوسط الهوائي بينما يتطرق القسم الثاني إلى هذا التحويل في الوسط اللاهوائي

النشاط 1 : تذكير بالمكتسبات

يهدف النشاط إلى تذكير التلميذ بمظاهر التنفس وشروط حدوثه.

يهدف الجزء الأول من النشاط إلى تذكير التلميذ بالمعادلة الإجمالية لهدم السكر لغرض إنتاج الطاقة عن طريق عملية التنفس.

ملاحظة : لم يتم وضع عد الجزيئات في المعادلة الإجمالية لأن الهدف منها هو توضيح المواد الداخلة في التفاعل والنواتج والطاقة دون تحديد نوع الطاقة.

السؤال 1: يهدف السؤال إلى دفع التلميذ إلى استخراج شروط حدوث ظاهرة التنفس

أما السؤال الثاني فيهدف إلى دفع التلميذ لاستخلاص مظاهر التنفس وهي: انطلاق CO_2 وإنتاج الطاقة.

يقوم التلميذ بعد ذلك بإنجاز مخططا يلخص فيه مجموع ظواهر هدم الجلوكوز على المستوى الخلوي في وجود الأكسجين.

النشاط الثاني: يهدف إلى توضيح بنية الميتوكوندري وتركيبها الكيميائي

- 1- الكشف عن حدوث الأكسدة باستعمال أخضر جانوس الذي يشير إلى مقر حدوث الأكسدة وبالتالي وجود الميتوكوندري. ظهور اللون الأخضر يشير إلى حدوث الأكسدة ويشير في نفس الوقت إلى وجود الميتوكوندري.
- 2- المشاهدة المجهرية لخلايا الخميرة في الوسطين الهوائي واللاهوائي تسمح بمقارنة بنية الخلايا ثم ربط العلاقة بين وجود الميتوكوندري وحدث الأكسدة والوصول إلى أن الميتوكوندري هي مقر الأكسدة التنفسية.
- 3- يهدف هذا النشاط الجزئي إلى توضيح بنية الميتوكوندري من خلال صورة المجهر الإلكتروني والرسومات التخطيطية التفسيرية المرافقة.
- يهدف السؤال 1 إلى إكساب التلميذ مهارة في التعبير العلمي الدقيق من خلال وصف بنية الميتوكوندري. يصل التلميذ من خلال الوصف إلى أن للميتوكوندري بنية مقسمة إلى حجرات وهي : الفراغ بين الغشائين والمادة الأساسية.
- 4- يهدف الجدول الموضح في الوثيقة 4 إلى توضيح المكونات الكيميائية لكل من الحشوة والأغشية بالإضافة إلى الهيولى. تسمح معطيات الجدول بإجراء المقارنة بين الغشاء الداخلي والخارجي ثم بين الغشاء الداخلي والمادة الأساسية والاستخلاص إلى وجود اختلاف في التركيب الكيميائي. هذا التركيب الكيميائي خاصة من حيث نوع البروتينات يحدد نوع الوظيفة التي يقوم بها كل جزء.
- يتم التركيز على الاختلاف بين الغشاء الداخلي والمادة الأساسية لأنهما الجزئين الأساسيين في عمل الميتوكوندري.
- 5- رقم النشاط الجزئي هو 5 وليس 4 من خلال المعادلة يتوصل التلميذ أن التنفس يشمل تفاعل أكسدة (تفاعل 1) وإرجاع (تفاعل 2) وأن ظاهرة التنفس هي تفاعلات أكسدة إرجاعية.

النشاط 3 : التحلل السكري

- يهدف النشاط إلى التعرف على مادة الأيض (الطاقة الكيميائية الكامنة) التي يتم استعمالها من طرف الميتوكوندري.
- 1- باستعمال التركيب التجريبي المدعم بالحاسوب يتم التعرف على مادة الأيض المستعملة من طرف الميتوكوندري.
 - في السؤال 1 وبعد تحليل المنحنى يستنتج التلميذ أن حمض البيروفيك هو مادة الأيض المستعملة من طرف الميتوكوندري لأن التجربة تمت على ميتوكوندري معزولة.
 - في التجربة 2 : يتم إثبات حدوث تحولات لسكر الجلوكوز إلى حمض البيروفيك ومصير حمض البيروفيك في الظروف الهوائية واللاهوائية باستعمال سكر جلوكوز مشع.

من خلال تحليل النتائج الموضحة في الجدولين أ و ب يمكن للتلميذ أن يستخلص أن :

- حمض الجلوكوز يتحول إلى حمض البيروفيك في الهيولى في الحالة أ و ب
- حمض البيروفيك يدخل إلى الميتوكوندري في الحالة أ فقط

- حمض البيروفيك يتحول في الميتوكوندري إلى مركبات أخرى
- حمض البيروفيك يتحول إلى مركبات أخرى في الهيولى في الحالة ب .

A1* = أستيل مرافق الإنزيم أ

A2* = إيثانول

A3* = حمض الليمون أو مركبات أخرى من حلقة كريبس

الحالة أ تمت في الظروف الهوائية لحدوث هدم الجلوكوز داخل الميتوكوندري بينما تمت الحالة ب في الظروف اللاهوائية.

يهدف السؤال 3 إلى استخلاص مصير حمض البيروفيك (تحول إلى مشتقات داخل الميتوكوندري في الوسط الهوائي أو مشتقات أخرى في الهيولى في الظروف اللاهوائية). أما المقرر فهو الهيولى أو الميتوكوندري.

2- مراحل التحلل السكري

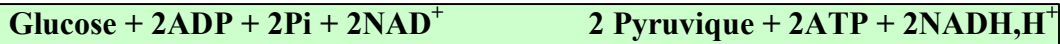
يهدف مخطط الوثيقة 4 إلى توضيح مراحل حدوث التحلل السكري.
من خلال الأسئلة يحاول التلميذ استغلال المخطط لاستخراج أهم المعلومات.
في السؤال 1 يقوم بتمثيل معادلات محددة .
مثلا: المعادلة 1 يمكن تمثيلها كالتالي:



في السؤال 2 يقوم التلميذ بالتعرف على أنواع بعض التفاعلات مثلا: التفاعل 1 و 3 هي تفاعلات حدث فيها إمامة لـ ATP وهي في نفس الوقت فسفرة للسكر.

في السؤال 3 : من خلال عد ATP الناتجة والمستهلكة يمكن التوصل إلى أن الحصيلة إيجابية تقدر بـ 2 ATP .

في السؤال 4 : تلخيص التحلل السكري في تفاعل واحد يشمل البداية والنهاية وعد ATP و $NADH, H^+$.



النشاط 4 : مراحل تحلل حمض البيروفيك (حلقة كريبس)

يهدف هذا النشاط إلى تتبع مراحل هدم حمض البيروفيك داخل المادة الأساسية للميتوكوندري.

1- الوثيقة 1 تهدف إلى عرض نتائج تجارب مدعمة بالاسوب توضيح المظاهر التي تدل على هدم حمض البيروفيك وهي امتصاص الأكسجين وطرح CO_2 .

2- تهدف المعادلة إلى توضيح المرحلة الأولى من هدم حمض البيروفيك داخل المادة الأساسية للميتوكوندري وهي المرحلة التمهيدية لحلقة كريبس.

3- تهدف الوثيقة 2 إلى توضيح مراحل حلقة كريبس والمرحلة التمهيدية الموضحة في الوثيقة السابقة. يقوم التلميذ باستخراج المعلومات من خلال دراسة مراحل الحلقة.

في السؤال 1 يقوم التلميذ بتصنيف التفاعلات إلى أصناف حسب نوع التفاعل. فمثلا التفاعل 3 يتم فيه عملية نزع كربوكسيل وأكسدة وهو ما يسمى بنزع الكربوكسيل التأكسدية $\text{décarboxylation oxydative}$.

في السؤال 2 و 3 يقوم التلميذ باستخراج معطيات خاصة بعدد جزيئات CO_2 و المرافقات الإنزيمية انطلاقا من جزيئة غلوكوز واحدة (4 جزيئات CO_2 + 6 جزيئات NADH, H^+ + جزيئين من FADH_2)

في السؤال 4 يقوم التلميذ بتمثيل التفاعل 1 في معادلة إجمالية بسيطة : وهي نفسها المعادلة الموضحة في الصفحة 213 بدون كتابة الصيغ الكيميائية.

يقوم التلميذ في النهاية باستخراج الحصييلة الأولية لعدد ATP و عدد NADH, H^+ وعدد FADH_2 وكذا عدد جزيئات CO_2 لكل من التحلل السكري وحلقة كريبس معا بما في ذلك الخطوة التمهيدية لحلقة كريبس.

الحصييلة هي : $4 \text{ ATP} + 10 \text{ جزيئات } \text{NADH, H}^+ \text{ و جزيئين من } \text{FADH}_2 \text{ و } 6 \text{ جزيئات من } \text{CO}_2$.

النشاط 5 : الفسفرة التأكسدية

يهدف هذا النشاط إلى توضيح آلية أكسدة المرافقات الإنزيمية واستعمال الطاقة الناتجة من الأكسدة لغرض إنتاج ATP.

1- دور الغشاء الداخلي للميتوكوندري :

تهدف التجربة الأولى إلى إثبات دور كل من الغشاء الداخلي للميتوكوندري والكريات المذنبية. يتوصل التلميذ من خلال نتائج التجربة أن نقل الإلكترونات يتم بواسطة مكونات الغشاء لكن تركيب ATP يتم بواسطة الجزء الكروي (F_1) من الإنزيم ATP Synthase عند وجوده ضمن غشاء سليم (في الميتوكوندري أو في حويصلة غشائية).

أما التجربة 2 فتوضح ظاهرة انتقال البروتونات H^+ أثناء حدوث التنفس في معلق من الميتوكوندري. كما تثبت دور المركبات التي يمنع تشكل ATP مثل مركب DNP.

في السؤال 1 و 2 : بعد تحليل المنحنى يتوصل التلميذ إلى أن إضافة O_2 يسبب انخفاض pH خارج الميتوكوندري (زيادة تركيز البروتونات H^+) بينما تعمل مادة DNP على رفع درجة pH خارج الميتوكوندري مما يشير أنها تساهم في تخفيض تركيز البروتونات H^+ في الخارج. مصدر البروتونات يكون من داخل الميتوكوندري

وقع خطأ في السؤال الثاني من الصفحة 215 يحذف الجزء الأخير من السؤال الذي يتعلق بكتابة المعادلة الكيميائية. يضاف هذا الجزء من السؤال إلى الصفحة الموالية 216 في السؤال 5 بعد تحديد المستقبل الأخير للإلكترونات في السلسلة التنفسية

في السؤال 3 : يهدف إلى تفسير الانخفاض والعودة عن طريق نفاذية الغشاء الداخلي وليس الخارجي الذي يتميز بنفاذية لمعظم الجزيئات الصغيرة.

يهدف السؤال 4 إلى لفت انتباه التلميذ أن خروج البروتونات سريع وعودته الطبيعية بطيئة لكن إضافة مركب DNP يسرع من دخول H^+ إلى داخل الميتوكوندري ويعود السبب إلى أن DNP يقوم بإدخال البروتونات بسرعة من الخارج إلى الداخل.

التجربة 3 : تهدف التجربة إلى تحديد شروط تركيب ATP وهي فرق تركيز H^+ ووجود الكرية المذبذبة (إنزيم ATP Synthase)

النشاط الجزئي 2 : آلية الفسفرة التأكسدية

تهدف الوثيقة 4 إلى توضيح آلية حدوث الفسفرة التأكسدية من خلال عرض رسم تخطيطي وظيفي يحاول التلميذ استغلاله لاستخراج معلومات مهمة حول آلية حدوث العملية.

السؤال 1 : يهدف إلى تحديد الآلية الفيزيائية لانتقال الإلكترونات وهي الآلية التي يكون التلميذ قد تعرف عليها في الكيمياء. من الكمون المنخفض إلى الكمون المرتفع أي وفق تدرج كمون الأكسدة الإرجاعية

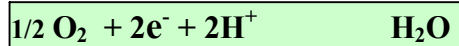
في السؤال 2 يقوم التلميذ بتفسير لنخفاض pH في التجربة 2 عن طريق الربط بين الوثيقتين 2 و 4 ، حيث يتضح دور نواقل الإلكترونات في إخراج البروتونات.

يهدف السؤال 3 إلى تطبيق عددي يقوم به التلميذ لغرض تحديد الفرق في كمون الأكسدة الإرجاعية الذي يحدد مستوى طاقة الإلكترون.

التطبيق العددي يتطلب قيم كمون الأكسدة الإرجاعية لـ $NADH, H^+$ والتي تقدر بـ -0.32 فولت و 0.05 فولت تقريبا للناسل T2 مما يؤدي إلى الاستنتاج أن الفرق معتبر ، أي أن هناك انخفاض معتبر في طاقة الإلكترون ويقود إلى التساؤل إلى أين ذهبت هذه الطاقة المفقودة؟

في السؤال 4 يصل التلميذ إلى أن الطاقة تستعمل في إخراج البروتونات عكس تدرج التركيز لأن ذلك يتطلب طاقة. يعتمد التلميذ على مفهوم النقل الفعال الذي تعرف عليه التلميذ في درس النقل العصبي.

في السؤال 5 يقوم التلميذ بتحديد المستقبل الأخير من المخطط وهو الأكسجين الذي يتحول إلى جزيئة ماء H_2O . يضاف إلى هذا السؤال الجزء الذي يتم نقله من الصفحة 215 ويطلب من التلميذ في هذا السؤال كتابة معادلة تشكل الماء انطلاقا من الأكسجين والإلكترونات والبروتونات كالتالي:



يقوم التلميذ بعد ذلك بحساب حصيلة عدد ATP الناتجة من هدم جزيئة غلوكوز هدمًا كاملاً (يتم حساب حصيلة المراحل الثلاثة)

يمكن للطالب الرجوع إلى الحصيلة الأولية التي تم حسابها بعد حلقة كريبس في الصفحة 214 . حيث يتوصل التلميذ إلى أن الحصيلة الكلية لعدد ATP هي 38 جزيئة.

في الوثيقة 5 يحاول التلميذ استخراج المعلومات الخاصة بمراحل التنفس واستعمالها في إكمال المخطط.

بعد وضع العنوان الذي يعبر عن مراحل هدم الغلوكوز (مراحل التنفس) وكتابة البيانات ثم تسمية المراحل أ ، ب ، ثم ج .

يقوم التلميذ بعد ذلك بإنجاز مخطط يلخص فيه الظواهر التي تم التطرق إليها وهي مراحل هدم الجلوكوز في الوسط الهوائي.

أ= التحلل السكري	$\text{CO}_2 = 5$	=جلوكوز
ب= حلقة كريبس	$\text{FADH}_2 = 6$	=حمض البيروفيك
ج= الفسفرة التأكسدية	$\text{O}_2 = 7$	$\text{NADH, H}^+ = 3$
	$\text{H}_2\text{O} = 8$	$\text{ATP} = 4$

النشاط 6 : يمثل الجزء الثاني من هذه الوحدة وهي آليات تحويل الطاقة الكيميائية الكامنة في الوسط اللاهوائي. يهدف النشاط إلى توضيح طرق أخرى لهدم المادة العضوية لغرض إنتاج الطاقة القابلة للاستعمال في غياب الأكسجين وهو ما يعرف بالتخمير. وقد تم اختيار أحد أنواع التخمير المعروف بالتخمير الكحولي .

النشاط الجزئي 1 : هدم الجلوكوز في غياب الأكسجين

التجربة 1 : تهدف التجربة إلى التعرف على نواتج التخمير الكحولي باستعمال التجريب المدعم بالحاسوب وذلك في وسط يحتوي على الخميرة والجلوكوز. من خلال تحليل المنحنى الموضح في الوثيقة 1 يستنتج التلميذ نواتج التخمير الكحولي وهي CO_2 وكحول الإيثانول. كما يلاحظ أن هذا الانطلاق لا يحتاج إلى الأكسجين. في التجربة الموالية يتم قياس كتلة الخميرة من خلال قياس شفافية الوسط . لأن زيادة أعداد خلايا الخميرة نتيجة تكاثرها ونموها يقلل من شفافية الوسط. نمو الخميرة يرتبط بتوفر الطاقة اللازمة لذلك والذي يتم توفيرها من التنفس أو التخمير.

يهدف السؤال 1 إلى الوصول إلى أن مردود إنتاج الخميرة يكون كبيرا في الوسط الهوائي مقارنة بالوسط اللاهوائي من خلال الانخفاض الكبير في شفافية الوسط.

في السؤال 2 يقوم التلميذ بتعليل الفرق في المردود من خلال مفهوم الطاقة حيث أن النمو يستهلك طاقة. يمكن الاستعانة **بوثائق أخرى** توضح كمية الغلوكوز المستهلكة في الحالتين وحساب المردود الطاقي لكل كمية من الغلوكوز.

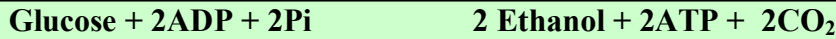
النشاط الجزئي 3 : يهدف إلى مقارنة ظاهرتي التنفس والتخمير من حيث المردود الطاقي لكل منهما. يمكن للتلميذ حساب كمية الطاقة التي تم تحويلها فعليا بعدد جزيئات ATP وهي 38 جزيئة في التنفس و 2 ATP في التخمير. يمكن بعد ذلك استعمال قيمة 30.5 كيلوجول/مول لحساب الطاقة بالكيلوجول التي تقابل عدد جزيئات ATP الناتجة في كل حالة.

ومن خلال ذلك يمكن حساب المردود كنسبة مئوية من الطاقة الكلية الموجود في جزيئة الغلوكوز وهي 2860 كيلوجول/مول

يستنتج من ذلك التلميذ المردود العالي للتنفس مقارنة بعملية التخمير. لكن نواتج التخمير لا تزال عالية الطاقة مقارنة بنواتج هدم الغلوكوز في الوسط الهوائي التي تكون عديمة الطاقة.

النشاط الجزئي 4 : يهدف إلى لفت إنتباه التلميذ إلى وجود فرق أساسي بين الآليتين (التنفس والتخمير) في تجديد نواقل الهيدروجين (المرافقات الإنزيمية $NADH, H^+$ و $FADH_2$).

الوثيقة 4 توضح طريق تجديد المرافق الإنزيمي NAD^+ في التخمير الذي لا يتطلب تدخل الأكسجين ولا يتطلب عملية الفسفرة التأكسدية داخل الميتوكوندريا وهو يتم كليا في الهيولى. بينما يتم تجديد المرافقات الإنزيمية من خلال الفسفرة التأكسدية في الظروف الهوائية التي تتم داخل الميتوكوندري. يقوم التلميذ بعد ذلك بتمثيل التخمير في معادلة إجمالية بسيطة كالتالي:



في الوثيقة 5 يقوم التلميذ بوضع عنوان للوثيقة وكتابة البيانات التي تمثل الأرقام والأحرف في السؤال 3 الأحرف أ و س وليس أ ، ب ، ج

في ختام الوحدة يطلب من التلميذ إنجاز مخطط تحصيلي لطريق تحويل الطاقة الكامنة في الوسط اللاهوائي

التمارين :

التمرين 1 :

يهدف التمرين إلى مقارنة آليتي التخمر والتنفس

السؤال 1 يهدف إلى التوصل من خلال المقارنة إلى أن كتلة الخميرة المتكونة في الظروف الهوائية تتطلب استعمال كمية أقل من الجلوكوز .

للتأكد من ذلك يتم حساب كمية الجلوكوز اللازمة لإنتاج 1 غ من الخميرة. يمكن كذلك حساب الزمن اللازم لذلك في الحالتين أو يمكن حساب مانتنتج الخميرة في 24 ساعة في الحالتين.

يتم حساب كمية الجلوكوز اللازمة لإنتاج 1 غ من الخميرة في طول مدة التجربة كالتالي:

$$45 \div 0.255 = 176.47 \text{ غ جلوكوز/غ خميرة متشكلة}$$

$$0.098 \div 0.024 = 4.03 \text{ غ جلوكوز/غ خميرة متشكلة}$$

من خلال الحسابات يمكن الاستنتاج أن إنتاج 1 غ من كتلة الخميرة يتطلب صرف طاقة كبيرة في الظروف اللاهوائية مما قد يشير إلى المردود الطاقي الضعيف مقارنة مع التنفس.

يمكن حساب كمية الجلوكوز المستهلكة في مدة 24 ساعة في كلا الحالتين:

بالنسبة للوسط أ المدة هي 24 ساعة ، 0.098 غ جلوكوز/24 ساعة

بالنسبة للوسط ب تحسب كالتالي:

$$45 \div 30 = 1.5 \text{ غ جلوكوز/24 ساعة}$$

يلاحظ اختلاف كبير في كمية الجلوكوز المستهلك في الحالتين.

يمكن إضافة أمثلة أخرى من مواضيع البكالوريا مثل الجدول التالي الذي تم الحصول عليه من خلال تنمية خلايا

الخميرة وفق الشروط التجريبية الموضحة في الجدول:

كمية الجلوكوز في وسط الزرع				أكسجين الوسط	مدة التجربة (الأيام)	التجارب
مردود إنتاج الخميرة	الخميرة المتشكلة (غ)	نهاية التجربة	بداية التجربة			
0.044	0.44	0	10	200	3	1
0.013	1.97	0	150	3000	9	2
0.009	1.36	4.5	150	3000	19	3
0.006	0.25	105	150	3000	90	4

يمكن من خلال الجدول استنتاج معلومات حول:

مردود إنتاج الخميرة بدلالة شروط تهوية الوسط في كل تجربة خاصة في التجربة 1 و 4 .

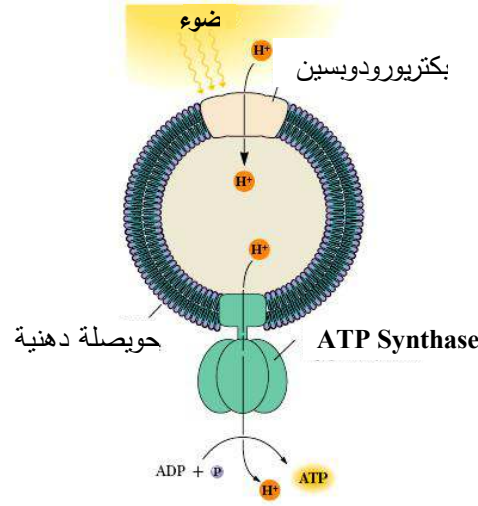
المدة الزمنية اللازمة لإنتاج كمية من الخميرة (النمو).

كمية الجلوكوز المستهلك للوصول إلى إنتاج كمية من الخميرة.

التمرين 2 :

يهدف التمرين إلى تعريف التلميذ بنوع من البكتيريا تقوم بإنتاج الطاقة بآلية تختلف عن الآليات المدروسة ، وهي حالة خاصة تتم في ظروف محددة. اكتشف هذه البكتيريا كان له أثر إيجابي في تأكيد الفرضية الكيميائية الأسموزية للعالم ميتشل الموضحة في مخطط الصفحة 191 في الوحدة الأولى من هذا المجال.

السؤال 1 يهدف إلى دفع التلميذ لدراسة الظاهرة وإنجاز رسم تخطيطي عبارة عن حويصلة غشائية تضم البروتين الأرجواني والإنزيم ATP Synthase



في السؤال 2 : يصل التلميذ إلى أن دور البروتين هو العمل كمضخة لإدخال البروتونات عكس تدرج التركيز لإحداث فرق في التركيز. وهذا الإدخال يتطلب طاقة تستمد في هذه الحالة من الضوء. أي أن البروتين هو مضخة لبروتونات تعمل بالطاقة الضوئية.

السؤال 3 يهدف إلى الوصول إلى أن توفر الأكسجين في التنفس كان لغرض استقبال الإلكترونات القادمة من المرافقات الإنزيمية وانتقالها عبر السلسلة التنفسية ، هذا الانتقال يتسبب في إحداث فرق في تركيز H^+ الذي يستعمل لتركيب ATP . إحداث فرق التركيز في التجربة تم بدون الحاجة إلى الأكسجين لذلك لا يتطلب إنتاج ATP توفر الأكسجين.

السؤال 4 : هذه العملية لا تشبه التخمر وإنما تشبه التنفس في كيفية إنتاج الطاقة القابلة للاستعمال (ATP) لأن التخمر لا يتطلب استعمال الإنزيم ATP Synthase لإنتاج ATP ولا يتطلب تكوين فرق في تركيز البروتونات. لذلك فإن هذه العملية تشبه أكثر إنتاج الطاقة القابلة للاستعمال (ATP) في التنفس.