SALiS
Student Active Learning in Science

تعلّم الطلاب الفعّال في العلوم

تقنيّات تجريبيّة منخفضة التكلفة لتدريس العلوم

- دليل معلّم العلوم -

Developed as part of the project

SALiS – Student Active Learning in Science

by

Nicole Poppe

Silvija Markic

Ingo Eilks

Translated by:

Saleem Zidani

Muhammad Hugerat

Ahmad Basheer

European Commission
TEMPUS

##511275-TEMPUS-1-2010-1-GE-TEMPUS-JCPR (Agreement ,2010-33821/001-001)

© Nicole Poppe, Silvija Markic, Ingo Eilks

University of Bremen – Institute for Education of Natural Science

Funded through the TEMPUS Program of the EU: SALiS *Student Active Learning in Science*##511275-TEMPUS-1-2010-1-GE-TEMPUS-JCPR (Agreement ,2010-33821/001-001)

مقدمة

دعم الاتحاد الأوروبي، بين العامين 2010 - 2012، وضمن برنامج تمبوس، مشروع ساليس في المؤسّسات الشريكة العشر من ستّ دول وهي: جورجيا، ألمانيا، إيرلندا، بلغاريا، مولدافيا وإسرائيل.

ساليس يعني تعلّم الطلاب الفعّال في العلوم. يهدف هذا المشروع إلى تعزيز قدرات الطالب القائمة على التعلّم التجريبيّ الفعّال والبحوث في المواضيع العلميّة. لهذا الغرض، وضعت وحدات التعليم والتدريب لمعلمي العلوم وتمّ تطبيقها كجزء من مشروع ساليس. بالإضافة إلى ذلك، يتمّ تطوير موارد التعليم والتدريب لتتلاءم مع طريقة التدريس المذكورة أعلاه.

يحتوي هذا الدليل على تعليمات لاستخدام تقنيّات تجريبيّة متعددة، ومنخفضة التكاليف لتدريس العلوم. تتمّ التجارب منخفضة التكلفة باستخدام المعدّات والموادّ الكيميائيّة المستعملة في الحياة اليوميّة التي يمكن العثور عليها في محلات البقالة، الأدوات المنزليّة، المعدّات الطبيّة وغيرها. وبالتالي، فهي متوفّرة في كلّ مكان وبتكلفة منخفضة. كذلك، فإنّها تأخذ في الاعتبار عوامل مثل التلوّث المنخفض والتجريب الآمن.

يمكن للتقنيّات التجريبيّة منخفضة التكلفة في صفّ العلوم أن تساعد على خفض التكاليف، وتقليص المخاطر، والتخفيف من تكاليف التخلّص من التلوّث. هذا يؤدّي إلى إجراء تجارب متعدّدة أكثر في الفصول الدراسيّة، خاصّة في النهج الذي يتمحوّر حول الطالب.

نتمنّى لكم المتعة والنجاح في استخدام التقنيّات التجريبيّة منخفضة التكلفة في مجال تأهيل المعلّمين والتدريس.

إنغو آيلكس وماريكا كبنادسي

منسقا مشروع ساليس

جدول المحتويّات

صفحة

1	مصطلحات	4
2	الحدّ من التكاليف والآثار البيئيّة الناجمة عن نهج الميكروسكيل	9
3	التجارب بالموارد التي تعتمد على الهندسة الطبيّة وحانوت الأكواريوم	12
4	تجارب في أطباق بتري وصحون	19
5	تجارب في التعبئة والتغليف المنزليّ	23
6	تجارب مع زجاجات من البلاستيك	27
7	محلات تطوير المساكن كمصدر لمعدّات التجارب	31
8	معدّات للتجارب من محلات متخصّصة بالإلكترونيات	36
9	بدائل أقلّ تكلفة للبحث الكمّيّ	41
10	تجارب من الموادّ الموجودة في المنزل	45
11	نهج منخفض التكلفة لإجراء تجارب بيولوجيّة	51
	قائمة المراجع	55

1. مصطلحات

التجارب هي جزء أساسيّ من التفكير والعمل في مجال العلوم (Eilks وآخرون، 2004). لا يمكن البحث في العلوم أو الهندسة دون إجراء التجارب. هذا صحيح في مجال العلوم كما هو الحال عند تنفيذه لاحقًا في الهندسة والصناعة. وعمومًا، التجارب هي جزء من تدريس العلوم (Ferdinand، 2007).

تساعد التجارب على متابعة وفهم العلوم. يمرّ الطلاب بالتجارب العلميّة الفريدة من نوعها، وهذا يعني طرح الأسئلة، واشتقاق الفرضيّات وجعل الطبيعة تردّ من خلال التجارب والملاحظات (Eilks وآخرون، 2004). ومع ذلك، فالتجارب تساعد أيضًا على تطوير المهارات اليدويّة، توضيح النظريات المجردة ، تعزيز التفكير وحل المشاكل (Bradley، Durbach، Bell وMungarulire، 1998). توفّر القيمة المتأصلة في تجارب العلوم الراحة في النشاطات الصفّيّة وتشكّل محفّزًا للطلاب (Kranz، 2008).

ومع ذلك، ترتبط التجارب دائمًا في العلوم بتكلفة. صفوف لأكثر من 30 طالبًا بسرعة تتراكم التكاليف الماليّة إذا قام الطلاب بإجراء التجارب، بالإضافة إلى الشرح والإيضاح. يرتبط الحصول على معدّات المختبرات التقليديّة لصفّ كامل بتكاليف باهظة. المعدّات التي تنكسر لا بدّ من استبدالها بشكل منتظم. لا تشير النفقات الماليّة الإضافيّة فقط إلى ما يلزم من معدّات ولكن إلى الموادّ الكيميائيّة واللوازم الاستهلاكيّة أيضًا. عند إجراء التجارب مع الطلاب، لا بدّ من توفير الموادّ الكيميائيّة اللازمة والاستهلاكيّة، وبعد ذلك التخلّص منها، وفقًا لكلّ مجموعة من الطلاب. من الواضح أنّ هناك تكاليف مرتبطة مع هذا الإجراء أيضًا. بالإضافة إلى التكاليف الماليّة، فإنّ إنتاج التلوّث هو ناتج سلبيّ من التجارب في صفّ الكيمياء.

وهكذا، فإنّ التجارب التقليديّة مرتبطة بأعباء متعدّدة. هذا ليس فقط في البلدان الأقلّ تطوّرًا، بل في البلدان الصناعيّة أيضًا. في هذه البلدان كذلك، يُلاحظ أنّ ميزانية تدريس العلوم قد تقلّصت، في الوقت

نفسه، زادت أعباء كثيرة بسبب قوانين ذات صلة بالمخاطر والموادّ الخطرة. لهذا أصبحت معدّات المختبرات التقليديّة التي كانت شائعة جدًّا في المدارس أقلّ شيوعًا في الوقت الحاضر. ونتيجة لذلك، يتمّ الآن تدريس العلوم في كثير من الأحيان في فصول دراسيّة تقليديّة (Bradley وآخرون، 1998). هذا يؤدّي إلى فرض المزيد من القيود في إجراء تجارب كلاسيكيّة وتقنيّات تجريبيّة تقليديّة.

وهكذا، يتعيّن على المرء أن يكون على بيّنة من حقيقة أن ترتبط كلّ تجربة ببعض المخاطر. هذا صحيح بالنسبة لتجارب الكيمياء التقليديّة على وجه الخصوص نظرًا لكميّات أكبر، والتي يجري العمل بها. كذلك، يشير Obendrauf (2006) إلى أنّ الأواني الزجاجيّة حتى البسيطة مثل أنابيب الاختبار والأكواب يمكن أن تشكّل خطرًا نتيجة الزجاج المكسور. مخاطر مثل هذه تزداد حسب الفرق بين ملامح الصفوف الدراسيّة الفرديّة والمختبر العاديّ.

في هذا الصدد، تقدّم التجارب منخفضة التكلفة البدائل. ففيها المعدّات أرخص، ويمكن الحصول عليها بسهولة أكثر بدلًا من معدّات باهظة الثمن. المعدّات والموادّ الكيميائيّة من حياة كلّ يوم منخفضة التكاليف ومتوفّرة في كثير من الأماكن. أحد الجوانب الرئيسيّة لهذا المبدأ هو بساطته والنظرة العامّة الحسنة نحوالأدوات المستخدمة (Schwan، 2005). إنّ استخدام معدّات التجارب البديلة فضلا عن نوعيّة وجودة الموادّ الكيميائيّة المستخدمة يؤدّي إلى تخفيض التكلفة (Bradley وآخرون، 1998). في الوقت نفسه، يتمّ استبدال المعدّات الخطرة، وكذلك الموادّ الكيميائيّة ببدائل أكثر أمانًا.

وكثيرًا ما يستخدم مصطلح "توفّر التجربة" كمرادف للتجربة منخفضة التكلفة في اللغة الألمانيّة، وتعريفها على النحو التالي:

> "... التجربة التي يمكن أن تُجرى باستخدام أشياء من الحياة اليوميّة، أو بسهولة استخدام أجهزة من صنع ذاتيّ" (Eckert، Stetzenbach وJodl، 2000، ص 4).

تعريفات أخرى تشدّد أكثر على التجارب بدلا من تعريف المعدّات:

> "تأثيرات مدهشة، ذكيّة ولا تنسى، تمّت دون إنفاق كبير، وبدون المعدّات التي تلقي الظلال دون التركيز على الهدف الرئيسيّ - وهذا هو المثل الأعلى لتوفّر التجربة" (Kircher، Girwidz وHäußler، 2001، ص 283.).

بهذه الطريقة، فإنّ التكلفة المنخفضة أو توفّر التجربة يسير حسب استراتيجيّات مختلفة تمامًا. التقنيّة الهامّة، وخاصّة للأغراض الكيميائيّة، هي التقليل من الموادّ الكيميائيّة المستعملة. بعد هذا النهج، ينقل Bader(2003) فكرة الكيمياء المستدامة لممارسة التجارب في تعليم العلوم. هنا، مفهوم الاستدامة يعني أنّه من المفترض في تعليم العلوم الاعتماد على الإدارة السليمة بيئيًّا للموادّ الكيميائيّة والتخلّص منها بشكل سليم. أفضل طريقة للحفاظ على الموارد وتجنّب التلوّث وكذلك تجنب مشاكل المهملات هو استخدام المواد الكيميائيّة بكمّيّات صغيرة، أقلّ خطرًا وأقلّ سمومًا. وهكذا، تمّ بالفعل في الثمانينات، تطوير فكرة "كيمياء الميكروسكيل" (Singh وSzafran، 2000):

> "كيمياء الميكروسكيل ترتكز في المختبر، آمنة بيئيًّا، ونهج منع التلوّث يتمّ باستخدام الأواني الزجاجيّة المصغّرة وكميّات منخفضة جدًّا من الموادّ الكيميائيّة" (Singh، Szafran وPike، 1999، ص. 1684).

من المفترض أن تحلّ تجارب الميكروسكيل مشاكل التخلّص من التلوّث. علاوة على ذلك، من المفترض أنّها تحدّ أيضًا من المخاطر المحتملة في التعامل مع الموادّ؛ لأنّه يتمّ استخدام كمّيّات أقلّ بكثير من الموادّ الكيميائيّة في هذه التجارب (Wood، 1990). يتمّ تخفيض المعدّات والموادّ قدر الإمكان دون المساس بالدّقّة (Black وLutz ، 2004). وبالتالي، فإنّ هذا النهج يعرض مجموعة متنوّعة من المزايا (Pike، 2006):

- تخفيض تكلفة الموادّ الكيميائيّة.

- الحدّ من التعقيد وتكاليف التخلّص منها.
- الحدّ من التعرّض للموادّ السامّة المحتملة.
- احتمال مخاطر أقلّ للحوادث.
- وقت أقصر للتفاعل.
- الحدّ من الوقت أثناء عمليّات التسخين والتبريد.
- الحدّ من المساحة المطلوبة لتخزين الموادّ الكيميائيّة.
- تحسين جودة الهواء في المختبرات.
- ...

الطريقة	كميّات المواد الكيميائيّة المستخدمة	
	صلب	سائل
تقنيّات كبيرة (ماكرو)	> 0,1 g	> 5 ml
تقنيّات شبه كبيرة	0,01 – 0,1 g	0,5 – 5 ml
تقنيّات صغيرة (مايكرو)	0,001 – 0,01 g	0,05 – 0,5 ml
تقنيّات صغيرة جدا	< 0,001 g	< 0,05 ml

جدول 1.1: تصنيف طرائق التجريب حسب كميّة الموادّ الكيميائيّة (**Pfeifer** وآخرون، 2002).

وهكذا، يمكن تخفيض عدد وافر من الموادّ الكيميائيّة في التجارب الكيميائيّة من عدّة ملليلترات تقليديًّا إلى مايكرولترات قليلة في السوائل أو من عدّة جرامات إلى ملليغرامات قليلة في الموادّ الصلبة (Singh

وSzafran، 2000). في هذه الحالة، يتحدّث الفرد عن الانتقال من تقنية الماكرو إلى شبه الماكرو، إلى المايكرو والأصغر منه (Pfeifer وآخرون، 2002؛. تاب 1.1).

فتقنيّة المايكرو أو شبه المايكرو على وجه الخصوص ملائمة جيّدًا لتدريس العلوم في المدارس وكليّات التربية. بشكل عامّ، يتمّ تقليص كميّة الموادّ الكيميائيّة المستخدمة في التجارب بمضاعفات الرقم 10 حسب مبدأ الميكروسكيل، حيث يمكن للتقليص أن يصل إلى 100 ضعف (Singh وSzafran، 2000). التقليص المذكور ينطبق على كلّ من كمّيّة الموادّ التي أنفقت، وكمّيّة الموادّ التي يتمّ التخلّص منها. كالمطلوب أصلا، تصبح التجارب في مختبرات الجامعات والصناعة أقلّ خطورة، وأكثر صديقة للبيئة، وأكثر فعّاليّة من حيث التكلفة. وهكذا، فإنّ مبدأ التكلفة المنخفضة حسب Latzel (1989) يضمن أنّ التجارب في مجال تعليم العلوم لن تواجه بالفشل بسبب التكلفة العالية.

بغض النظر عن كمية الموادّ الكيميائيّة، ففي التجربة منخفضة التكلفة يتمّ استبدال الطرائق التقليديّة واستخدام المختبر. هنا، يتمّ استخدام موادّ من البيت للتجارب العلميّة في المدرسة. ومن الأمثلة على ذلك الحاويات من البيت، مثل الأواني والجرار والأوعيّة، أو العبوات البلاستيكيّة القديمة. ومع هذا، يتمّ استخدام موادّ كتلك الفضلات من الهندسة الطبيّة، أو التي توجد في حوانيت موادّ البناء والأدوات المنزليّة، محلّات الأكواريوم أو متاجر الإلكترونيّات. حسب Obendrauf (2004)، التقليل إلى أدنى حدّ من المعدّات إلى جانب استخدام الموادّ غير المكلفة لديها إمكانات توفير مضاعفة. وهكذا، فإنّ إمكانيّة وزيادة الاستخدام تزداد تواترًا ومرونة. Schwarz وLutz (2004) وWood (1990) يصفون فوائد استخدام الأجهزة البديلة كما يلي:

- تخفيض التكاليف من خلال استخدام الموادّ المأخوذة من الهندسة الطبيّة، حوانيت موادّ البناء والأدوات المنزليّة، متاجر الإلكترونيّات أو الاستخدام اليوميّ.

- توفر الموارد بأعداد كبيرة نظرًا لسعر الشراء المنخفض. وبالتالي، فمن الممكن إجراء التجارب كلّها تقريبًا في مجموعات صغيرة من الطلاب.
- الحدّ من المخاطر بالمقارنة مع الأواني الزجاجيّة التقليديّة نظرًا لانخفاض خطر الكسر.
- يحتاج المعلّمون إلى وقت أقلّ للإعداد والتجهيز.
- تزايد الحراك؛ لأنّه يمكن نقل المعدّات واستخدامها دون قيود؛ ليس من المطلوب تجهيز مختبرات خصّيصًا لذلك.
- يمكن للتجارب أن تعطى كوظائف بيتيّة.

كما نستبدل معدّات المختبر التقليديّة، يمكن استبدال الموادّ المستخدمة أيضًا. تجارب مع الطعام والمنظّفات والموادّ الكيميائيّة المنزليّة أو الموادّ الصلبة المتوفّرة في المطبخ والمرآب تكمل التقنيّات المذكورة أعلاه. هذه الموادّ ليس فقط يمكن شراؤها في محلات السوبر ماركت، والمتاجر ومحلات موادّ البناء أو الصيدليّات بتكلفة منخفضة، بل يمكن التعامل معها ونقلها بشكل أسهل. بالإضافة إلى ذلك، فإنّ التعامل مع هذه الموارد أكثر تحفيزًا، حيث إنّ الطلاب يعملون مع موادّ تلعب دورًا في حياتهم.

عمومًا، إنّ المبادئ المذكورة مثاليّة لتعزيز عمليّة التجريب والتعلّم الفعّال بين الطلاب (Joling، 2006).

2. الحدّ من التكاليف والآثار البيئيّة المترتّبة عن تجارب الميكروسكيل

في الثمانينات والتسعينات، بوشر العمل بنهج تجارب الميكروسكيل في الجامعات. القصد من طقم أدوات الميكروسكيل هو تسهيل التجارب وفقًا لمبدأ الميكروسكيل (du Toit و du Toit ، 2006). وقد تحقّق ذلك من خلال تقديم مجموعة كاملة من الأدوات الزجاجيّة التي كانت مطابقة. مع هذه الأطقم، تتمّ تفاعلات بكمّيّات صغيرة في حجر تفاعل ملائمة.

بعد فترة وجيزة، تمّ وصف تجارب مدرسيّة مناسبة، حيث تمّ تقديم أطقم ميكروسكيل للمدارس بشكل متزايد. ومن الأمثلة على ذلك طقم ويليامسون، طقم الأواني الزجاجيّة ACE للميكروسكيل، وجهاز كيم-برو، وطقم الأواني الزجاجيّة الصغيرة وفقًا لـ Baumbach أو المختبر البسيط (Schallies، 1991).

عند هذه النقطة، يتمّ تقديم المختبر البسيط (زينسر التحليلي، 2011) كمثال. يحتوي المختبر البسيط على مجموعة متنوّعة من الأنابيب الأسطوانيّة مسطّحة القاع (الشكل 2.1). أوعية التفاعل سعتها 24 مل. بسبب القاع المسطّحة، من الممكن إدخال الموادّ الكيميائيّة مباشرة، حوامل دعم خاصة، وأخرى ثلاثيّة القوائم ليست ضرورية. مركّبات من حاويات مختلفة موصلة ببراغٍ تمّ استخدامها بسهولة بالغة. بالإضافة إلى ذلك، هناك حاجة إلى بعض الكتل المعدنيّة أو موازين حرارة مناسبة لأغراض التدفئة (Schallies، 1991).

مثال لتوضيح استخدام المختبر البسيط. الشكل 2.1 (يمين) يظهر أداة التقطير التقليديّة ونموذج للمختبر البسيط. جهاز التقطير للمختبر البسيط يستخدم وعاء تقطير بسعة 24 مل. Schallies و Schilling (1991) يقترحا تقطير سائل بحجم 10 مل. باستخدام هذا العيار، يمكن استخلاص حوالي 1 مل من الكحول من النبيذ على سبيل المثال. يتمّ تقليل مخاطر محتملة مع تلك الكمّيّات وكذلك تكاليف الموادّ

الكيميائيّة الهامّة أو تكاليف التخلّص منها. في جهاز تقطير تقليديّ عادة، يمكن صبّ ما يصل إلى 200 مل من السائل في قارورة التقطير. يقلّل هذا النظام من كمّيّة الكيماويّات المستخدمة، وإمكانيّة التلوّث الناتج نحو 20 مرّة.

الشكل 2.1: جهاز التقطير في المختبر البسيط مع معدّات تقليديّة للمختبر

استخدام أطقم الميكروسكيل، مع ذلك، ليس له فوائد فقط. وهكذا، Sing وSzafran (2000) وصفا أنّه مع تخفيضات حادّة، يجب الأخذ بعين الاعتبار خسائر محتملة بسبب بلل جدران الأوعية. علاوة على ذلك، بعض رأس المال الأوليّ ضروريّ لتحويل مواردّ المختبر. وهكذا، فإنّ تكلفة شراء معدّات المختبرات

وفقا لمبدأ كيمياء الميكروسكيل هو حوالي 120 € لكلّ إجراء (Sigma-Aldrich، 2011). من الممكن موازنة تكلفة الشراء عن طريق خفض تكاليف التأمين، والموادّ الكيميائيّة والتخلّص منها على المدى الطويل. على سبيل المثال، Sing وSzafran (2000) ذكرا أنّ تكاليف الاستثمار المطلوبة في مجال الجامعات يعتمد على فترة تدريب من 6 أشهر إلى سنتين. مع ذلك، فإنّ تكلفة الاستثمار الأوليّة لا يمكن تجاهلها، ويجب إعادة طلب الأجزاء التالفة، أو المفقودة بشكل منتظم.

هكذا، في السنوات القليلة الماضية بدأ البحث عن بدائل أرخص لأطقم الميكروسكيل التجاريّة. إنّها تجمع بين فكرة نهج أطقم الميكروسكيل ومبدأ المعدّات التجريبيّة منخفضة التكلفة. هنا يتمّ استبدال مختبر الأواني الزجاجيّة التقليديّة وأواني الميكروسكيل الزجاجيّة ببدائل أقلّ تكلفة. غالبًا ما تكون هذه مصنوعة من البلاستيك. فهذا أرخص، ويمكن الحدّ من مخاطر كسر الزجاج.

ومن الأمثلة على ذلك "طقم رادماست"، حسب Bradley (2006)، الذي وجد أوّل استخدام لها في جنوب أفريقيا. هذا الطقم متوفّر في أنواع مختلفة، على سبيل المثال: "طقم رادماست الأساسيّ للعلوم الدقيقة"، "طقم رادماست الأساسيّ للكيمياء الدقيقة"، " طقم رادماست لبيولوجيا الميكروسكيل" وغيرها (شكل 2.2، جهاز رادماست للعلوم الدقيقة 2010).

الشكل 2.2: طقم رادماست للمياه (صورة: www.radmaste.org.za)

على غرار العروض المتاحة تجاريًا، يمكن للمدرسين إنتاج هذا بأنفسهم. كؤوس إيبندورف، ونظّارات غطاء قابل للسحب، صحون بلاستيكيّة وأكثر من ذلك بكثير هو بمثابة حجر تفاعل للميكروسكيل. ينشأ الربط والتحويل من الهندسة الطبيّة التي تسمح بتركيب أجهزة أكثر تعقيدًا. وسوف تُناقش الأمثلة في الفصول التالية.

3. التجارب مع الموارد في الهندسة الطبيّة والأحواض المائيّة

هناك مشكلة عامّة مع التجريب في صفوف الكيمياء هي التحضير الذي يستغرق وقتًا طويلا وجودة المعدّات. غالبًا ما تكون مثل هذه المعدّات مصنوعة من الزجاج. هذا الزجاج مكلف، ويمكن أن ينكسر بسهولة. لذلك، فإنّه يمثّل مصدرًا محتملا للخطر على الطلاب، ويجب أن يتمّ استبداله عندما يتضرّر، ممّا يمكن أن يرتبط هذا بتكاليف عالية (von Borstel وBöhm ، 2004).

الشكل 3.1: توصيلة **Luer-Lock** الشكل 3.2: محول: الأعلى: "أنثى-أنثى" والأسفل: "ذكر-ذكر"

هناك طائفة واسعة من المعدّات الطبية مأخوذة من الهندسة الطبيّة أو أعمال الحوض المائيّ التجاريّة يمثّل بدائل للأجهزة المخبريّة التقليديّة. يتمّ إنتاج الحقن والقنيات ومحابس القطع، وأنابيب وأكياس الضخ وبكميّات كبيرة في العلوم الطبيّة. وهكذا، يتمّ تسعيرها وفقًا لذلك. مع ذلك، الخراطيم، والمضخّات والموزعون المستخدمة في أعمال الحوض المائيّ (الأكواريوم) توفّر مجموعة متنوعة من المعدّات لأغراض التجارب العلميّة الطبيعيّة. كما أنّها غالبا ما تكون مصنوعة من البلاستيك أو المطاط لتكون أكثر مرونة. ونظرًا لحجمها، غالبًا ما تكون مناسبة جدًّا لتجارب الميكروسكيل، وبشكل خاص تكون

مناسبة لتجارب الهندسة الطبيّة مع السوائل والغازات، إذ غالبًا ما يتمّ تطوير هذه الأجهزة لإدارة وصرف السوائل. وبالتالي، هناك أنظمة خاصّة مخلب، خاصّة في النظام أو الأنبوب الأنبوب قفل-(الشكل 3.1). وقد وضعت هذه الأنظمة كنظام مزيج من العناصر الفرديّة في الهندسة الطبيّة.

توصف عادة عناصر التوصيل "ذكر - أنثى". وفقًا لمبدأ luer، يتمّ تركيب الموصلات معًا. وحسب مبدأ luer-lock، هناك حاجة لنظام إضافيّ كجهاز تأمين وإغلاق (Brand، 2010؛ الشكل 3.1). هكذا، يمكن أن يكون الوصل بسهولة وأمان، والغاز محكم دون انزلاق أثناء التجربة. بما أنّ التوصيلات الممكنة تكون عادة "ذكر" - "أنثى"، إلا أنّ هنالك محوّلات إضافيّة تجعل توصيلات "أنثى" - "أنثى" و "ذكر" - "ذكر" ممكنة أيضًا (الشكل 3.2).

مجموعة أكثر تنوعًا في الهندسة الطبية هي الحقنة المعدّة للاستعمال لمرّة واحدة. لديها أسطوانة شفّافة مع قراءة جيدة للتدريج، وهي واقية من التلطّخ.

الشكل 3.3: محاقن التخلّص كبديل للسحّاحة

المحاقن متوفّرة في أشكال وملمس مختلفة. تختلف الأحجام من 1 مل محاقن الأنسولين إلى أشكال مختلفة ذات سعة 50 مل. إن محاقن الأنسولين هي لجرعات من كمّيّات صغيرة. على وجه الخصوص، الشحن والتفريغ البطيء ممكن مع هذه الحقن.

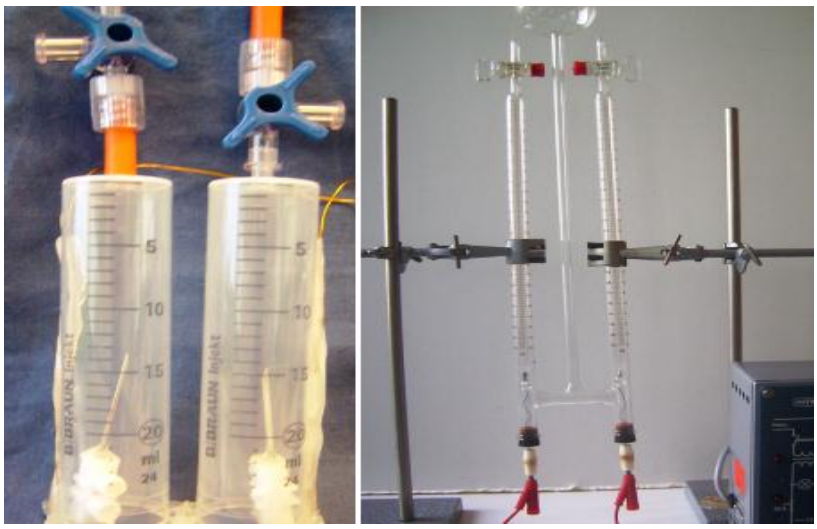
على سبيل المثال، يقترح المرصفي (2004) المحاقن الطبيّة كبديل للماصّات والسحّاحات في معايرة الميكروسكيل (الشكل 3.3). عند استخدام المحاقن كبدائل للسحّاحة، يجب ملء السوائل في الحقنة دون أيّ فقاعات الهواء. لهذا الغرض، أولا يتمّ أخذ بعض السائل بالحقنة، ومن ثمّ ضغطها خارجًا من جديد. إذا تمّ تكرير هذه العمليّة عدّة مرّات، من الممكن ملء الحقنة بعبوة خالية من الفقاقيع.

مكبس الاعتراض، الذي هو جزء من جميع المحاقن، له ميزة كبيرة مقارنة مع حقنة الغاز. وبهذه الطريقة، يتمّ ضمان القدرة على التعبئة إلى الحدّ الأقصى. ثمّ مرّة أخرى، بعد استخدام الحقنة عادة ما يتبقّى فيها الحدّ الأدنى من الحجم.

إنّ استخدام الحقن يعتمد إلى حدّ كبير على طبيعة مكبسها. مكابس الحقن عادّة ما تكون مع أو بدون حلقات لمنع التسرّب. وتتميّز هذه الحقن باحتوائها على حلقة مفردة أو مزدوجة (الشكل 3.4).

الشكل 3.4: المحاقن بدون أو مع حلقة مانعة للتسرّب بسيطة أو مزدوجة

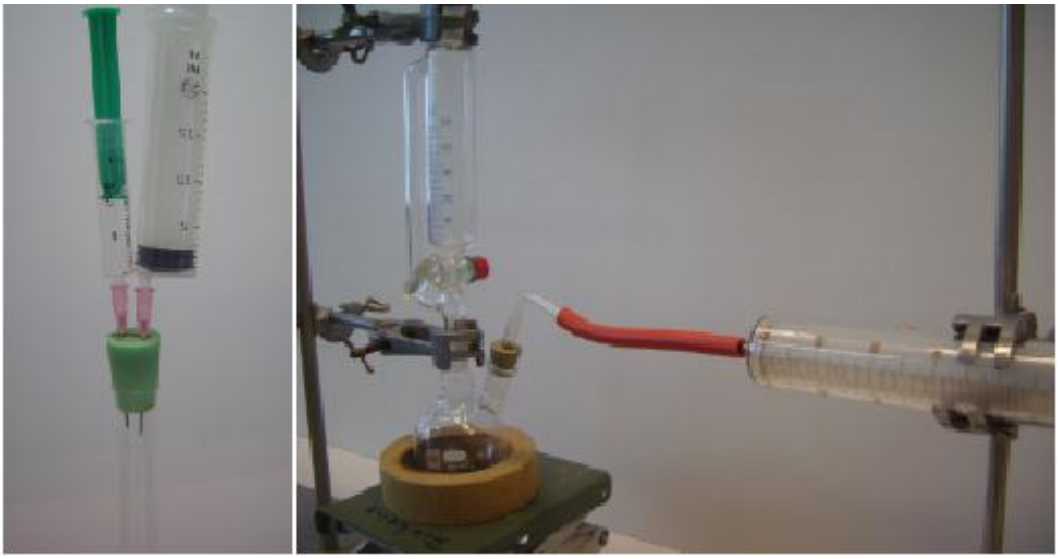
المحاقن التي لها مكبس مع حلقات مزدوجة تكون كثيفة جدًّا، ويمكن تركيبها في جهاز غاز محكم. ومع ذلك، إذا تمّ استخدام الغازات، التي يمكن أن تجعل سدّاد المطاط يتضخّم (على سبيل المثال غاز الكلور)، ينبغي استخدام حقن مع سدّاد مطاطيّ بسيط. الحقن دون السداد الدائريّ مناسبة تمامًا لجرعات السائل.



الشكل 3.5: مقارنة جهاز هوفمان مصنوع من عناصر الهندسة الطبيّة وآخر مصنوع من الزجاج.

تتنوّع على نطاق واسع إمكانيّات استخدام الحقن. على سبيل المثال، von Borstel و Böhm (2006) اقترحا بناء فولطامتر هوفمان باستخدام المحاقن (الشكل 3.5). في النسخة منخفضة التكلفة من التجربة التي تمّ وصفها، تظهر إعادة بناء مثالين لفولطامتر هوفمان باستخدام الحقن الطبيّة المستعملة لمرّة واحدة. خلال ذلك، يتمّ استخدام قنيات الحقن كأقطاب كهربائيّة. علاوة على ذلك، يتمّ استخدام اثنين من محابس الحنفيات المهندسة طبيًّا فضلا عن قطعتين قصيرتين من الأنابيب (على سبيل المثال من

حانوت أحواض السمك) لإخراج الغاز المتبخّر. يتمّ توصيل الأقطاب الكهربائيّة إلى أسلاك نحاسيّة بمساعدة شرائط طرفيّة. هذه بدورها يتمّ توصيلها مع بطاريّة مسطّحة من أجل البدء في تفاعل التحليل الكهربائيّ (الكتروليزا). تكلفة الموادّ المستخدمة حوالي 3 € في النسخة منخفضة التكلفة، بينما تصل التكاليف الى 70 €، وفقًا Neubert Glas (2011).



الشكل 3.6: أداة منخفضة التكلفة لتطوير معدّات غاز مختبريّة عاديّة

مع ذلك، فإنّ تركيب واستيعاب الغازات من قبل *Obendrauf* (2006) راسخة كذلك (الشكل 3.6). كانت التكلفة العاديّة 80 € لكلّ أداة تجريبيّة من الأواني الزجاجيّة التقليديّة لتطوير الغاز (*Mercateo*، *2011*؛ *NeubertGlas*، *2011*؛ *Omikron*، *2004*). في النسخة منخفضة التكلفة من التجربة من قبل *Obendrauf* (2004، 2006)، كان مطلوبًا مطوّر الغاز منخفض التكلفة فقط، والذي يمكن بناؤه بواسطة أنبوب اختبار، وحقنة 2 مل دون المحبس الدائريّ، عدّة حقن حجم 20 مل مع محابس دائريّة مزدوجة، قنيتين وسدّادة مطاطية ناعمة. يمكن شراء الموادّ بنحو 1.50 € لكلّ أداة اختبار (*Mercateo*، *2011*). السدّادة المطاطيّة الناعمة، التي تمّ خرقها باثنتين من القنيات، تمّ وضعها على أنبوب اختبار عاديّ،

وسيتم وضع حقنتين بحجم مل 2 و 20 مل على القنيات. تستخدم الحقنة 2 مل للسماح للسوائل بالتنقيط في الأنبوب، في حين يتمّ جمع الغاز المتبخّر في حقنة 20 مل. في مطوّر الغاز منخفض التكلفة، يمكن تكوين غازات كثيرة. الجدول 3.1 يبيّن بعض الأمثلة على الاستخدام.

ليس فقط الحقن، بل أيضًا القنيات المرتبطة بها يمكن استخدامها في التجارب. تمامًا مثل الحقن فإنّ القنيات تتوفّر أيضًا بأحجام مختلفة. يكمن الفرق في طول وقطر إبرة الحقنة. يمكن ربط القنيات إلى الحقن ذات الأحجام المختلفة عبر نقطة الوصل. رأس القنية يشكّل خطورة محتملة لإصابة الطلاب وينبغي قطعه بقطّاعة أسلاك قبل التجريب. في القيام بذلك، من المهمّ التأكّد من أنّ قناة القنية لم يتمّ سحقها.

الغاز المتكوّن	المادّة في أنبوب الاختبار	السائل المضاف	ملاحظات
كلور	مسحوق *Kaliumper* المغنطيسيّ	حامض هيدروكلوريك مركّز	استخدام حقنة مع حلقة مانعة للتسرّب بسيطة
أمونياك	كلوريد الأمونيوم، هيدروكسيد الصوديوم-البسكويت والمياه المقطّرة	-	يجب تسخين أنبوب الاختبار من أجل البدء في التفاعل
هيدروجين	الزنك المحبحب، كبريتات النحاس-مخففة	حامض هيدروكلوريك مركز	-

الجدول 3.1: إمكانيّات تطبيق مطوّر الغاز بتكلفة منخفضة

وفقا لـ Brand (2010)، يمكن للقنيات توفير سقوط أكثر دقّة. أيضًا، استخدام القنيات كبديل للأقطاب هو ممكن وفقا لـvonBorstel وBöhm (2006). الأهمّ من ذلك هو أنّه يمكن ادخال القنيات بسهولة في سدّادات المطّاط، وبالتالي، فإن تبادل السائل أو الغاز هو ممكّن مع دائرة تفاعل مغلقة. تجدر الإشارة إلى

أنّه عندما يتمّ وضع قنية من خلال سدّادات المطّاط يمكن في بعض الأحيان أن يسبّب انسدادًا بسيطًا بالموادّ.

الشكل 3.7: أكياس البول

الشكل 3.8: صمّام ثلاثي الفتحات من الهندسة الطبيّة

هناك أيضًا أجزاء أخرى كثيرة من أجهزة الهندسة الطبيّة التي يمكن استخدامها. هكذا، يمكن استخدام أكياس البول (الشكل 3.7) كحاويات لجمع الغاز أو السائل، حيث تربط بها خراطيم وصمّامات متعدّدة الفتحات (الشكل 3.8). Brand (2010) وvonBorstel وBöhm (2006) يشيرون إلى اقتراحات لاستخدام هذه الصمامات. حيث يمكن استخدامها كبدائل لإزالة الغازات من معدّات الاختبار. وفي هذا السياق، يمكن استخدام أنابيب وحقائب الإشراب أيضًا. أنابيب الإشراب بمثابة بدائل لأنابيب السيليكون التقليديّة، في حين يفضل استخدام أكياس البول والحقن (انظر الشكل 3.7) لجمع أو تخزين الغازات. وبالتالي، يتمّ بسهولة إنشاء أنظمة مختلفة لجمع السوائل والغازات. يمكن بسهولة استبدال معدّات مختبر مكلفة ببدائل من الهندسة الطبيّة.

الشكل 3.9: *ChemZ* حقيبة الطالب

تناسب بشكل خاصّ المنتجات الطبيّة التي تستعمل لمرّة واحدة لتنفيذ تجارب الميكروسكيل. ويظهر ذلك من خلال مثال من عدة ميكروسكيل تامّة، حقيبة *chemZ*، التي تتألّف بشكل كامل من هذه الموادّ (*vonBorstel*، *2009*؛ الشكل 3.9). حقيبة الطالب *chemZ* تحتوي على محبس متعدّدة الفتحات، وعدّة حقن من مختلف الأحجام والخصائص، وثمانية صمّامات ثلاثيّة، اثنين من أنابيب التمديد، مسبارين لملء وإعادة تعبئة السوائل، عشر سدّادات، ومجموعة متنوّعة من أنابيب الانغلاق والمحوّلات والموصلات.

مجموعة متنوّعة من معدّات مأخوذة من الهندسة الطبيّة متوفّرة في الصيدليّات أو المحلات التجارية على الإنترنت، مثل صيدليّة الإنترنت في *Wolfsanger* (2006)، أو في *Mercateo* الشحن التجاري (2011). الجدول 3.2 يلخّص التكلفة التقريبيّة للموادّ اللازمة في الهندسة الطبيّة

السلعة	الحجم	الكمّيّة	التكلفة
حقنة بدون محبس دائريّ	2 ml	100	2,09 €
	10 ml	100	4,54 €

حقنة أنسولين	1 ml	100	12,18 €
حقنة مع محبس دائريّ	10 ml	100	9,86 €
	20 ml	100	13,64 €
	60 ml	60	26,03 €
قنيات	-	100	1,36 €
صمّام ثلاثي الفتحات من الهندسة الطبيّة	-	1	0,95 €
أنبوب الإشراب (0,75 m)	-	1	0,75 €

الجدول 3.2: تكاليف سلع طبيّة تستعمل لمرّة واحدة

مع ذلك، فإنّ محلات الأكواريوم توفّر العديد من البدائل للتجارب في مجال العلوم. فالمضخّات والفلاتر والخراطيم مناسبة، بوجه خاصّ.

المضخات (الشكل 3.10) ضروريّة في أحواض السمك. إنّها تأتي في صيغ مختلفة، ولكنها تتكوّن دائمًا من مضخّة وفلتر. وهناك حاجة إلى مضخّات لتنظيف الماء من جزيئات الأوساخ في حوض الماء، مثل بقايا الطعام. لهذا الغرض، يتمّ امتصاص الماء ويخلط مع الأكسجين، وضخّه مرّة أخرى إلى الحوض. هذه العمليّة أيضًا مناسبة تمامًا لأغراض التجارب العلميّة في المدرسة. بالتالي، يتمّ استخدام مضخّات ماء لتوليد التدفّق المنتظم للهواء، مثل تخمير الكحول في الخل، أو المقارنة بين تشكيل ثاني أكسيد الكربون من الخميرة تحت الظروف اللاهوائيّة والهوائيّة.

الشكل 3.11: أنبوب من سوق الأكواريوم الشكل 3.10: مضخّة أكواريوم

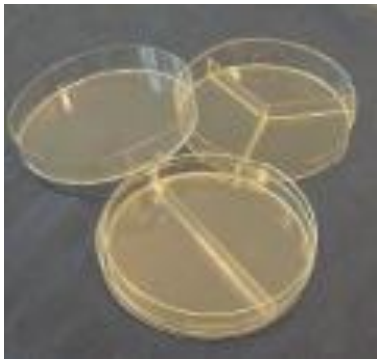
هناك أيضًا مجموعة متنوّعة من المشابك والخراطيم والموّزّعات، ممّا يساعد على توجيه تدفّق الغاز والسائل وتنظيمها. ويمكن استخدام هذه الأنابيب (الشكل 3.11) كبديل أرخص لخراطيم السيليكون في المختبر.

Kappenberg (2011) يشير إلى وجود استخدام واسع النطاق عن طريق إنشاء كروماتوجرافي الغاز بمساعدة مضخّة ماء، وكذلك أنابيب ورابطات ملائمة. للقيام بذلك، تضخّ مضخة الأكواريوم الهواء بشكل منتظم كغاز ناقل من خلال العمود الذي يقع في أنبوب بلاستيكيّ.

المواد المأخوذة من الأكواريوم متوفّرة في حديقة الحيوان، أو محلات أكواريوم محدّدة، وكذلك في المحلات التجارية على الإنترنت. عند شرائها هنا، تكلّف مضخّة أكواريوم حوالي 10-15 € و 2.5 متر خرطوم سعره حوالي 3 €.

4. تجارب بصحون بتري ولوحات السپوت

يمكن إجراء العديد من التجارب العلميّةالتي يتمّ إجراؤها عادة بواسطة أوعية أو كؤوس زجاجيّة أو بأوعية البلورة، بواسطة صحون بتري التي تحتوي على حيّز واحد حتّى ثلاثة (شكل 4.1) أو بواسطة لوحات السپوت البلاستيكيّة (شكل 4.2).



شكل 4.1: صحون بتري

شكل 4.2: لوحات السپوت

يقترح عدد من الباحثين (Schwarz وLutz , 2004؛ Köhler-Krützfeldand Gruvberg, 2000) استعمال ما يسمّى بلوحات السپوت كأوعية لتجارب تفاعلات في السوائل والمحاليل. هذه هي لوحات من البلاستيك التي فيها أكثر من حيّز مختلف السعة.

تمّ اختراع هذه اللوحات أصلًا للاستعمال في التشخيصات الطبيّة، وفي مجال الكيمياء الحيويّة. عندها كانت تُستَعمَل لوحات البلاستيك في تجارب الميكروسكيل العلميّة في جامعة بكين. يحتوي أيضًا "طقم رادماست للكيمياء صغيرة النطاق" ("*RADMASTE advanced microchemistry kit*"، ص11) على لوحات من هذا النوع التي لها 60 حيّزًا.

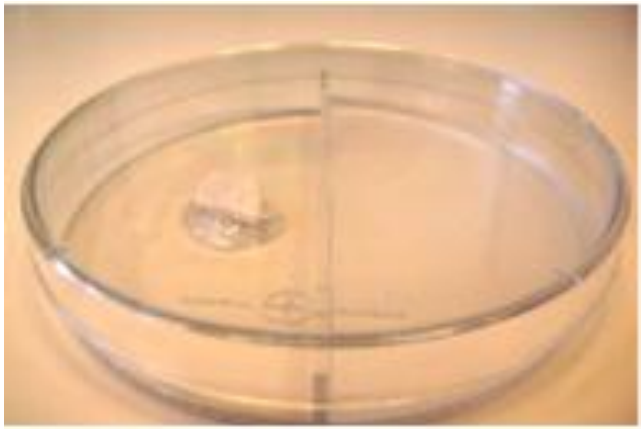
حسب Zhou (2004)، الفائدة من استخدام هذه اللوحات في التجارب هو أنّه يمكن تحويل جميع التجارب الهامّة إلى تجارب الميكروسكيل. لكن لها فوائد أخرى بالذات عند إجراء عدد من التجارب في الوقت نفسه للمقارنة بينها. Schwarz وLutz (2004) ذكرا فوائد أخرى لهذه اللوحات مثل التجارب المتعدّدة التي تتمّ بالتزامن، ويمكن مقارنتها ببعضها. هذا مفيد خاصّةً لتجارب الترسيب، تغيير الألوان والتفاعلات التحفيزيّة، أو للتجارب في المجموعة الكهروكيميائيّة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن إجراء التجارب لفحص احتمال النبات للملح بسهولة وبتكلفة منخفضة.

يمكن سكب 0.5 حتى 5 مل في كل حيّز حسب حجمه. يقلّل استعمال الأوعية البلاستيكيّة بدلا من الزجاجيّة من الخطر في حالة انكسار الزجاج. أسعار لوحات السپوت متعلّقة بحجمها، مثلًا، سعر لوحة ذو 96 حيّزًا هو حوالي 6€، أمّا سعر لوحة ذات 6 أقل من 2€ (Mercateo, 2011). لكن يجب الانتباه أنّه في حالة استعمال المحاليل العضويّة قد تضرّ أوعية البلاستيك.

يمكن استعمال صحون البتري من البوليسترين أيضًا بشكل نافع كحجرة تفاعل في التجارب. سعر 500 وعاء بتري أحادي الحيّز هو حوالي 30€، بينما سعر 500 وعاء بتري المتعدد هو حوالي 60€. إذًا، تكلفة الوعاء الواحد هي بين 5 حتّى 12 سنتًا. أوعية البتري منخفضة التكلفة، سهلة للخزن و مصنوعة من مادّة متينة أكثر من الزجاج. الأكسدة، تفاعلات الترسيب، الاستبدالات الجذريّة والخلايا الجلفانيّة هي فقط بعض الأمثلة لنوع التجارب التي يمكن إجراؤها بأوعية بتري (Full, 1996). يمكن كذلك استعمال صحون بتري لتجارب في عمليّات أو تفاعلات المحاليل المتأثّرة بدرجات الحرارة (Seilnacht 2002)، أو بتخليق الغازات (Choi, 2002).

العديد من التجارب التي يتمّ إجراؤها بأوعية بتري يمكن إجراؤها بلوحات السپوت. سعة وعاء بتري أحادي الحيّز هو 12 مل، بينما سعة الوعاء المقسّم أصغر بالتوافق. يمكن ملء لوحات السپوت حتّى 5 مل حسب الحيّز. هكذا، فكميّة المواد الكيميائيّة التي يمكن استعمالها باللوحات هي أصغر.

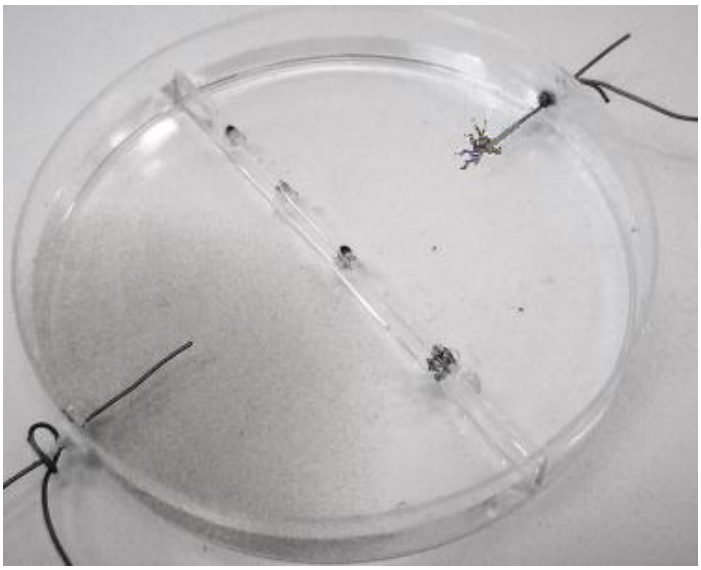
لكن صحون بتري توفّر إمكانيّات أخرى. مثلًا، يمكن استعمالها كحيّز مغلق بواسطة غطاء الوعاء، وهكذا يمكن أن يتمّ تبادل غازي بين حيّزات الوعاء، دون أن يتمّ تبادل مع الغازات من البيئة الخارجيّة. مثال على ذلك في تجربة تخليق وكشف ثاني أكسيد الكربون (Full, 1996). لإجراء هذه التجربة يجب أولًا ملء حيّز من الوعاء بماء الجير، وملء الآخر بقطعة من الرخام المتلامس مع حامض الهيدروكلوريك (شكل



4.3).

شكل 4.3: تخليق وكشف ثاني أكسيد الكربون

بالإضافة إلى ذلك، يمكن تحضير صحون بتري لتلائم متطلّبات التجارب المختلفة. مثلًا، من الممكن إدخال الأقطاب الكهربائيّة في الجدران الخارجيّة، وجدران التقسيم عن طريق تسخينها وإدخالها في البلاستيك. ومن الأمثلة لذلك تجربة التحليل الكهربائيّ ليوديد الزِنْك (شكل 4.4). لهذه التجربة يجب استعمال صحن بتري ثنائي الحيّز. أولًا، يتمّ إدخال رصاص من قلم كبديل لأقطاب الكربون من خلال الجدران الخارجيّة. إذا كانت الأقطاب قابلة للكسر، يمكن صنع ثقبين بالجدران بواسطة مسمار حارّ، ثمّ إدخال الأقطاب من خلالها، وتثبيتها بواسطة ماكنة الغراء الساخن. يجب كذلك ثقب الجدار الحاجز عدّة مرّات بواسطة

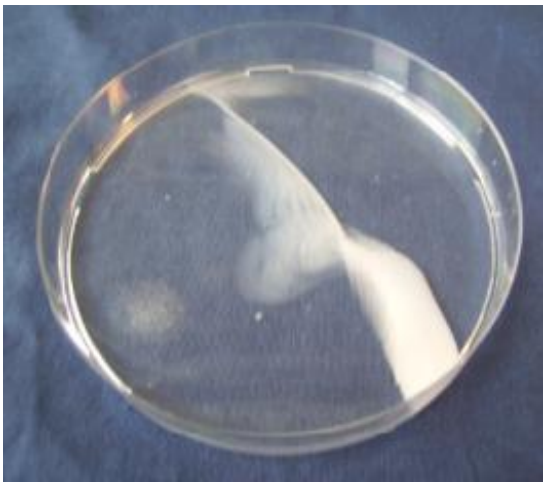


مسمار حارّ من أجل محاكاة غشاء. يمكن وضع ورقة ترشيح بوسط الوعاء كجسر ملحيّ. التلاعبات الموصوفة بمثال تجربة التحليل الكهربائيّ ليوديد الزِنْك ممكنة فقط في حالة استعمال وعاء بتري، وليس لوحات السپوت.

شكل 4.4: تحليل كهربائيّ ليوديد الزِنْك

وأخيرًا، سيتمّ تمثيل استخدام آخر المستخرج من أوعية البتري. تتزايد صعوبة إجراء تجارب البرهنة بسبب محاولات تقليل كمّيّة الموادّ الكيميائيّة، ومن الصعب ملاحظة الكمّيّات الصغيرة من بعيد. يمكن تجنّب هذه المشكلة عن طريق عرض ردود الفعل بواسطة مشعّ، وأوعية البتري ملائمة جدًّا لهذا الهدف.

صحون بتري ملائمة جدًّا للعرض بواسطة الجهاز العارض؛ لكونها شفّافة ووطيدة. يمكّننا الجهاز من رؤية التفاعلات على شاشة بكبر 2 م. عرض التجارب بواسطة جهاز ملائم للتفاعلات التي فيها تغيير بالألوان، أو تعكير المحلول، تفاعلات غازيّة أو ترسيب (Full, 1996). مثلاً تجربة ترسيب هاليدات الفضة: تتطلّب هذه التجربة وعاء بتري مملوءًا بماء مقطّر. يُضاف للماء القليل من الملح في إحدى الجهات وبعض الحبوب من نترات الفضّة في الجهة الأخرى. تؤدّي هذه العمليّة لتكوين كلوريد الفضّة، الذي يترسّب (شكل 4.5).



شكل 4.5: تكوين هاليد الفضّة

إجمالًا، إنّ لوحات السپوت وأوعية البتري ملائمة كحيّز للتفاعلات في العديد من التجارب الكيميائية في تعليم العلوم الطبيعيّة. لذا فهي مصنوعة من البلاستيك كي لا تؤذي الطلاب، بهذه الطريقة يتمّ التغلّب على خطر الانكسار في الأدوات الزجاجيّة. تتمتّع لوحات السپوت بأفضليتان على أوعية بتري: أولًا، أنّها ملائمة لإجراء عدد أكبر من التجارب معًا. وثانيًا، سعتها الصغيرة تجعلها أكثر ملاءمة. بينما أوعية البتري

التي لا يوجد فيها جدار تقسيم تتّسع حوالي 12 مل. ومع أن هذه السعة أكبر من سعة لوحات السپوت، إلا أنّها أصغر من سعة الأدوات الزجاجيّة العاديّة. بالإضافة إلى ذلك، إنّ مساحة كلّ حيّز من وعاء بتري المقسّم هو أصغر بالتوافق. لأوعية بتري أفضليّة كبيرة على لوحات البلاستيك؛ لأنّها متنوّعة، وكونها ملائمة لعرض التفاعلات الكيميائيّة.

5. تجارب بالرزم المنزليّة

كلّ الموادّ التي ذُكِرت في الفصول السابقة لإجراء تجارب بتكلفة منخفضة يجب شراؤها دون استثناء. لكن يمكن الاستعانة بالرزم الموجودة في البيت، والمعتبرة بمثابة نفاية كحيّز لتجارب التفاعلات الكيميائيّة والفيزيائيّة. مثلًا، رزم حبوب الدواء، كؤوس من زجاج أو بلاستيك، علب القصدير أو علب مستحضرات التجميل.

شكل 5.1: رزمة حبوب دواء فارغة

تصميم رزم الدواء (شكل 5.1) شبيه للغاية بلوحات السپوت البلاستيكيّة التي ذُكِرت في الفصل السابق، وفوائدها شبيهة بفوائد اللوحات متعدّدة الحيّز. بعد إزالة الألومنيوم من رزمة دواء، يمكن استخدامها بكلّ التجارب التي يمكن استخدام لوحات السپوت بها. تختلف رزم الدواء بشكلها وحجمها، لذا فمن الممكن أن تُستَخدَم كحيّز للتجارب المختلفة بحسب المتطلّبات. مثل الحيّزات بلوحات السپوت، إنّ سعة هذه الرزم صغير للغاية، أي إنّ التجارب فيها تتطلّب كميّة قليلة من الموادّ الكيميائيّة.

مثلاً لاستعمال رزم الدواء هو تخفيفات متسلسلة. مثلًا، يقترح الباحثان Kruse-Özcelik وSchwarz (2004) السماح للطلاب بأن يقوموا بمحاولة لقياس الحجم عن طريق تحضير تخفيفات متسلسلة للحليب. يمكن بدء التجربة من السؤال: "ما هي كمية الحليب التي يمكن تخفيفها بالماء للغشّ قبل أن تنكشف عملية الغش؟" بهذه التجربة يتمّ تخفيف 2 مل من الحليب تدريجيًّا بعامل مقداره 10. يصبح السائل شفّافًا أكثر فأكثر حتّى يظهر شكل صليب على أسفل الحيّز (شكل 5.2).

شكل 5.2: تخفيفات متسلسلة للحليب برزمة دواء فارغة

إذا كان الحيّز المطلوب أكبر من المتوفّر على يد رزمة الدواء، فيمكن استبدالها بمرطبان من الزجاج (مثلًا مرطبان عسل أو مربّى فارغ؛ شكل 5.3)، علبة قصدير (مثلًا العلب التي تمّ تنظيفها؛ شكل 5.4)، علبة

شمعة الشاي، أو كأس بلاستيك كبدائل لأجهزة التفاعل.

شكل 5.3: مرطبانات مربّى فارغة شكل 5.4: علب قصدير

بسبب الموادّ المختلفة المصنوعة منها الحاويات المذكورة، يمكن اختيارها بحسب متطلّبات كلّ تجربة. بالإضافة لذلك، فالحاويات متوفّرة بأحجام مختلفة، ويجب أخذ ذلك أيضًا بعين الاعتبار.

يمكن أن تكون أوعية التفاعلات نفسها قسمًا من التجربة. مثلًا العلب المعدنيّة ملائمة لبناء بطاريّة؛ لأنّه يمكن استعمال جدار العلبة كقطب كهربائيّ. يجب إزالة القسم الأعلى من العلبة وبعد تنظيف العلبة يجب ملؤها بمحلول كلوريد الصوديوم. يمكن استعمال باقي العلبة كقطب كهربائيّ، ووصلها بمستهلك أو بمقياس الجهد الكهربائيّ (فولتمتر)عن طريق كابل. من أجل إتمام الدائرة الكهربائيّة، يجب إسقاط قطب كهربائيّ چرافيتي أو رصاصة قلم في المحلول عن طريق مستهلك، أو مقياس الجهد الكهربائي (Schmittinger, 2011؛ شكل 5.5).

شكل 5.5: بطاريّة علبة الكولا

مثال آخر يثبت أنّ الزجاج ملائم لإجراء التجارب. بواسطة شمعة الشاي (أو شمعة أخرى) ومرطبان مربّى فارغ أو وعاء، يمكن البرهان أنّ الهواء مكوّن من الغازات المختلفة (Ardley, 1997). لإجراء التجربة، يجب تعبئة الوعاء بالماء؛ تُوضَع الشمعة داخل الوعاء ثمّ يتمّ إشعالها، ثمّ يوضع المرطبان فوق الشمعة بحذر (شكل 5.6). سيرتفع مستوى الماء في المرطبان حتّى تنطفئ الشعلة.

من الناحية الأخرى، يمكن استعمال علب مستحضرات التجميل للتجارب العلميّة. يمكن استعمال حاويات الكريم الزجاجيّة الصغيرة مثل استعمال الزجاجات الأخرى الموجودة في البيت، بينما يمكن استعمال علب مظلّل العيون مثل استعمال لوحات السپوت أو رزم الدواء. أمّا مستحضرات التجميل الأخرى الملائمة للتجارب فهي البخّاخات (مثلًا للعطر أو بخّاخ الأنف)، أو أكياس الصابون الفارغة، التي يمكن استخدامها لخزن الغازات.

شكل 5.6: شمعة مشتعلة في مرطبان مربّى

تقريبًا كلّ هذه الموادّ هي نفاية من المنزل، ولذا يمكن جمعها مجّانًا بكمّية كبيرة. لكنّ الكمّيّة المطلوبة لتجارب الطلاب الفعّالة ليست فوريّة، لذا يجب جمعها باستمرار لفترة طويلة. يمكن أن يشترك الطلاب والزملاء في العمل في جمع الموادّ من المنازل.

6. تجارب بقناني البلاستيك

بحث الفصل السابق في استعمال التعبئة والتغليف المنزليّين في التجارب الكيميائيّة والفيزيائية. سيبحث

هذا الفصل مدى ملائمة قناني البلاستيك (شكل رقم 6.1) لتجارب مختلفة.

شكل رقم 6.1: قنينة بلاستيك

يقول الباحث Wilke (a1998) إنّ استعمال وكذلك تحضير قناني البلاستيك مفيدان لتعزيز استقلاليّة الطلاب في التجارب. هذه القناني تشكّل نفاية في البيوت، لذا فإنّه من السهل أن يحصل عليها الطلاب بكميّات كبيرة من أجل التجارب. يرينا ويلكة أنّ هذه المادّة فعلًا ملائمة كأداة للتجارب، بالذات لتعليم الفيزياء، وهذا بسبّب ميزاتها الخاصّة. يشير ويلكة إلى الفوائد التالية:

- يمكن الحصول على قناني بلاستيك بأحجام وأشكال مختلفة. لهذا السبب، يمكن اختيار أدوات لكلّ تجربة بحسب متطلّباتها.

- تضمن لنا قناني البلاستيك الكبير وضوح بمجال الرؤية. بشكل عامّ، كون القناني شفّافة يمنحنا مجالًا لمراقبة العمليّات التي تحدث داخلها خلال التجارب.
- كتلة قناني البلاستيك صغيرة، وجدرانها نحيفة. هذا يسهّل التعامل معها.
- قناني البلاستيك متينة للغاية، فهي غير قابلة للانكسار. بالإضافة إلى ذلك، في حالة فشل التجربة، فهي لن تتكسّر. تقلّل هذه الميزة من الخطر على الطلاب عند إجراء التجارب التي تتطلّب رمي أو إسقاط القناني.
- إنّ قناني البلاستيك مقاومة للضغط، لذا فهي تسمح بإجراء تجارب بالغازات أو السوائل. تضمن مقاومة الضغط في هذا النوع من التجارب الثبات على الرغم من نحافة الجدران. لكن مجرّد ضغط خفيف من خارج القنّينة يمكن أن يشوّه شكلها.
- سهولة تحضير قناني البلاستيك، والتعامل معها هو عامل أساسيّ لاستعمالها في التجارب. يمكن نشرها بسهولة بمنشار، ثقبها أو قصّها بحسب متطلّبات التجربة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أيضًا تذويب ثقوب فيها بواسطة أدوات حارّة وسدّها مجدّدًا بواسطة الغراء.

بشكل عام، يجب التمييز بين قناني البلاستيك ذوي الجدران النحيفة، والأخرى ذوي الجدران السميكة. تحضير القناني ذوي الجدران النحيفة أسهل بكثير، لذا يتمّ الامتناع عن استعمال ذوي الجدران الخارجيّة السميكة. يفضّل استعمال ذوي الجدران السميكة عندما يكون الهدف إنشاء منظومة متينة لا تسمح بأيّ تشوّه (Wilke, 1998a).

المواد المطلوبة	التجربة الفيزيائيّة
قنينة بلاستيك، غراء القش القابل للانحناء، خيط رفيع، وعاء بلاستيك	تجربة دولاب المياه بحسب زيچنر لبرهنة قانون نيوتون الثالث

قنينة بلاستيك مع سدّاد وثقب، قطعة من خرطوم مياه،أنبوبان من زجاج	تجربة قارب الارتداد لبرهان أن "الفعل" = "ردّ الفعل"
قنينة بلاستيك كبيرة معبأة بالرمل أو الماء، خيط مفضّل أن يكون طويلًا (موصولًا بالسقف)	تجربة التحويل المتردّد للطاقة الكامنة والطاقة الحركيّة، أو لبرهان "قوّة ماچنوس"
قنينة بلاستيك كبيرة ونحيفة (معبأة بالماء)، غطاء أسطوانيّ لولبيّ من قطعة الستايروفوم، برغي	تجربة غوّاص ديكارت لبرهان تسوية الضغط من جميع الجهات في السوائل
قنينة بلاستيك مع غطاء لولبيّ، خيط مطاط، البعض من الخرز، مروحة صغيرة، مشبك ورق	نموذج لزورق آليّ
قنينة بلاستيك، إبرة، قمع	تجربة اعتماد ضغط الجاذبيّة من ارتفاع عمود الماء
قنينة بلاستيك مع غطاء لولبيّ مثقوب، سدّاد محفور، أنبوب زجاجيّ بشكل حذوة	جهاز چوته (Goethe) لقياس الضغط الجوّي (البارومتر)
قنينة بلاستيك سميكة الجدران، مولّد كهربائي لدرّاجة، مصباح سلكيّ	العنفة الريحيّة أفقيّة المحور

جدول رقم 6.1: تجارب مختلفة مع قناني بلاستيك

إجمالًا، يمكن إستعمال قناني البلاستيك المختلفة بطرق مختلفة للتجارب. يمنحنا الجدول رقم 6.1 نظرة عامّة على الفوائد المتعدّدة لقناني البلاستيك في تعليم الفيزياء التجريبيّة (Wilke 1998a, 1998b, 1998c).

تشكّل التجارب الموجودة في الجدول قسمًا صغيرًا من مجمل التجارب التي يمكن إجراؤها باستعمال قناني البلاستيك. من أجل توضيح إمكانيات استعمال قناني البلاستيك في التجارب الفيزيائيّة، سيتمّ بحث تجربتين بعمق: تجربة دولاب المياه بحسب زيچنر، وبناء نموذج لزورق آليّ.

حسب Wilke (1998)، يمكن إجراء تجربة لبرهان قانون نيوتون الثالث إذا تمّ تحضير قنينة البلاستيك بشكل مناسب. كما هو مكتوب في الجدول رقم 6.1، متطلّبات التجربة هي: القشّ القابل للانحناء، الغراء، خيط رفيع ووعاء بلاستيك. يتمّ وضع قنينة البلاستيك قريبًا من الأرض بواسطة ثلاثة ثقوب، طول كلّ منها 4 ملم، والبعد بين كلّ ثقبين هو 120°. يتمّ إدخال قشّة لكلّ ثقب، وذلك بعد تقصير طول القشّة

الجانبيّ (كما هو في الشكل رقم 6.2). يجب لصق القشّ بالقنّينة بواسطة الغراء وطيّها بزاوية 90°.

شكل رقم 6.2: قش في قنينة بلاستيك

شكل رقم 6.3: رأس قنينة معلّقة بخيط

يجب أن توَّجه أطراف القشّ جنبًا إلى جنب حيث يتبقّى حيّز مقداره تقريبًا 2 مم. من أجل القيام بذلك، يجب أوّلًا وضع أطراف القشّ في مياه ساخنة، ثمّ تستعمل زرّاديّة لضغط أطراف القشّ ببعضها حتّى تبرد. يجب خلال التجربة، أن تكون القنينة معلّقة بخيط، لذا يُنصَح بتنقيب رأس القنينة أفقيًّا، وسحب القنينة منه (شكل 6.3). بعد تعبأة القنينة بالماء، يتمّ تحريرها من أجل البدء بالتجربة. الارتداد الناتج بسبب النوافير المائيّة يجعل القنينة تدور.

المثل الآخر هو بناء نموذج لزورق آليّ (Wilke, 1998). كما وُصف في الجدول رقم 6.1، لإجراء هذه التجربة يجب تحضير قنينة بلاستيك مع غطاء لولبيّ، خيط مطاط، البعض من الخرز، مروحة بلاستيك صغيرة ومشبك ورق. من أجل بناء النموذج، يجب أولًا قصّ ثقب في أسفل القنّينة قطره 2 ملم. بالإضافة لذلك يجب ربط خيط مطّاطيّ طوله 5 ملم في كلّ جهة من أجل بناء المحرّك المطّاطيّ. ثمّ يتمّ ربط الحلقة الناتجة عن ذلك لعقدة دائريّة طولها أقصر بقليل من طول القنينة. بعدها يجب إحناء المشبك من أجل وصل الخيط المطّاطي، ووضع المروحة عليه. من أجل أن تبقى المروحة تحت سطح الماء، يمكن إضافة الخرز على المشبك. أخيرًا يتمّ إدخال المشبك من ثقب في غطاء القنينة وثنيه من أجل وصل الحلقة المطّاطيّة فيه. تُسَدّ القنينة ثمّ يتمّ إدخال ووصل الخيط المطاطي المربوط من أسفل القنينة بواسطة مشبك آخر (شكل 6.4). يمكن التساعد بقطعة من الخشب من أجل الإضافة لوزن النموذج، وهكذا تمنع الزورق من أن يدور حول محوره. سيعمل المحرّك بواسطة تدوير المروحة.

الشكل 6.4: نموذج الزورق الآليّ

7. متجر الأدوات المنزليّة كمصدر لأدوات التجارب

تمّ في الفصول السابقة، توضيح فوائد الأدوات المنزليّة للتجارب الفيزيائيّة. مع ذلك، ليست الأدوات المنزليّة اليوميّة هي الوحيدة الملائمة. يمكن الحصول على الأدوات الموجودة في متاجر الأدوات المنزليّة بكمية وسعر مرضيين، كما أنّها ملائمة للتجارب أيضًا.

شكل رقم 7.1: أنبوب معدنيّ

من هذه الأدوات: أنابيب بلاستيك أو معدنيّة (شكل 7.1), السيليكون، البولستيرين، الأسلاك (شكل 7.2), المسامير، المصابيح (شكل 7.3)، باكسبلاش مبلط، بالإضافة إلى ألواح كبيرة، شفّافة، أو زجاجيّة. تمنحنا هذه المواد إمكانيات مختلفة في تعليم العلوم الطبيعيّة. الموادّ من متاجر الأدوات المنزليّة ملائمة بالذات لتجارب بعلم الميكانيكا، الهندسة الإلكترونيّة، والكيمياء الكهربائيّة. من هذه التجارب: التصميم مع الكتلة، الطفو والغطس، الضغط، الصلابة والمرونة أو قوانين النفوذ وكذلك الضوء، الكهرباء، الموصليّة، الخلايا الكهروكيميائيّة، وحتّى بناء مغناطيس كهربائيّ أو بناء مشعل كهروضغطيّ. لكن يمكن الاستفادة

من هذه الموادّ في مواضيع أخرى. من أجل التوضيح، سيتمّ عرض تجربة بقانون الانعكاس، وتجربة بإرسال النبضات (Menzel, 1990؛ Kuhn وRech, 2003؛ Mellert وآخرون, 2001؛ Köthe, 2008).

شكل رقم 7.2: أسلاك

شكل رقم 7.3: مصابيح

سيتمّ شرح مثالين بالتفصيل تُستَخدم فيهما موادّ من متاجر للأدوات البيتيّة: تجربة بقانون الانعكاس وتجربة بصنع مغناطيس كهربائيّ.

حسب Kuhn وRech (2003)، تتطلّب تجربة قانون الانعكاس أنبوبين من البلاستيك أو الكرتون، مرآة ومصباح يدويّ. يتمّ ترتيب الموادّ كما هو معروض في الشكل رقم 7.4، ثمّ يُضاء أحد الأنبوبين بواسطة

شكل رقم 7.2: أسلاك

شكل رقم 7.3: مصابيح

المصباح اليدويّ، وعندها يمكن رؤية انعكاس الضوء.

شكل رقم 7.4: تجربة قانون الانعكاس

المثل الآخر هو تجربة بناء مغناطيس كهربائيّ بحسب Mellert وآخرين (2001). الموادّ المطلوبة للتجربة هي: برغي حديديّ، سلك نحاسي مغطى بالبلاستيك العازل طوله متران، بطارية 1.5 فولط، وقطع معدنيّة

صغيرة لفحص المغناطيس.

شكل رقم 7.5: برغي ملفوف بسلك

أوّلًا يجب إزالة البلاستيك من طرف السلك النحاسيّ، وكشف السلك نفسه، ثمّ لفّه حول البرغي (شكل 7.5)، حيث يتدلّى السلك بكلّ من طرفَي البرغي.

من المهمّ التأكّد أنّ السلك منحنيّ. يمكن عند الحاجة تثبيت السلك بواسطة شريط. أخيرًا، يجب وصل أطراف السلك بطرفَي البطارية الموجب والسالب. عند الاستخدام بالمغناطيس الكهربائيّ، يجب أن لا يبقى السلك موصول بالبطارية لمدّة طويلة، لأنّ أطراف السلك تحمى بعد حوالي دقيقة.

في التجارب التي تتّبع مبدأ التكلفة المنخفضة، يلعب الثمن دورًا هامًّا. يحتوي الجدول رقم 7.1 على خلاصة لأسعار بعض الموادّ المذكورة (Mercateo, 2011).

الأداة	السعر
أنابيب من البلاستيك أو المعدن	€0.20 أو €1.10 لكلّ متر

أسلاك	€1.50 لكل25 متر
مسامير	€5 لمائة مسمار
مصابيح	€0.30 للمصباح الواحد
باكسبلاش مبلط	€1 لكلّ 4 قطع

الجدول 7.1: تكاليف المعدّات وجدت في منزل تحسين تخزين للتجارب

مع ذلك، ليست الأدوات المنزليّة من المتجر هي الوحيدة الملائمة، بل المواد الكيميائية أيضًا يمكن شرائها منه بأسعار منخفضة. من هذه المواد أنواع مختلفة من الأحماض، الصودا الكاوية، الأمونيا، الكلس، الأسيتون، الكحول المحرفة، أنواع مختلفة من البلاستيك أو مياه مقطّرة. كلّ هذه المواد أسعارها في متاجر للأدوات المنزليّة تكون أرخص من أسعارها في حانوت للموادّ الكيميائيّة. بالإضافة إلى ذلك، تكون جودتها ونقاءها ملائمتين للتجارب في دروس العلوم المدرسية. الجدول رقم 7.2 يعرض الموادّ الكيميائية التي ممكن استبدالها بموادّ من متاجر الأدوات المنزليّة. يجب الملاحظة أنّ الجدول غير شامل إذ إنّ الهدف منه هو عرض عامّ للإمكانيات.

المادّة	البديل
الجير المطفي، الإسمنت سريع التصلّب	هيدروكسيد الكالسيوم
الجبص	كبريتات الكالسيوم
مزيل الرطوبة	كلوريد الكالسيوم
"pH-minus" (من معدّات برك السباحة)	كبريتات الصوديوم الحامضيّة

العمودي	كلوريد الأمونيوم
الفحم	الكربون
مزيل الكتابة على الجدران ريكو	1-methoxy-2-propanol, فيه بين 20-50%

جدول رقم 7.2: مواد كيميائيّة بديلة يمكن الحصول عليها في متاجر للأدوات المنزليّة

لهذه المواد استعمالات متنوّعة. فالكحول الميثليته هي محلول إيثانول 96% وتستخدم مثلًا عند استخدام حارق كحول منخفض التكلفة، لذلك فلا توجد حاجة لمركّب غازي. استخدام الأسيتون، بعض الأحماض والموادّ الكيميائيّة البديلة المذكورة أعلاه هو كالاستخدام التقليديّ للموادّ الكيميائيّة. يمكن تخليق ثاني أكسيد الكربون من الكلس والأحماض (Seilnacht, 2001). يمكن صنع ماء الكلس المطلوب لكشف ثاني أكسيد الكربون من الإسمنت. حسب Schwedt (2001) وKöthe (2008)، يجب إحضار الإسمنت سريع التصلّب الموجود في متاجر الأدوات المنزليّة الذي يحتوي على هيدروكسيد الكالسيوم، قنينة وماء. يجب إضافة 20 غ من الإسمنت لـ50 مل من الماء، ثمّ خلطها سويًّا. عندها ترسخ الصلابة غير المنحلّة (شكل 7.6) ويمكن صبّ السائل. أخيرًا يمكن استخدام المصفى لكشف ثاني أكسيد الكربون.

شكل 7.6: ماء الجير المصنوع من الإسمنت سريع التصلّب

يلائم استعمال الموادّ الكيميائيّة من متاجر الأدوات المنزليّة بشكل خاصّ في التجارب الكيميائيّة. اكتسابها سهل كذلك؛ لأنّه لا توجد قوانين تمنع أو تحدّد شراءها. بالإضافة إلى ذلك، فإنّ هذه الموادّ رخيصة جدًّا، وبهذا الشكل يمكن ضمان التوفير في التكاليف. هنالك فائدة أخرى باستعمال الموادّ الكيميائيّة من متاجر الأدوات المنزليّة، وهي تعليم الطلاب أنّ الموادّ المتعلّقة بالموادّ الكيميائيّة ليست فقط مهمّة في درس الكيمياء، بل أيضًا في الحياة اليوميّة والمنتجات اليوميّة. (Schwedt, 2001).

إجمالًا، يمكن القول إنّ استعمال الموادّ الموجودة في متاجر الأدوات المنزليّة ملائم للتجارب العلميّة. تشكّل الأمثال أعلاه فكرة عامّة فقط عن الإمكانيّات الموجودة. إذا استُعملت الموادّ من المتاجر للأدوات المنزليّة بشكل خلّاق وغير تقليديّ، بإمكانها أن تساعد في تجارب متنوّعة.

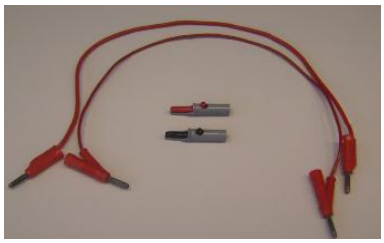
8. معدّات للتجارب من متاجر الإلكترونيّات

قدّمنا في الفصول السابقة الموادّ بديلة من متاجر الأدوات المنزليّة الملائمة للتجارب العلميّة. يمكن

الحصول على موادّ أخرى الملائمة للتجارب من متاجر الإلكترونيّات.

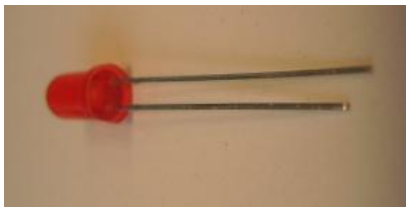
شكل 8.1: ملتيمتر بسيط

مثل الأدوات من متاجر الأدوات المنزليّة، يمكن الحصول على المعدّات من متاجر الإلكترونيّات بسهولة وبتكلفة منخفضة. العديد من هذه المعدّات ملائمة للتجارب في تعليم العلوم الطبيعيّة. مثلًا أجهزة ربط شبكيّ، ومعدّات لتيّار متردّد (DC) أو تيّار مستمر (AC) (شكل 8.1)، كوابل للتجارب (شكل 8.2)، مشابك تمساحيّة، مغناطيسات (شكل 8.3)، مصابيح يد، مؤشِّري ليزر، لوحات للتسخين، لفيفة أسلاك، ساعات توقيف وبعض لوحات المراقبة والأوعية.



شكل 8.3: مغناطيسات شكل 8.2: كوابل للتجارب ومشابك

يمكن تحقيق تجارب عديدة في مجال الهندسة الإلكترونيّة والكيمياء الكهربائية بفضل الأدوات من متاجر الإلكترونيّات. من هذه التجارب مثلًا بناء محرّك إلكترونيّ، بناء دائرة كهربائيّة أو بناء خلايا كهروكيميائيّة أو خلايا التحليل الكهربائيّ. الأدوات التي يجدر التشديد عليها هي الصمّام الثنائيّ الباعث للضوء (وسيُسمى LED في الصفحات القادمة) الذي يضيء عند وصله بتيّار كهربائيّ (شكل 8.4) والملتيمتر (شكل 8.1) لأنّ سعرهما في المتاجر الإلكترونيّة أرخص بكثير منه في المتاجر المختصّة بأدوات المختبرات، ومع ذلك فإنّهما دقيقان بما فيه الكفاية لمعظم التجارب في دروس العلوم المدرسيّة. بالإضافة إلى ذلك، تساعد هذه



المعدّات في تطوير تجريبيّ لمواضيع علميّة أخرى، مثلًا بناء بوصلة مغناطيسيّة من الفلّين، تجارب بالاهتزاز أو تجارب بقانون الانكسار والانعكاس (Schlichting و Ucke, 2004؛ Mellert وآخرون, 2001؛ Tillmann, 2011؛ Kieninger, 2008).

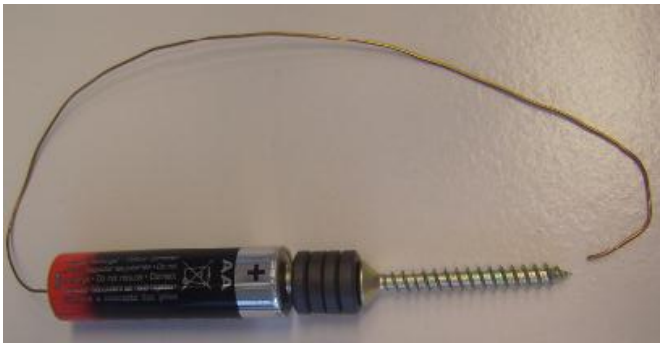
شكل 8.4: الصمّام الثنائي الباعث للضوء (LED)

يمكن أيضًا توضيح ذلك عن طريق أمثلة مثل بناء محرّك إلكترونيّ، تجربة بقانون الإنعكاس بواسطة LED لقياس الجهد الكهربائيّ. لبناء محرّك كهربائيّ يجب إحضار بطاريّة 1.5 V، برغي، قضيب مغناطيس

وقطعة من السلك (Schlichting وUcke, 2004). إذا كانت الأسطوانة المغنطة والبرغي موصولان بقطب واحد من البطارية مباشرةً، وللآخر بواسطة سلك (شكل 8.5) يبدأ المغناطيس والبرغي بالالتفاف السريع.

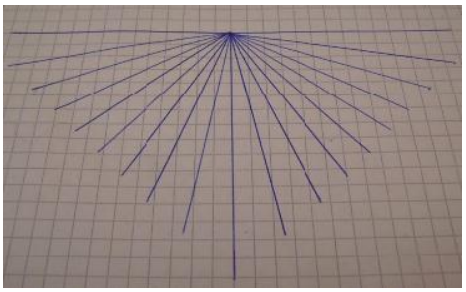
Schlichting وUcke (2004) يعتبران هذه التجربة كأسهل وأسرع طريقة لصنع محرّك كهربائيّ. إجمالًا، يعتبر محرك الكهرباء جهازًا معقّدًا من لفائف الأسلاك ومغناطيس. عند استعمال الموادّ المذكورة أعلاه، يكلّف بناء المحرّك بعض اليوروهات فقط. كفاءة هذا المحرّك منخفضة وبنيته غير ثابتة ولكنّه يتبع المبدأ الأساسيّ لأقدم محرّك كهربائيّ الذي أسّسه مايكل فاراداي (Schlichting وUcke, 2004).

شكل 8.5: محرّك كهربائيّ ببناء ذاتيّ



المثال الثاني هو تجربة بقانون الانعكاس. لإجراء هذه التجربة يجب التزوّد بمرآة، ورق الرسم البيانيّ، قلم حبر، مثلث للرسم ومؤشّر ليزر. يمكن الحصول على مؤشّر ليزر بيورو ونصف (Mercateo، 2011)، يمكن شراء باكسبلاش مبلّط من متاجر الأدوات المنزليّة بأقل من يورو واحد. هكذا تكلّف تجربة انعكاس الضوء تقريبًا 2 يورو.

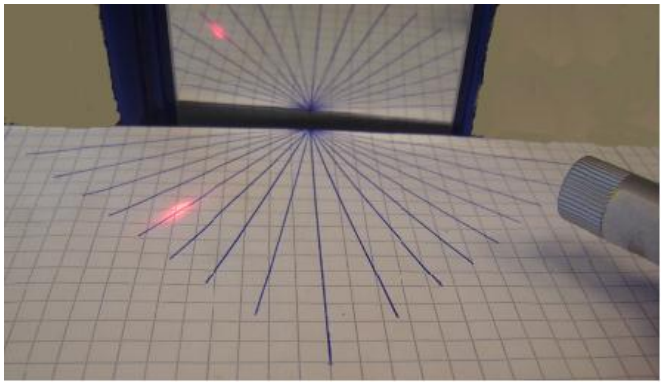
أولًا يجب توزيع الزوايا بواسطة القلم ومثلّث الرسم على ورقة من أوراق الرسم البيانيّ (شكل 8.6). بعد



ذلك يجب وضع المرآة على المحور الرئيسيّ للزوايا كما هو بشكل رقم 8.7.

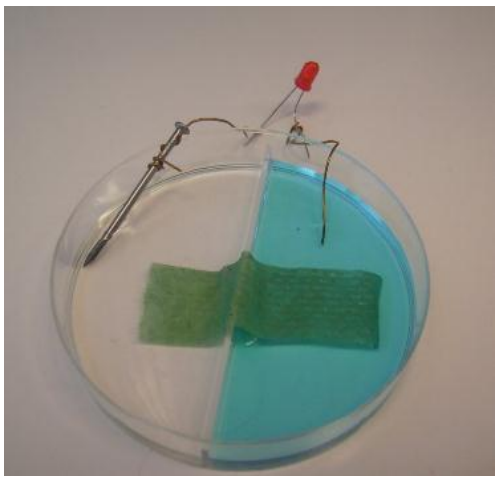
شكل 8.6: توزيع الزوايا

على الغرفة أن تكون مظلمة خلال هذه التجربة. يجب إشعاع العموديّ بواسطة مؤشّر الليزر على طول انعكاس الخطوط المرسومة في المرآة. يمكن رؤية انعكاس أشعة الليزر على الورقة، ممّا يبرهن قانون الانعكاس.



شكل 8.7: تجربة بقانون الانعكاس

أخيرًا سيتمّ تمثيل استعمال LED كمقياس للجهد الكهربائيّ وللتيّار الكهربائيّ حسب مبدأ دانييل. مطلوب علبة بتري مزدوجة، قطعة من سلك الزِنك، قطعة من سلك نحاس، موادّ كوابل، LED، محلول زِنك وكبريت ومحلول نحاس وكبريت. يجب إضافة الموادّ حسب الترتيب كما هو في الشكل رقم 8.8.



شكل 8.8: تجربة حسب مبدأ دانييل مع LED

لمعان LED يشير إلى الجهد الكهربائيّ الوارد من الفرق الكامن. الفائدة من LED غير الموجودة بأضواء أو محرّكات أخرى هي أنّ له ردّ فعل حتّى إن كان الجهد الكهربائيّ منخفض، لذا فهو ينتج مظهرًا مرئيًّا للطلاب.

في ختام هذا الفصل سنلخّص في الجدول رقم 8.1 تكاليف الأدوات البديلة التي يمكن الحصول عليها في متاجر الإلكترونيّات التي ذكرت في هذا الفصل (Mercateo, 2011؛ Conrad Elektronik, 2011).

الأدوات البديلة	السعر
كوابل للتجارب	€3 للواحد
مشابك تمساحيّة	€0.50 للواحد
مغناطيس	من €0.15 للواحد (حسب النوع)
مصباح يد صغير	من €1.20

LED	€0.04
مؤشّر ليزر	€1.50
لوحات للتسخين	€10
ساعات التوقيف	€2

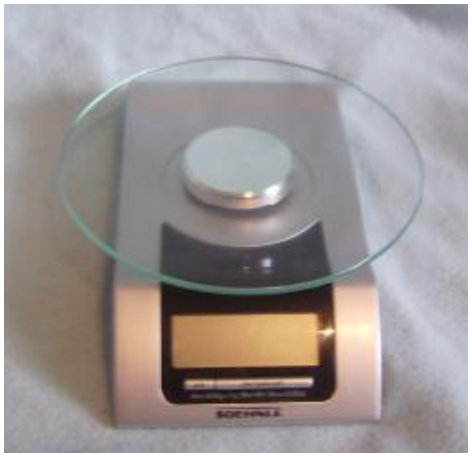
جدول 8.1: أسعار الأدوات البديلة للتجارب التي يمكن الحصول عليها في متاجر الإلكترونيّات

9. بدائل عمليّة من ناحية التكلفة للدراسات الكمّيّة

يمكن القيام بالقياسات الكمّيّة في دروس العلوم المدرسيّة. يمكن أن تكون هذه قياسات للوقت، المسافة، الحرارة، التيّار أو الجهد الكهربائيّ، حتّى القياسات الضوئيّة، تحديد الشحن أو ردّ فعل المحتوى الحراريّ. يتطلّب اكتساب أدوات التحليل تكاليف كثيرة، وهذا يصعّب على المدارس. مع ذلك فلا يجب التخلّي عن التجارب من أجل الطلاب، حيث إنّه يمكن شراء العديد من الأدوات بأسعار منخفضة من متاجر الأدوات المنزليّة أو الإلكترونيّات، وبناء الأدوات الأخرى من الموادّ المتوفّرة بسهولة.

يمكن الحصول على بدائل غير مكلفة للموادّ التقليديّة للتجارب الكمّيّة من متاجر الأدوات المنزليّة أو متاجر أخرى شبيهة، مثلًا الملتيمتر، موازين الحرارة الرقميّة، ميزان البناء (شكل 9.1)، جهاز ضبط الليزر أو ميزان رقميّ من متاجر أدوات المطبخ (شكل 9.2). يمكن التعامل مع العديد من هذه الأجهزة مثل التعامل مع أدوات التجارب التقليديّة. إنّها دقيقة إلى حدّ مقبول واستعمالها سهل وملائم للتجارب التعليمية.

شكل 9.1: ميزان البناء



شكل 9.2: ميزان مطبخ

الأداة الأكثر تلاؤمًا لهذا الهدف هي الملتيمتر منخفض الثمن. يمكن الحصول على نماذج بسيطة منه لقياس الجهد الكهربائيّ، التيّار الكهربائيّ والمقاومة الكهربائيّة بسعر أقل من 10€ (Mercateo, 2011). بعض النماذج من الملتيمتر لها حتّى مخرجات رقميّة ويمكن وصلها مباشرة بالحاسوب للحصول على النتائج. أحد الأمثلة لجهاز كهذا هو "Digitek DT 4000 ZC"، وما يميّز هذا النموذج هو تعدّد إمكانيّات القياس فيه. فهو يسمح بقياس الجهد المتردّد والجهد المستمر، التيّار المتردّد أو التيّار المستمر، المقاومة الكهربائيّة، السعة الكهربائيّة، تردّد كهربائيّ حتّى 10 MHz ودرجات حرارة حتى 750° C، وسعره حوالي 40€ (ELV Elektronik، 2011). ربّما يظهر السعر ،لأوّل نظرة، غاليًا نسبيًّا ، لكن نسبةً لعدد إمكانيّات الاستخدام فهو ليس كذلك.

هنالك أيضًا معدّات ملائمة للدراسات الكمّيّة في المتاجر المختصّة بأحواض السمك. في هذه المتاجر، يمكن شراء ملتيمتر الذي بإمكانه أن يقيس قيمة pH أو تركيز النيترات في المسطّحات المائيّة.

يمكن تبديل بعض الموادّ عن طريق إنشاء بدائل بسيطة ومنخفضة التكلفة، مثلًا بناء جهاز لقياس الموصليّة (Kappenberg, 2011)، بناء مسعر بتكلفة منخفضة، بناء أداة لقياس الضوء (Just, 1990) أو جهاز تفريق لونيّ للغاز، والذي يمكن شراؤه أو بناؤه. يقترح Kappenberg (2011) إمكانيّات مختلفة لشراء المعدّات وكتيّبات تعليمات عدّة للبناء الذاتيّ. يمكن شراء جهاز تفريق لونيّ للغاز بحوالي 350€. يمكن أن يصل سعر جهاز تقليديّ كهذا إلى آلاف اليورو (Neubert, 2011). يمكن التوفير بشراء جهاز تفريق لونيّ للغاز بتكلفة منخفضة بدلًا من شراء المحلّل التقليديّ. بالإضافة الى ذلك، يوفّر لنا كابنبرج التعليمات لبناء هذا الجهاز من أجل التوفير بالتكاليف. يتمّ بناؤه بواسطة أدوات من الهندسة الطبيّة، بتكلفة لا تزيد عن 50€، ممّا يوفّر الكثير من التكاليف مقارنةً مع سعر الجهاز التقليديّ. يدّعي كابنبرج أنّ هذا الجهاز ملائم

لتحليلات مختلفة (Kappenberg, 1998)، وأنّه حصل على نتائج جيّدة باستعماله في التجارب المدرسيّة التالية:

- تحليل غازات خفيفة
- هدرجة بالوسيط الكيميائيّ للقينات والقانات
- الكلورة الضوئيّة للغاز الطبيعيّ (الميثان)
- الانحلال الحراريّ للبلاستيك (متعدّد الإيثيلين)

يجدر بالذكر أنّ المركبات المتقلّبة تتبخّر بسرعة وبناءً عليه، تغيّر تركيب الغاز وجهاز التفريق اللونيّ. على الرغم من ذلك، تساعد أداة التحليل المذكورة الطلاب على التعامل مع هذا الجهاز، وفهم طريقة عمله بسهولة.

بهذه المرحلة، سيتمّ توضيح كيفيّة استعمال هذه المعدّات للقياس في الصفّ عن طريق أمثلة لتحديد الحرارة لخليط، والحرارة بعمليات الاندماج. لأجل تطبيق هذه الأمثلة يجب وضع كأس من البلاستيك في كأس زجاجيّ مناسب (شكل 9.3). فائدة هذا المسعر (كالوريمتر) هو أنّ وزنه خفيف. لذا فيمكن وزن السوائل مباشرة في الكأس، ولا يجب نقلها. ولها أفضليّة أيضًا على وعاء ديوار المستعمل عادةً، لأنّه لا يشكّل خطرًا بالإنفجار الداخليّ (Maisenbacher, 2011). ميزة أخرى لهذه المعدّات هي تكلفتها المنخفضة حيث إنّ كأس البلاستيك يكلّف بعض السنتات فقط، والكأس الزجاجيّ حوالي €1.50 (Mercateo, 2011). بالمقارنة، فإنّ سعر وعاء ديوار واحد هو مئات اليورو. من أجل تحديد المحتوى الحراريّ المتفاعل، يجب فقط إضافة ميزان، ساعة توقيف وميزان حرارة بجانب المسعر منخفض التكلفة. يُنصَح عزل الوعاء بالستايروفوم. من أجل تحديد ما يعادل الماء بواسطة هذه الأداة يجب إضافة 50 غم من الماء للوعاء

ومراقبة درجة حرارتها كي لا تتغيّر. ثمّ يجب إضافة ماء بنفس الكميّة بدرجة حرارة 40° C للمسعر الآخر، ومراقبة درجة حرارتها وتدوينها. تتمّ إضافة الماء البارد بعد 3-4 دقائق، وتدوين درجة الحرارة على فترات منتظمة. بجب التأكّد من التخليط جيّدًا خلال تحديد ما يعادل الماء، بمكن القيام بذلك بالاستخدام بخالط مغناطيسّي، أو عود خشبيّ أو بلاستيكيّ.

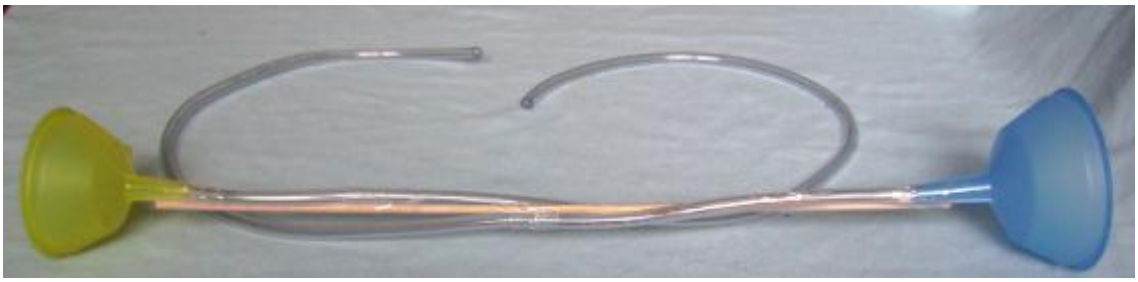
شكل 9.3: مسعر (كالوريمتر) منخفض التكلفة

إجمالًا، يجب الأخذ بعين الإعتبار أنّ بناء هذه الأجهزة يستغرق وقتًا لا يتطلبه شراؤها. لكن شراؤها غير ممكن بسبب تكلفتها العالية. لذا فيمكن أن يوفّر التوجّه المذكور هنا بديلًا ملائمًا.

10. تجارب مع موادّ بيتيّة

تحدّثنا بالتفصيل عن استعمال الأوعية البيتيّة في التجارب. لكن بالإضافة لذلك هنالك أغراض أخرى موجودة في البيت الملائمة للاستعمال في التجارب. مثلًا الأنابيب من المطبخ، خرطوم الماء من الحديقة، البنانير، الخرز، البالونات، ورق الألومنيوم، مصفاة القهوة، الأقلام، أطباق زجاجيّة مسطّحة، والمرايا. إحدى الفوائد في استخدام الأدوات المنزليّة في التجارب هي أنّ هذه الأدوات هي أنّها متوفّرة تقريبًا في كلّ بيت. هذا يسمح للطلاب بأن يجروا التجارب في البيت. يمكن أيضًا الحصول عليها في المتاجر بتكلفة منخفضة، لذا تستطيع المدارس توفيرها بسهولة للتجارب.

هنالك كتب عديدة تبحث في التجارب العلميّة بواسطة الأدوات المنزليّة (Press, 1995؛ Heuer, 2010؛ Ardley, 1997؛ Köthe, 2008؛ Rüter, 2009). هذه الكتب موجّهة عادةً للأهل ليبحثوا في الظواهر الطبيعيّة مع أولادهم بطريقة مسليّة. يمكن الاستفادة من هذه التجارب كذلك لإثراء الطلاب في دروس البيولوجيا، الفيزياء والكيمياء في المدرسة. الأفكار في الإنترنت هي أيضًا في تزايد دائم. يصف تيلمان (Tillmann, 2011) بعض التجارب التي يمكن إجراؤها بواسطة أدوات منزليّة. من أجل توضيح فوائد



الموادّ المختلفة سنتناول أمثلة لتجارب من ثلاثة مجالات.

شكل 10.1: بناء جهاز بديل لإدراك الصوت

في مجال الفيزياء، التجارب التي تمّ اختيارها هي تجارب بإدراك الصوت وبالبصريّات. من أجل إجراء التجربة يجب توفير محقانين من البلاستيك، لاصق قويّ، أنبوب بلاستيك من الحديقة وعود خشبيّ. يتمّ إدخال طرف من أطراف الأنبوب البلاستيك لكلّ محقان، ثمّ يتمّ لصقه بالعود الخشبيّ (شكل 10.1). هكذا تنتقل الموجات الصوتيّة من جهة لأخرى.

المثال الثاني بالبصريات، وهو في مجال الفيزياء. بواسطة صحن زجاجي، مصباح يد، طين، صندوق من الكرتون الأبيض ومرآة، يمكن إنتاج قوس قزح عن طريق توزيع ضوء مصباح اليد إلى مركّباته الطيفيّة (Ardley, 1997). من أجل إجراء التجربة، يجب إظلام الغرفة قبل وضع المرآة في صحن زجاجيّ مملوء بالماء وموصولة فيه بواسطة الطين. بعد ذلك تتمّ إضاءة القسم الأسفل من المرآة المغطّى بالماء بواسطة

مصباح اليد. يمكن رؤية قوس القزح عندما يُحمل صندوق الكرتون الأبيض فوق الوعاء (شكل 10.2).

شكل 10.2: إنتاج قوس قزح

في مجال الكيمياء ستُعرض تجربة بسيطة بالاستشراب. يمكن تحليل ألوان أقلام الحبر إلى مركباتها بواسطة الاستشراب. من أجل إجراء هذه التجربة يجب توفير قلم خطّاط, كأس ومصفاة قهوة. أولًا، يجب رسم خطّ عريض على مصفاة القهوة، ثمّ طيّها على طرف الكأس حيث يتدلّى قسم منها في الماء، كما هو في الشكل 10.3 (Tillmann, 2011). عندما ينتشر الماء، مركّبات القلم الخطّاط تُنتِج مخطّطات استشرابية مختلفة حسب تحلّل كلّ مركّب (شكل 10.4). بعد أن تجفّ مصفاة القهوة، يمكن رؤية مركبّات الحبر الخطّاط من خلال المخطّطات الاستشرابيّة.

شكل 10.3: تجربة بالاستشراب منخفضة التكلفة

شكل 10.4: عمليّة استشراب لحبر بنيّ

بالإضافة لذلك، يمكن أن تساهم كلّ من وسادة التدفئة والتبريد أو حتّى حاوية الإسبرسّو المسَخّنة في بحث مثير للاهتمام. تحتوي وسادات التسخين عادةً على محلول من خلات الصوديوم ثلاثي الهيدرات (Fischer, 2011). إذا يتمّ ثني اللوحة المعدنية الموجودة داخل الوسادة، فيحدث تبلور ينتج الحرارة. حسب الكاتب، يمكن الوصول لدرجة حرارة 35 ° C بسبب التبلور. عند إنتهاء التبلور وتبريد الوسادة،

تتحلل البلورات عن طريق إضافة طاقة من الماء الساخن، وعندها لا يمكن إلغاء البلورة. لكن لا يمكن استعمال وسادة التبريد أكثر من مرّة. إمكانيّة أخرى هي الكمادات الساخنة-الباردة، التي يمكن تسخينها في الفرن الكهرومغناطيسيّ أو تبريدها في الثلّاجة. وكذلك يمكن تسخين السوائل بالأكواب التي فيها إمكانيّة للتسخين الذاتيّ. يمكن شراء ضمادات التسخين والتبريد، الكمادات وأكواب التسخين الذاتيّ بتكلفة منخفضة (Mercateo, 2011) أو يمكن إيجادها في العديد من المنازل.

يمكن إجراء تحليل نوعيّ لهذه الأدوات أو تحليل كمّي لتأثيراتها، ويمكن تكرير النسخ الجيّدة في منافسة. إنّ استعمالاتها عديدة . لتوضيح ذلك ستُعرَض تجربة أخرى. في هذه التجربة سيتمّ استعمال وسادة تدفئة لبحث سلوك الغازات بدرجات حرارة مختلفة. الأدوات المطلوبة للتجربة هي: قنينة، قشّة، طين ووسادة تدفئة. أولًا يجب تعبئة القنينة بماء ملوّن ثمّ وضع القشّة في القنينة حتّى تغوص في الماء، وسدّ القنينة سدًّا محكمًا بالطين (Köthe, 2008). الشكل رقم 10.5 يوضّح المطلوب. يمكن تسخين الهواء الموجود في القنينة بواسطة وسادة التسخين عن طريق وضعها بالقرب من القنينة. التغيير بمستوى الماء في القشّة يعبّر لنا عن مدى توسّع الهواء.

شكل 10.5: تجربة بسلوك الغاز عند تغيُّر درجة الحرارة

من الجدير بالذكر أنّه في المنزل يمكن إيجاد أشياء أخرى غير الأدوات للتجارب. كما ذُكِر في الفصول السابقة عن الأدوات من متاجر الأدوات المنزليّة، يمكن إيجاد البدائل الموادّ الكيميائيّة في البيت أو السوق. يمكن استخدام العديد من البدائل التي ذُكِرت في الأمثلة بالتجارب الكيميائيّة المؤسّسة على الحموض. هكذا فيمكن الاستعانة بكلّ من الملفوف الأحمر، الباذنجان، الفجل، الورد أو الشاي كمؤشّرات. يمكن تحويل الملفوف الأحمر إلى مؤشّر بسهولة عن طريق قطعه إلى قطع صغيرة وإضافته مع الكحول المسمّمة لقدر للطبخ. بعد غليها ببطء لمدّة 15 دقيقة، يمكن خزن الكحول المسمّمة حمراء اللون واستعمالها كمؤشّر. بمساعدة هذا المؤشّر، يمكن فحص درجة الحموضة (pH) في محلول الصابون، محلول الملح، حمض الخليك المخفف أو في منظفة الغليون (Press, 1995؛ Schwedt, 2003). ما نراه في الشكل 10.6 يمثّل نطاق الألوان التي ينتجها مؤشّر الملفوف الأحمر في محلول صابون عاديّ، محلول ملح عاديّ، الكحول المسمّمة، حمض الخليك المخفّف، محلول صابون مخثّر ومنظّف العفن.

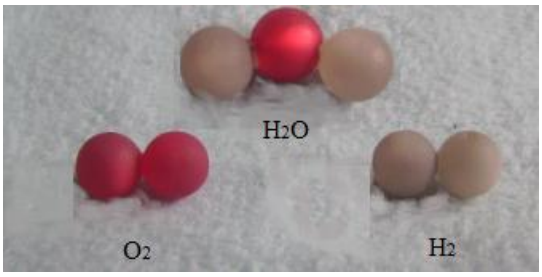
هنالك العديد من الإمكانيّات للتطبيق غير الإمكانيات المذكورة أعلاه. يعرض شويدت (Schwedt, 2003؛2011) تجميع الكلور، النيتروجين، أو غاز الهيدروجين. يمكن أيضًا تجميع ثاني أكسيد الكربون من صودا الخبز، وحمض الخليك المخفف أو بناء بركان (Ardley, 1997) أو توليد الكهرباء بواسطة البطاطا

(Press, 1995). الكاتب الأخير يقترح أيضًا استخدام الصودا لتقليد كهف.

شكل 10.6: نطاق الألوان التي ينتجها مؤشّر الملفوف الأحمر في محاليل مختلفة من البيت

كما ذُكِر سابقًا، الحصول على البدائل الكيميائيّة سهل؛ لأنّ كلّ ما هو مطلوب فقط بعض المنتوجات من السوبرماركت المتوفّرة بتكلفة منخفضة. من خلال استعمال هذه الموادّ يتعلّم الطلاب أنّ الكيمياء ليست موجودة فقط في المدرسة بل في حياتنا اليوميّة أيضًا. لكن هنالك أيضًا مساوئ لهذا التوجّه. تكون نتائج التجارب بالموادّ البيتيّة أحيانًا أضعف بسبب عدم وجود النقاء الموجود في التجارب بالموادّ الموجودة في المختبرات الكيميائيّة.

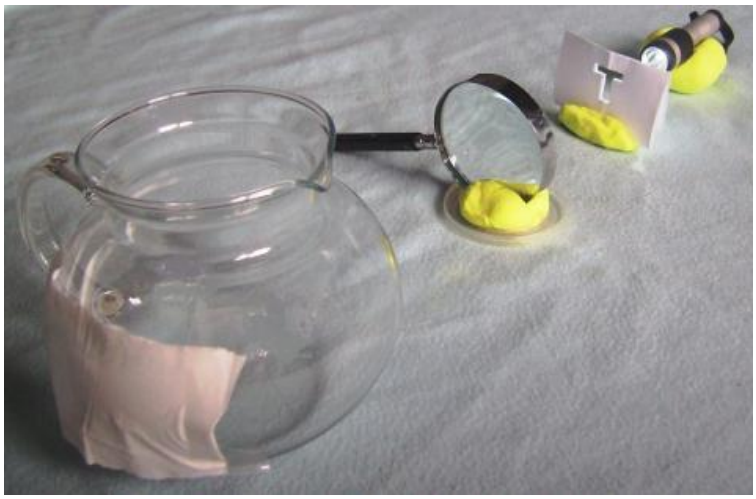
يجدر بالذكر هنا، أنّه يمكن استعمال الأدوات اليوميّة ليس فقط للتجارب بالعلوم الطبيعيّة. يمكن بناء نماذج معيّنة واستعمالها. مثلًا استعمال الخرز الملوّن لبناء نماذج جزيئيّة (شكل 10.7).



شكل 10.7: جزيئات من الخرز

يمكن بهذه الطريقة بناء النماذج البيولوجيّة أيضًا، مثلًا، نموذج العين. يتعلّم الطلاب من هذا النموذج عن كيفيّة عمل العين. لبناء هذا النموذج يجب توفير صندوق من كرتون، لاصق قويّ، عدسة مكبّرة، الطين، محرمة من ورق، مصباح يد وإناء زجاجيّ مدوّر (أو ابريق شاي زجاجي) (Ardley, 1997). يجب لصق المحرمة على الإناء، وقصّ شكل معيّن على الصندوق. بعد ذلك يتمّ تمكين الصندوق والعدسة المكبّرة بواسطة الطين، كما هو بالشكل رقم 10.8.

إذا تمّ توجيه المصباح تجاه الشكل الموجود على الصندوق فيظهر الشكل ذاته على المحرمة، لكنّه يكون



مقلوبًا بـ180°. تعمل العدسة المكبّرة كعدسة في العين، فيمكن تعديل الصورة على المحرمة عن طريق تحريك العدسة المكبّرة. (Ardley, 1997).

شكل 10.8: نموذج عين

11. توجهات للتجارب البيولوجيّة منخفضة التكلفة

تعرّفنا في الفصول السابقة، على طرائق عديدة لإجراء تجارب بتكلفة منخفضة، وقد عُرِضت العديد من التجارب كأمثلة. لكن حتّى الآن لم تُعرَض العديد من التجارب في مجال البيولوجيا. هدف هذا الفصل هو تغطية هذا المجال بشكل أوسع.

يمكن استعمال الطرائق التي سيتم عرضها هنا أيضًا في دروس البيولوجيا المدرسيّة. لذا يمكن استبدال الموادّ المطلوبة للتجارب المتّبعة بموادّ مختلفة منخفضة التكلفة. هكذا هو الحال في نموذج التنفّس حسب Sapper وWidhalm (2001).

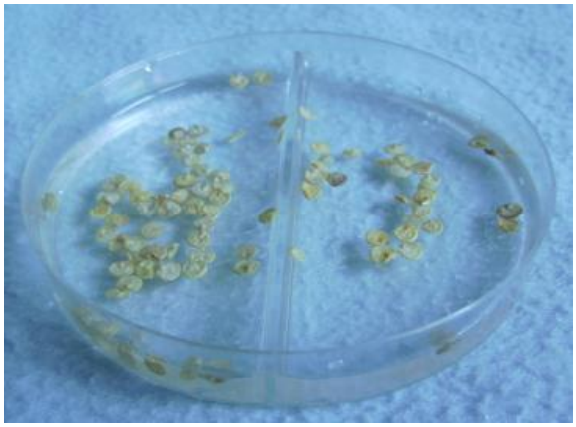
بعكس التجارب الكيميائيّة والفيزيائيّة، هنالك العديد من التجارب البيولوجيّة التي يمكن إجراؤها بواسطة النباتات، أوراق الشجر، ساق النبات، أو ثمرها. مثلًا، كشف الزيوت الأساسيّة، تجربة على مادّة الكاروتينويد بالفلفل، تجارب للكشف عن التورّم والنتح في النباتات، أو برهان تشكيل الأكسجين خلال عملية التمثيل الضوئيّ (Schwedt, 2007؛ Sapper & Widhalm, 2001؛ Wild, 1999).

من السهل أن يجمع الطلاب الأقسام من النباتات المطلوبة لهذه التجارب من الحدائق والملاعب أو من ساحة المدرسة، أو يمكن زرع النباتات بأوعية في الصفّ لضمان توفّر الأوراق الجديدة. بالإضافة لذلك، يمكن شراء الأزهار أو الفاكهة من الأسواق بأسعار منخفضة للغاية.

لكن أحيانًا يكون توفير النبتة نفسها بيد الطلاب ضروريًّا. بإمكانها أن تكون مزروعة ذاتيًّا من قبل المعلم أو أحد الطلاب (Keil & Kremer, 2004). لذا، يجب نقع البذور المرغوبة بماء من الحنفيّة بدرجة حرارة الغرفة لمدّة نصف يوم أو لليلة (شكل 11.1). بعد ذلك يتمّ بسطها على ورق نشّاف بوعاء بتري. يجب أن

تنبت بدرجة حرارة 25° C تقريبًا. بعد مرور ساعة حتّى ساعتين، ستكون الجذور قد نمت حوالي 5 سم، وعندها يمكن وضع النباتات الصغيرة في محلول من المغذّيات حيث تنمو النباتات لمدة 5-8 أيّام حتّى يصلح استعمالها في التجارب.

من أجل فهم التجارب بالنباتات أفضل، ستُعرَض تجربة لكشف الأكسجين الناتج خلال عملية التركيب



الضوئيّ، وتجربة أخرى لاستخراج مادّة الكاروتينويد من الفلفل.

شكل 11.1: بذور نبتة الفلفل قبل انتفاخها

للتجربة الأولى يجب توفير: مطعوم نبات لا يذبل بسرعة، 3 مرطبانات مع أغطيتها، 3 شمعات شاي، 3 عيدان للأسنان، قشّة، رقائق الألومنيوم، ساعة توقيف وماء من الحنفيّة. للتحضير للتجربة يجب وضع عود الأسنان بين الشمعة ومحيطها الألومنيوم (شكل 11.2)، ممّا يسهّل عمليّة نقل الشمعة. يجب أن

يكون طول عود الأسنان أقلّ من طول المرطبان. بعد تغطية المرطبان بالألومنيوم يجب تعبئته بالماء، ثمّ يُغطّى أحد المرطبانات بهدف المقارنة. يُوضَع مطعوم نبات في المرطبان الثاني (شكل 11.3) ثمّ يتمّ تغطيته هو الآخر. أمّا المرطبان الأخير، فيجب أن يتنفّس أحد الطلاب لداخله من خلال القشّة ثمّ يتمّ تغطيته.

شكل 11.2: شمعة شاي مع عود أسنان

شكل 11.3: مطعوم نبات بمرطبان مُظلم

يجب وضع المرطبانات الثلاثة بالقرب من شبّاك لبضع أيّام. في الدرس التالي يمكن المقارنة بين كمّيّات الأكسجين في المرطبانات بمساعدة الشمع.

أمّا للتجربة باستخراج مادّة الكاروتينويد من الفلفل؛ فهناك حاجة فقط بالفلفل بألوان مختلفة، الكحول ميثيليّة، أكواب الطرد المركزي ("أكواب إبندورف") وشفرة للقطع. يجب أوّلًا قطع الفلفل لقطع صغيرة بالسكّين، ووضع بعض القطع بالكوب، ثمّ ملؤه بالكحول الميثيليّة وهزّها للتخليط. يعرض لنا الشكل 11.4 النتائج المتوقّعة من التجربة. تتراكم مادّة الكاروتينويد في الطور الغازي، أمّا الزانتوفيل يبقى في المرحلة المائية-الإيثانوليّة.

شكل 11.4: استخراج مادّة الكاروتينويد من الفلفل الأخضر (يمين) والفلفل الأحمر (يسار)

ليست النباتات الموضوع الوحيد في درس البيولوجيا، بل يتمّ التطرّق للكائنات الحيّة أيضًا. بالتحديد، يمكن إجراء تجارب منخفضة التكلفة في موضوع أجهزة الحواسّ.

التجارب بالإدراك البصريّ ملائمة للغاية. للتوضيح ستُعرَض تجربة بالتصوير المجسّم (Sapper و Widhalm, 2001). متطلّبات التجربة هي: حلقة ستار، خيط وقلم رصاص. يجب تعليق الحلقة من الخيط حيث تكون ظاهرة لـ"شخص التجربة" (شكل 11.5). ثمّ يغطّي شخص التجربة إحدى عينيه، ويحاول إدخال القلم من خلال الحلقة بيده الأخرى.

يقترح الكاتب أمثلة أخرى لتجارب بتكيّف العين، السمع الاتّجاهي، تنسيق الحركة أو تبليد حاسّة الشم عند أحد الطلاب. إجمالًا، يجب التأكيد أنّ التجارب المعروضة في هذا الفصل كلّها يمكن إجراءها بتكلفة منخفضة دون استثناء، حيث إنّ استعمال النبتات أو مطعوم النبات، وكذلك مشاركة الطلاب غير

مكلفة، وشراء موادّ أخرى لهذه التجارب تكلفتها أيضًا منخفضة، كما تبيّن في الفصول السابقة.

شكل 11.5: تجربة بالتصوير المجسّم

أخيرًا، سيتمّ التطرّق لجوانب من دروس البيولوجيا. المجهر هام جدًّا في البيولوجيا. هنالك قوانين معيّنة للتجارب التي تجعل استخدام المجهر ضروريًّا (Wild, 1999؛ Sapper و Widhalm, 2001). شراء هذه المعدّات مكلف جدًّا، حيث يكلّف المجهر مثلًا حوالي 200€ في المتاجر المختصّة (Henkel, 2003).

لكن، في العديد من الحالات يمكن تجنّب شراء المعدّات المكلفة عن طريق شراء نماذج أقلّ تكبيرًا، ومتوفّرة بتكلفة منخفضة نسبيًّا (Tillmann, 2011). اليوم، توجد مجاهر بسيطة بحوالي 20€ تتوافق مع خفض التكاليف بعامل مقداره 10 مرّات. لكن باحث آخر (Henkel, 2003) يشرح بالتفصيل أنّ جودة العديد من المجاهر الرخيصة رديئة، ممّا لا يلائم دروس البيولوجيا المتقدّمة. يمكن ملاحظة ذلك بالتكبير المنخفض، صناعة رديئة، وبصريات ضعيفة. لذا، قبل شراء مجهر يجب أن يفهم المشتري متطلّبات استعمالاته. فكرة أخرى هي استبدال المجهر بالعدسات المكبّرة (Henkel, 2003). يمكن تحقيق هذا بالذات مع المجموعات صغيرة السن. (شكل 11.6). بإمكان عدسات التكبير أن تكبّر حتّى 10 أضعاف، ويمكن شراؤها بجودة جيّدة بأقل من 10€ (Henkel, 2003).

فائدة أخرى لاستعمال العدسات المكبّرة بدلًا من المجاهر المكلفة هي أنّها متينة. لا يملك التلاميذ عادةً وصغار السن خاصّةً المهارات اليدويّة الكافية لاستعمال الأدوات المكبّرة المكلفة بشكل ملائم وحذر.

شكل 11.6: عدسة مكبّرة

المراجع

Apotheke am Wolfsanger. (2006). *Online-Apotheke*. Accessed on 24th July 2011: http://www.medizinwiesel24.com/.

Ardley, N. (1997). *101 spannende Experimente aus Wissenschaft und Technik.* Bindlach: Loewe-Verlag.

Bader, H. J. (2003). Nachhaltigkeit und nachhaltiges Arbeiten. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie, 52* (3), 16 - 20.

Bradley, J. D., Durbach, S., Bell, B., & Mungarulire, J. (1998). Hands-On Practical Chemistry for All - Why and How. *Journal of Chemical Education, 75*(11), 1406 - 1409.

Bradley, J. (2006). The Microscience Project and its Impact on Pre-service and In-service Teacher Education . In M. Hugerat, P. Schwarz, & P. Livneh, *Microscale Chemistry Experimentation for all Ages* (S. 26 - 39). Haifa: Tha Academic Arab College for Education.

Brand, B. H. (2010). *BRANDs CHEMIE*. Accessed on 24th July 2011: http://www.bhbrand.de/index.php.

Choi, M. M. (2002). Microscale Chemistry in a Plastic Petri Dish: Preparation and Chemical Properties of Chlorine Gas. *Journal of Chemical Education, 79*(8), 992 - 993.

ConradElektrik. (2011). *Conrad. Voller Ideen*. Abgerufen am 27. August 2011 von http://www.conrad.de/ce/de/?insert_kz=NA&hk=SEM&WT.srch=1&gclid=CLu1jMak76oCFYIXzQodfyE7PA.

du Toit, M., & du Toit, C. (2006). Microscale Experiments using a STUDENT LAB. In M. Hugerat, P. Schwarz, & M. Livneh, *Microscale Chemistry Experimentation for all Ages* (S. 103 - 108). Haifa: The Academic Arab College for Education.

Eckert, B., Stetzenbach, W., & Jodl, H.-J. (2000). *Low Cost - hightech. Freihandversuche Physik. Anregungen für einen zeitgemäßen Unterricht.* Köln: Aulis-Verlag.

Eilks, I., Fischer, H., Hammann, M., Neuhaus, B., Petri, J., Ralle, B., et al. (2004). Forschungsergebnisse zur Neugestaltung des Unterrichts in den Naturwissenschaften. In H. Bayrhuber, *Konsequenzen aus Pisa. Perspektiven der Fachdidaktiken* (S. 197 - 216). Wien: Studienverlag.

El-Marsafy, M. K. (2004). Mikrochemische Maßanalyse. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, 81*, 16 - 19.

ELV-Elektronik. (2011). *ELV - Kompetent in Elektronik*. Accessed on 28th August 2011: http://www.elv.de/output/controller.aspx.

Ferdinand, P. (2007). *Selbstgesteuertes Lernen in den Naturwissenschaften. Eine Interventionsstudie zu den kognitiven und motivationalen Effekten eines Blended Learning Ansatzes*. Hamburg: Verlag Dr. Kovac.

Fischer, O. (2011). *Wissenschaft in die Schulen.*Accessed on 24th July 2011: http://www.wissenschaft-schulen.de/.

Full, R. (1996). Lichtblicke - Petrischalenexperimente in der Overhead-Projektion. *Chemie in unserer Zeit,* 30 (6), 286 - 294.

Häusler, K., Rampf, H., & Reichelt, R. (1995). *Experimente für den Chemieunterricht - mit einer Einführung in die Labortechnik.*München, Düsseldorf und Stuttgart: Oldenbourg (2. Auflage).

Henkel, K. (14. Juni 2003). *Die Mikrofibel.*Accessed on 28th Augsut 2011: http://www.mikroskopie-muenchen.de/mikrofibel.pdf.

Heuer,(2010). *Spectacular Experiments & Mad Science Kids Love: Science That Dazzles at Home, School or on the Go.* Bloomington: Authorhouse.

Joling, E. (2006). Introduction of Microscale Chemistry in the Netherlands. In M. Hugerat, P. Schwarz, & M. Livneh, *Microscale Chemistry Experimentation for all Ages* (S. 183 - 197). Haifa: The Academic Arab College for Education.

Just, N. (1990). Low-Cost-Experimente - Teil 4: Das Photometer in der Zigarrenkiste - eine Anleitung zum Selbstbau eines Photometers durch die Schüler. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie, 39* (1), 30 - 31.

Kappenberg, F. (2011). *Arbeitskreis Kappenberg*. Accessed on 24th July 2011:http://www.kappenberg.com/pages/start/start.htm.

Keil, M., & Kremer, B. P. (2004). *Wenn Monster munter werden - Einfache Experimente aus der Biologie.* Weinheim: Wiley.

Kieninger, M. (2008). *Physik mit 4- bis 6-Jährigen.* Berlin: Cornelsen.

Kircher, E., Girwidz, R., & Häußler, P. (2001). *Physikdidaktik: Eine Einführung.* Berlin: Springer.

Köhler-Krützfeld, A., & Gruvberg, C. (2000). Microscale Chemistry: Eine europäische Idee kehrt zurück nach Europa. *Praxis der Naturwissenschaften, 49* (5), 18 - 21.

Köthe, R. (2008). *Was ist Was - Experimentierbuch. 175 Experimente aus Physik, Biologie und Chemie.* Nürnberg: Tessloff.

Kranz, J. (2008). *Schulentwicklung konkret: Baustein "Schülermotivation".* Berlin: Cornelsen Scriptor.

Kruse-Özcelik, R., & Schwarz, P. (2004). Experimente für kleine Hände. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, 81*, 10 - 15.

Kuhn, J., & Rech, A. (2003). *Freihandexperimente und Naturphänomene aus den Naturwissenschaften*. Accessed on 27th August 2011: http://www.uni-landau.de/physik/fan/index.html.

Latzel, G. (1989). Low-Cost-Experimente- Teil 1: Das einfache Experiment. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie, 38* (6), 34 - 35.

Maisenbacher, P. (2011). *Landesbildungsserver Baden Würtemberg*. Accessed on 24th July 2011:http://www.schule-bw.de/.

Maurer. (2011). *Maurer - Lehr- und Forschungsmittel*. Accessed on 28th August 2011: http://www.mauer-gmbh.com/index2.htm.

Mellert, V., Grahl, S., Rechtien, P., Weusting, P., Poppinga, D., & Poppinga, T. (2001). *Physik für Kids*. Abgerufen am 27. August 2011 von http://www.physikfuerkids.de/.

Menzel, P. (1990). Low-Cost-Experimente: Teil 10: Eigenbau eines piezo-elektrischen Zündgerätes. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie, 39* (7), 34.

Mercateo. (2011). *Die Beschaffungsplattform für Geschäftskunden*. Accessed on 24th July 2011: http://www.mercateo.at/.

Neubert, M. (2011). *Dynatech - Ihr Taschenrechner Spezialist*. Accessed on 28th Augsut 2011: http://www.dynatech.de/index.php?prod=5379.

NeubertGlas. (2011). *Der Laborfachhandel*. Accessed on 24th July 2011: http://www.neubert-glas.de/.

Obendrauf, V. (2004). Toxisches Chlor vernünftig dosiert. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, 81*, 22 - 27.

Obendrauf, V. (2006). Fundamental Microscale Experiments from Austria, Presented Worldwide. In M. Hugerat, P. Schwarz, & M. Livneh, *Microscale Chemistry Experimentation for all Ages* (S. 300 - 321). Haifa: The Academic Arab College for Education.

Omikron. (2004). *Chemikalien und Laborgeräte*. Accessed on 24th July 2011: http://www.omikron-online.de/cyberchem/.

Pfeifer, P., Lutz, B., & Bader, H. J. (2002). *Konkrete Fachdidaktik Chemie.* München: Oldenbourg.

Pike, R. M. (2006). Through the Years with Microscale Chemistry. In M. Hugerat, P. Schwarz, & M. Livneh, *Microscale Chemistry Experimentation for all Ages* (S. 13 - 25). Haifa: The Academic Arab College for Education.

Press, H. J. (1995). *The Little Giant Book of Science Experiments.*New York: Ravensburger Buchverlag Otto Maier GmbH.

Rüter, M. (2009). *111 spannende Experimente für Kinder. Faszinierend. Verblüffend. Völlig ungefährlich.* München: Compact.

Sapper, N., & Widhalm, H. (2001). *Einfache biologische Experimente.* Wien: Klett.

Schallies, M. (1991). Mikrochemische Methoden im Schulexperiment - gestern, heute und morgen. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie, 40* (1), 2 - 5.

Schlichting, H. J., & Ucke, C. (2004). Der einfachste Elektromotor der Welt. *Physik unserer Zeit, 35* (6), 272 - 273.

Schmittingerm, T. (2011). *Katharineum. Städtisches Gymnasium für Jungen und Mädchen mit altsprachlichem Zweig.*Accessed on 24th July 2011:http://kath.mrstec.de:9673/.

Schneiderbanger, M. (2011). *Aquaristik - Margit Schneiderbanger*. Accessed on 28th August 2011: http://www.aquarium-laden.de/Start.

Schwan, T. (2005). Elektrochemie im Low-Cost Maßstab: Elektrolyse, Schmelzelektrolyse und galvanische Elemente im Kontext der Unterrichtsreihe „Atombau und chemische Bindung". *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht, 58* (3), 169 - 175.

Schwarz, P., & Lutz, B. (2004). Kreativer Chemieunterricht: Mikrochemische Experimente in der Schule. *Naturwissenschaften im Unterricht, 81*, 4 - 9.

Schwedt, G. (2001). *Experimente mit Supermarktprodukten: eine chemische Warenkunde.* Weinheim: Wiley-VCH.

Schwedt, G. (2003). *Noch mehr Experimente mit Supermarktprodukten: das Periodensystem als Wegweiser.* Weinheim: Wiley-VCH.

Schwedt, G. (2007). *Chemie für alle Jahreszeiten - Einfache Experimente mit pflanzlichen Naturstoffen.* Weinheim: Wiley-VCH.

Seilnacht, T. (2002). *Naturwissenschaftliches Arbeiten*. Accessed on 24th July 2011: http://www.seilnacht.com/.

Sigma-Aldrich, C.-O. (2011). Accessed on 24th July 2011: http://www.sigmaaldrich.com/germany.html.

Singh, M. M., Szafran, Z., & Pike, R. M. (1999). Microscale Chemistry and Green Chemistry: Complementary Pedagogies. *Journal of Chemical Education 76* (12), 1684 - 1686.

Singh, M. M., & Szafran, Z. (2000). Chemie im Mikromaßstab: Labortechnik mit Zukunft. *Praxis der Naturwissenschaften, 49*(5), 7 - 11.

The-radmaste-microscience-System. (2010). *The UNESCO-AssociatedCentre for Microscience Experiments.*Accessed on 24th July 2011:http://www.microsci.org.za/RADMASTEBrochure.pdf.

Tillmann, A. (2011). *Kids Science*. Accessed on 24th July 2011:http://www.kids-and-science.de/kids-and-science/startseite.html.

von Borstel, A. (2009). *ChemZ. Chemieunterricht mit medizinischem Zubehör*. Accessed on 24th July 2011: http://www.chemz.de/index.php/chemz-allgemeine-infos.html.

von Borstel, G., & Böhm, A. (2004). ChemZ - Chemieunterricht mit medizintechnischem Zubehör. *Naturwissenschaft im Unterricht Chemie, 81*, 48 - 49.

von Borstel, G., & Böhm, A. (2006). Ein preiswerter Hoffmann'scher Zersetzungsapparat für Schülerübungen - Medizintechnik als kostengünstiger Ersatz für Glasgeräte. *Der Mathematischen und Naturwissenschaftlichen Unterricht, 59* (6), 262 - 264.

Wild, A. (1999). *Pflanzenphysiologische Versuche in der Schule.* Wiebelsheim: Quelle & Meyer.

Wilke, H.-J. (1998b). Überraschende Experimente mit Kunststoffflaschen Teil 2. *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht, 51* (2), 106 - 109.

Wilke, H.-J. (1998c). Überraschende Experimente mit Kunststoffflaschen Teil 5. *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht, 51* (6), 359 - 363.

Wilke, H.-J. (1998a). Überraschende Experimente mit Kunststoffflaschen: Eine Einführung in die Beitragsreihe. *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht, 51* (1), 20 - 25.

Wood, C. G. (1990). Microchemistry. *Journal of Chemical Education, 67* (7), 596 - 597.

Zhou, N. H. (2004). Experimente mit der wellplate 6. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, 81*, 21 - 22.

Zinsser-Analytic (2011). *Zinsser Analytic*. Accessed on 24th July 2011: http://www.zinsser-analytic.com/.