2.0 Introduction

L'équipement utilisé pour cette expérience est illustré en Fig. 2.1.

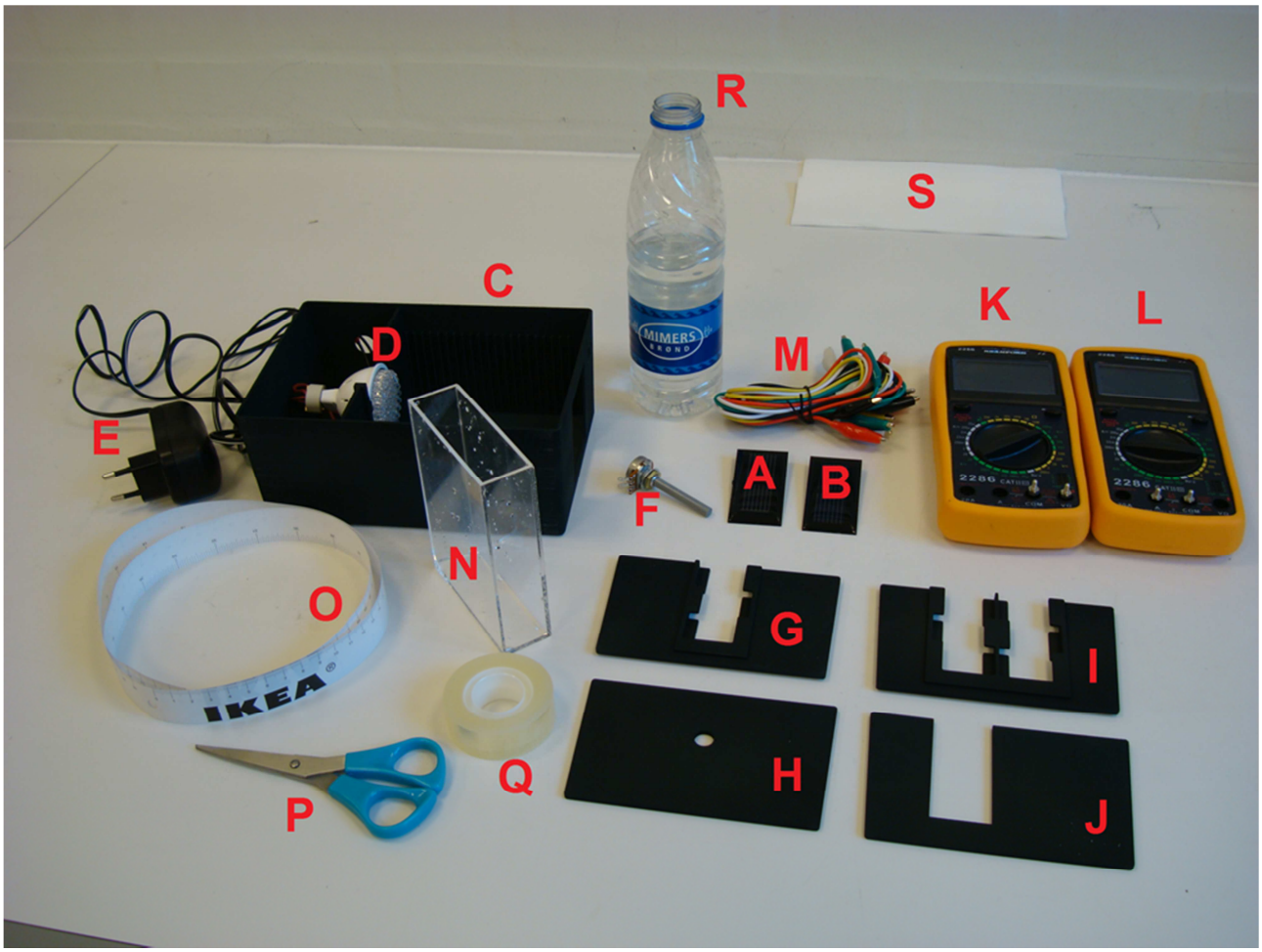

Figure 2.1 Équipement utilisé pour l'expérience E2.

Liste d'équipement (voir Fig. 2.1):

A: Cellule solaire

B: Cellule solaire

C: Boîtier comprenant les fentes pour le montage de la source lumineuse, cellules solaires, etc.

D: Source lumineuse LED dans son support

E: Source d'alimentation pour source lumineuse D

F: Potentiomètre

G: Support pour monter une seule cellule solaire dans le boîtier C

H: Ouverture circulaire à utiliser dans le boîtier C

I: Support pour monter deux cellules solaires dans le boîtier C

J: Plaque d´occultation à utiliser dans le boîtier C

K: Multimètre numérique

L: Multimètre numérique

M: Câbles avec pinces crocodiles

N: Cuve à eau, transparente

O: Mètre ruban

P: Ciseaux

Q: Ruban adhésif

R: Eau pour remplir la cuve N

S: Papier absorbant pour sécher l'excès d'eau

T: Tasse en plastique pour l'eau du réservoir optique N (non représentée sur la photo de la Fig. 2.1)

U: Pipette en plastique (non représentée sur la photo de la Fig. 2.1)

V: Couvercle pour boîtier C (non représentée sur la photo de la Fig. 2.1)

Feuille de donnés : table de constantes fondamentales

Vitesse de la lumière dans le vide	
Charge élémentaire	
Constante de Boltzmann	

Une cellule solaire transforme une partie de l'énergie électromagnétique contenue dans la lumière incidente en énergie électrique, en séparant les charges à l'intérieur de la cellule. De cette façon un courant électrique peut être généré. L'expérience E2 a pour but d'étudier des cellules solaires à l'aide de l'équipement fourni. L'équipement est constitué d'un boîtier muni de supports pour recevoir la source lumineuse et les cellules solaires ainsi que diverses plaques et un couvercle.

Un potentiomètre doit être monté dans le boîtier, voir Fig. 2.2. L'une des trois bornes du potentiomètre a été retirée, l'expérience ne requérant que les deux bornes restantes. Vous disposez également de câbles munis de petites pinces crocodiles ainsi que deux cellules solaires (identifiées par un numéro de série ainsi que la lettre A ou B) présentant des bornes à l'arrière. Les deux multimètres peuvent respectivement être utilisés en ampèremètre ou en voltmètre (voir Fig. 2.3).

Finalement, nous utiliserons une cuve ainsi que de l'eau potable fournie dans une bouteille.

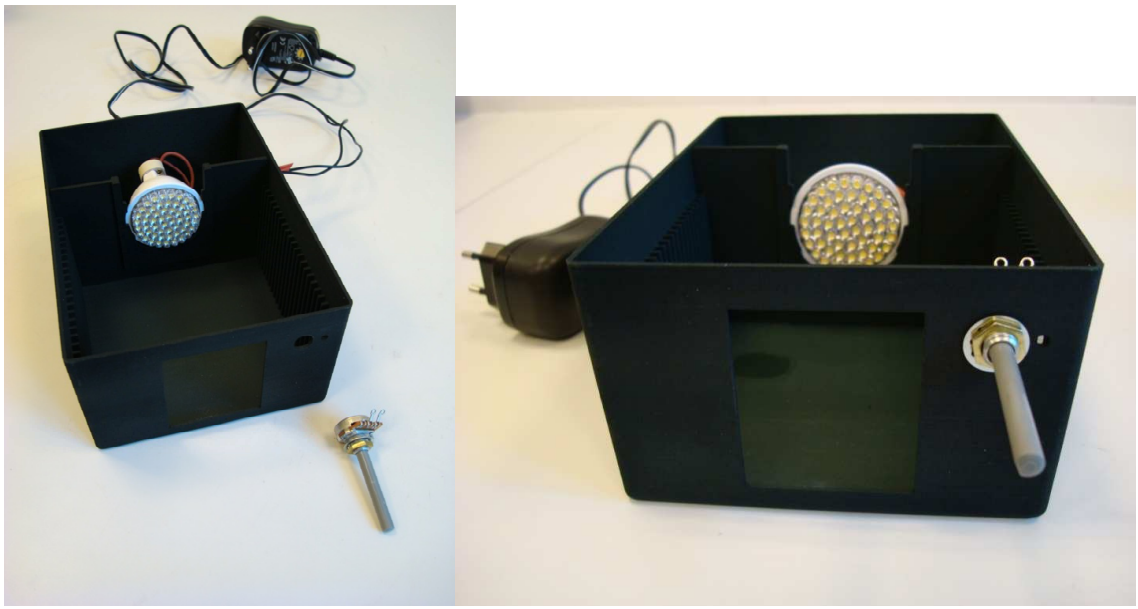

Figure 2.2 (a) Boîtier avec source lumineuse avant montage du potentiomètre. **(b)** Le potentiomètre après montage dans le boîtier. Notez le petit trou à droite de la tige, conçu pour accueillir le petit ergo du potentiomètre.

Figure 2.3 Multimètres équipés de connexions, pour être utilisés respectivement en ampèremètre (à gauche) et en voltmètre (à droite). Le multimètre est mis en marche en appuyant sur la touche “POWER” dans le coin supérieur gauche. Le multimètre s'éteint automatiquement après un certain temps d'inactivité. Il peut mesurer un courant continu ou une tension continue ainsi qu´un courant alternatif ou une tension alternative . La résistance interne du voltmètre est de 10 MΩ, quelque soit le calibre. La différence de potentiel de l'ampèremètre est de 200 mV en pleine lecture, indépendamment du calibre. En cas de surcharge l'appareil

affichera “l”, et vous devrez alors sélectionner un calibre plus grand. Le bouton “HOLD” (coin supérieur droit) ne doit pas être enfoncé, sauf si vous désirez conserver une mesure.

AVERTISSEMENT. Ne pas utiliser le multimètre comme un ohmmètre pour les cellules solaires, car le courant de mesure peut les endommager. Lorsque vous changez le calibre sur les multimètres, prière de tourner le commutateur avec soin. Il peut se détacher ou se briser. Vérifiez qu'un numéro apparaît en dessous du point décimal lors des mesures – si le commutateur n'est pas bien en place, le multimètre ne mesurera pas, mêmes si des chiffres sont affichés.

Note: Ne pas changer la tension de la source d'alimentation. Elle doit rester égale à 12V pendant toute la durée de l'expérience. (L’alimentation de la source lumineuse DEL doit être connectée à la prise de courant (230 V ~) se trouvant à votre table.)

Note : Les évaluations des incertitudes ne sont attendues que lorsqu’elles sont explicitement demandées.

Note : Toutes les valeurs mesurées et calculées doivent être données en unités SI.

Note : Les sources DEL sont supposées être allumées pendant toutes les mesures de courant et de tension effectuées au cours de cette expérience.

2.1 Dépendance du courant de la cellule solaire avec la distance à la source lumineuse

Pour cette question vous mesurerez le courant créé dans la cellule solaire à l’aide de l'ampèremètre, et déterminerez sa dépendance avec la distance à la source lumineuse. La lumière est produite à *l'intérieur* des diodes et la distance doit donc être mesurée comme indiqué sur la Fig. 2.4.

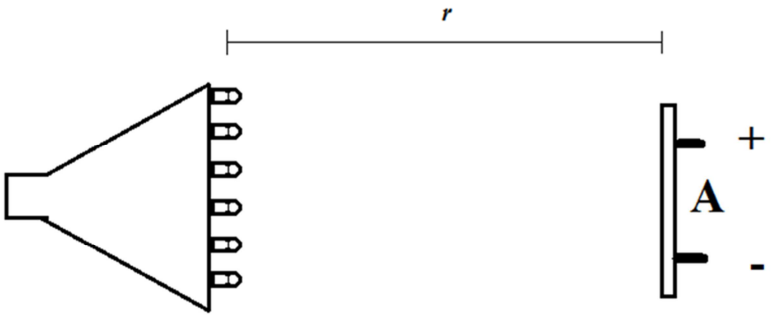

Figure 2.4 Vue de dessus du montage pour la question 2.1.
La distance est mesurée de l'intérieur des diodes lumineuses jusqu'à la surface de la cellule solaire.

Ne changez pas le calibre de l'ampèremètre au cours de cette expérience : la résistance interne de l'ampèremètre dépend du calibre de mesure et affecte le courant circulant dans la cellule solaire. L'ouverture circulaire doit toujours être placée immédiatement devant la cellule solaire.

Indiquez sur votre feuille de réponse les numéros de série de la source lumineuse et de la cellule solaire A. Montez la cellule solaire A dans le support unique et placez-la, avec l'ouverture circulaire, devant la source lumineuse. Lorsque r n'est pas trop petit, le courant en fonction de la distance à la source lumineuse peut être approximé par la relation :

$$\frac{\quad}{\quad}$$

où et sont des constantes.

2.1a	Mesurer en fonction de et construire un tableau de vos mesures.	1.0
2.1b	Déterminer les valeurs de et de à l'aide d'une méthode graphique appropriée.	1.0

2.2 Caractéristique de la cellule solaire

Enlevez l´ouverture circulaire. Montez le potentiomètre dans le boîtier comme indiqué en Fig. 2.2. Placez la source lumineuse dans la fente numéro 0, la plus éloignée du potentiomètre. Montez la cellule solaire A dans le support unique *sans l'ouverture circulaire* dans la fente numéro 10. Réalisez le circuit schématisé en Fig. 2.5, qui vous permettra de tracer la caractéristique de la cellule solaire, i.e. de mesurer la tension U aux bornes de la cellule solaire en fonction du courant I dans le circuit formé par la cellule solaire, le potentiomètre et l'ampèremètre.

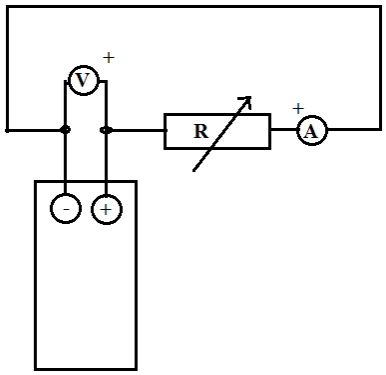

Figure 2.5 Schéma électrique pour déterminer la caractéristique demandée à la question 2.2.

2.2a	Construire un tableau de vos mesures de U et I.	0.6
2.2b	Tracer la tension en fonction du courant.	0.8

2.3 Caractéristique théorique de la cellule solaire

La caractéristique des cellules solaires est la suivante :

$$____$$

où les paramètres , , et sont constants pour un éclairement donné. La température T est . Les constantes fondamentales et représentent respectivement la charge élémentaire et la constante de Boltzmann.

2.3a	Utiliser la courbe de 2.2b pour déterminer .	0.4

On suppose que le paramètre est compris entre 1 et 4. Pour certaines valeurs de la tension , la formule peut être approximée par

$$____$$

2.3b	Déterminer la plage de valeurs de pour lesquelles l'approximation mentionnée ci-dessus est bonne. Déterminer graphiquement les valeurs de et pour votre cellule solaire.	1.2

2.4 Puissance maximale d'une cellule solaire

2.4a	La puissance maximale qu'une cellule solaire peut fournir à un circuit extérieur est notée . Déterminer pour votre cellule solaire à l'aide d'un petit nombre de mesures appropriées (vous pouvez aussi utiliser des mesures faites en 2 .2).	0.5
2.4b	Estimer la résistance de charge optimale , i.e. la résistance totale externe pour laquelle la cellule solaire fournit sa puissance maximale à . Exprimer votre résultat avec son incertitude, et expliquer votre méthode à l'aide de calculs appropriés.	0.5

2.5 Comparaison des cellules solaires

Montez les deux cellules solaires (A et B) dans le support double et le placer dans la fente numéro 15, voir Fig. 2.6.

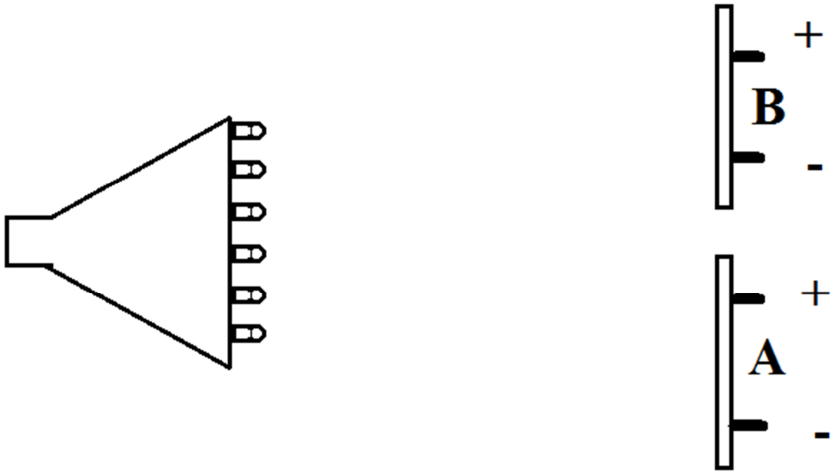

Figure 2.6 Vue de dessus de la source lumineuse et des cellules solaires pour la question 2.5.

2.5a	Mesurer, pour un éclairement donné : - la tension maximale aux bornes de la cellule solaire A, - le courant maximal traversant la cellule solaire A. Procéder aux mêmes mesures pour la cellule solaire B.	0.5
2.5b	Dessiner les schémas électriques de vos circuits en indiquant le câblage des cellules solaires et des multimètres.	0.3

2.6 Couplage des cellules solaires

Les deux cellules solaires peuvent être associées en série de deux façons différentes comme indiqué en Fig. 2.7. De même, il y a deux façons différentes de les associer en parallèle (non représentées sur la figure).

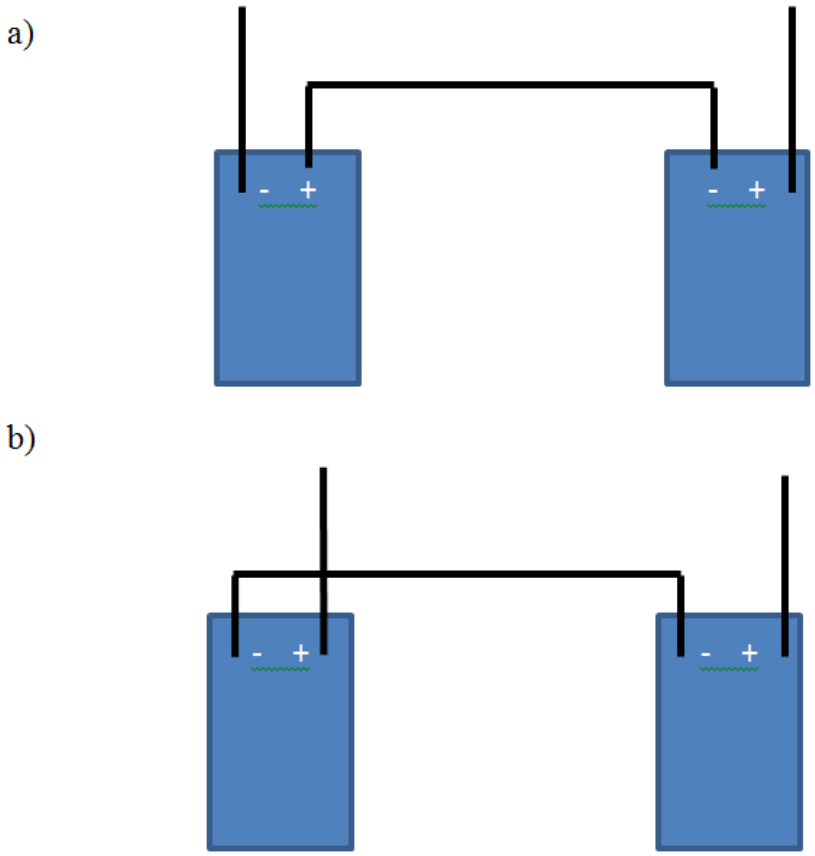

Figure 2.7 Deux façons d'associer les cellules solaires en série pour la question 2.6. Les deux façons de les associer en parallèle ne sont pas représentées.

2.6	Déterminer, parmi les quatre associations des deux cellules solaires, celle qui fournit la puissance maximale dans le circuit externe lorsqu'une des cellules solaires est masquée par la plaque d'occultation (J en Fig. 2.1). Indication : vous pouvez correctement estimer cette puissance en la calculant à partir de la tension maximale et du courant maximal mesurés dans chacune des configurations. Dessiner le schéma électrique correspondant.	1.0

2.7 L'effet de la cuve transparente sur le courant de la cellule solaire

Montez la source lumineuse dans le boîtier et placez la cellule solaire A dans le support unique avec l'ouverture circulaire directement devant, de façon à laisser approximativement 50 mm entre la cellule solaire et la source lumineuse. Placez la cuve transparente vide directement devant l'ouverture circulaire comme indiqué sur la Fig. 2.8.

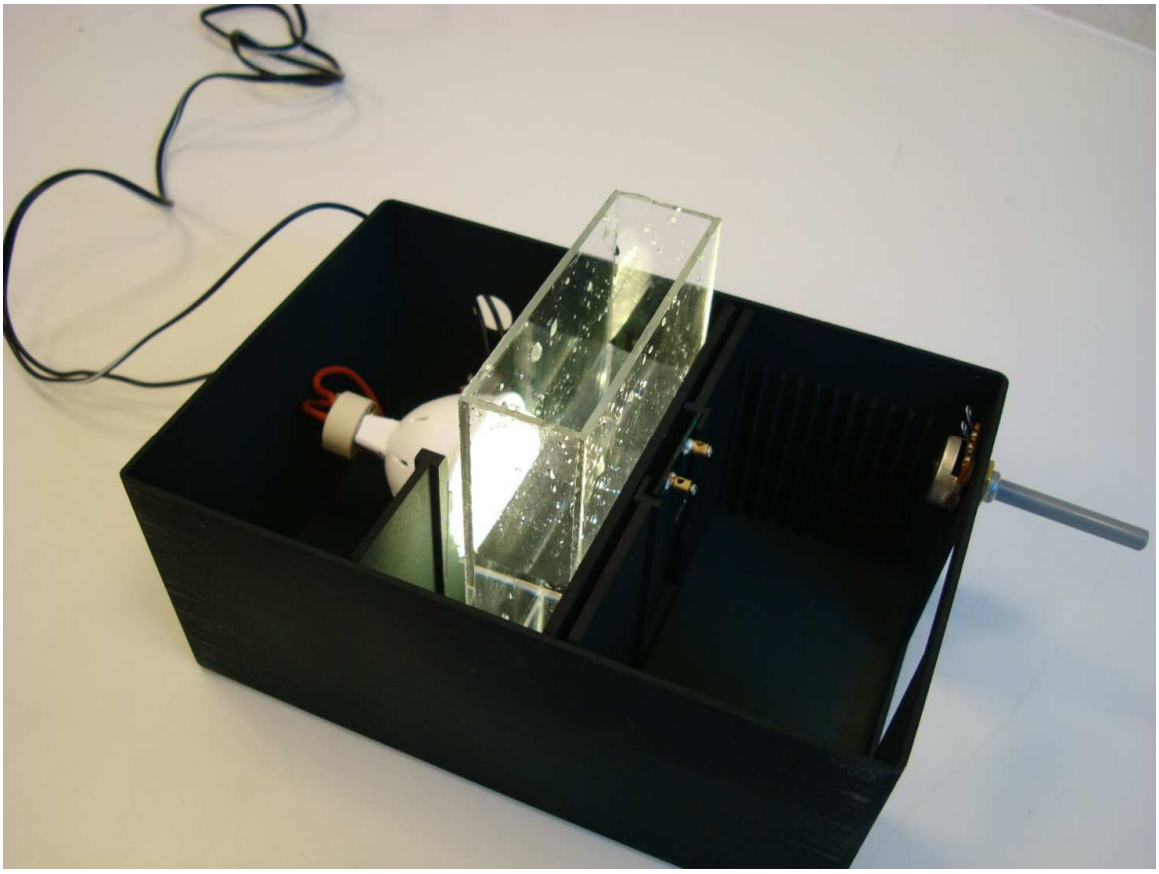

Figure 2.8 Montage expérimental pour la question 2.7.

2.7a	Mesurer le courant en fonction de la hauteur de l'eau dans la cuve, voir Fig. 2.8. Construire un tableau avec vos mesures et tracer un graphe.	1.0
2.7b	En utilisant seulement des schémas et des symboles, justifier l'allure du graphe obtenu.	1.0

Montez la source lumineuse dans le boîtier et placez la cellule solaire A dans le support unique de façon à ce que la distance entre la cellule solaire et la source lumineuse soit maximale. Placez l'ouverture circulaire directement devant la cellule solaire.

2.7c	Pour ce montage, effectuer les opérations suivantes : - Mesurer la distance entre la source lumineuse et la cellule solaire et le courant . - Placer la cuve vide directement devant l'ouverture circulaire et mesurer le courant . - Remplir la cuve d'eau, presque jusqu'en haut, et mesurer le courant .	0.6
2.7d	Utiliser vos résultats de 2.7c pour déterminer la valeur de l'indice de réfraction de l'eau, . Illustrer votre méthode à l'aide de schémas appropriés et d´équations. Vous pouvez inclure des mesures supplémentaires.	1.6

2.0 Introduction

Equipment used for this experiment is displayed in Fig. 2.1.

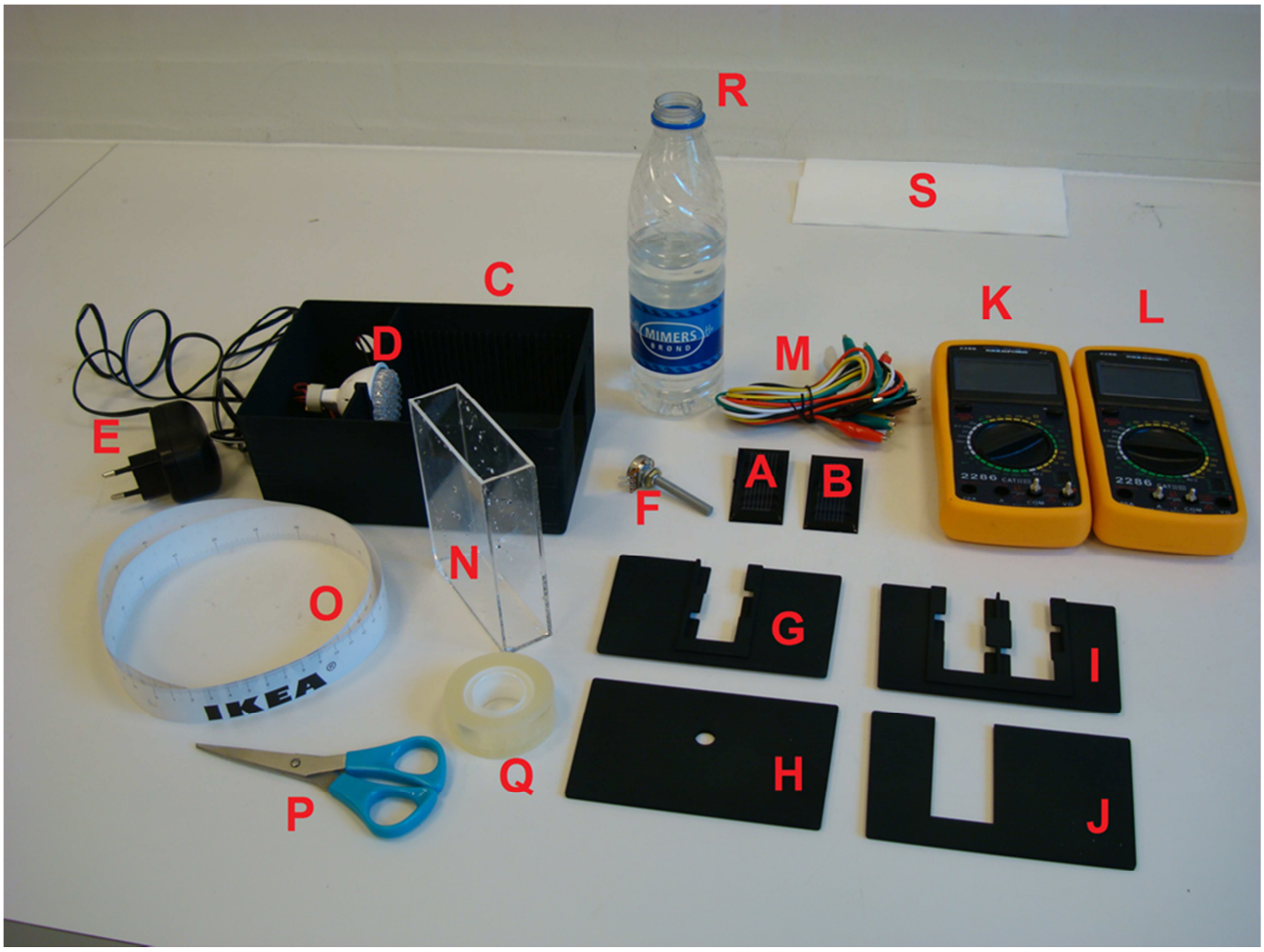

Figure 2.1 Equipment used for experiment E2.

List of equipment (see Fig. 2.1):

A: Solar cell

B: Solar cell

C: Box with slots for the mounting of light source, solar cells, etc.

D: LED-light source in holder

E: Power supply for light source D

F: Variable resistor

G: Holder for mounting single solar cell in the box C

H: Circular aperture for use in the box C

I: Holder for mounting two solar cells in the box C

J: Shielding plate for use in the box C

K: Digital multimeter

L: Digital multimeter

M: Wires with mini crocodile clips

N: Optical vessel (large cuvette)

O: Measuring tape

P: Scissors

Q: Tape

R: Water for filling the optical vessel N

S: Paper napkin for drying off excess water

T: Plastic cup for water from the optical vessel N (not shown in Fig. 2.1)

U: Plastic pipette (not shown in Fig. 2.1)

V: Lid for the box C (not shown in Fig. 2.1)

Data sheet: table of fundamental constants

Speed of light in vacuum	
Elementary charge	
Boltzmann's constant	

A solar cell transforms part of the electromagnetic energy in the incident light to electric energy by separating charges inside the solar cell. In this way an electric current can be generated. Experiment E2 intents to examine solar cells with the use of the supplied equipment. This equipment consists of a box with holders for light source and solar cells along with various plates and a lid. The variable resistor should be mounted in the box, see Fig. 2.2. One of the three terminals on the resistor has been removed, since only the two remaining terminals are to be used. Also supplied are wires with mini crocodile clips and two solar cells (labeled with a serial number and the letter A or B) with terminals on the back. The two solar cells are similar but can be slightly different. The two multimeters have been equipped with terminals for designated use as ammeter and voltmeter, respectively, see Fig. 2.3. Finally, the experiment will make use of an optical vessel together with some drinking water from the bottle.

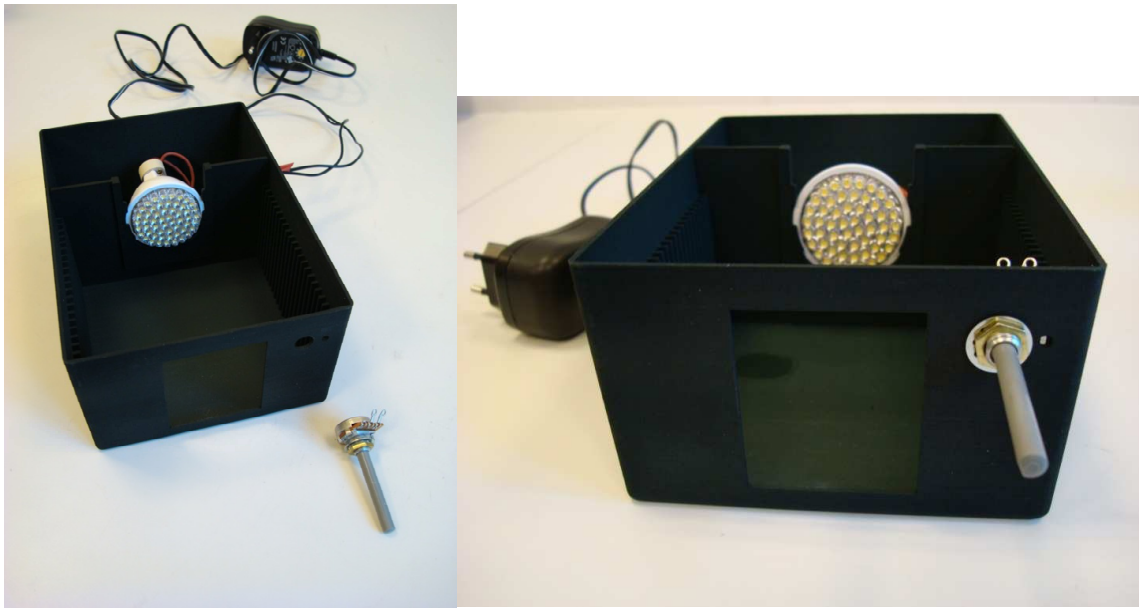

Figure 2.2 (a) Box with light source and resistor for mounting. **(b)** The resistor mounted in the box. Notice that the small pin on the resistor fits in the hole to the right of the shaft.

Figure 2.3 Multimeters equipped with terminals for use as ammeter **(left)** and voltmeter **(right)**, respectively. The instrument is turned on by pressing "POWER" in the top left corner. The instrument turns off automatically after a certain idle time. It can measure direct current and voltage as well as alternating current and voltage . The internal resistance in the voltmeter is 10 MΩ regardless of the measuring range. The potential difference over the ammeter is 200 mV at full reading, regardless of the measuring range. In case of overflow the display will show "l", and you need to select a higher measuring range. The "HOLD" button (top right corner) should not be pushed, except if you want to freeze a measurement.

WARNING: ***Do not use the multimeter as an ohmmeter on the solar cells since the measuring current can damage them. When changing the measuring range on the multimeters, please turn the dial with caution. It can be unstable and may break. Check whether there is a number under the decimal point when measuring – if the dial is not fully in place, the multimeter will not measure, even if there are digits in the display.***

Notice: Do not change the voltage on the power supply. It must be 12 V throughout the experiment. (The power supply for the light source should be connected to the outlet (230 V ~) at your table.)

Notice: Uncertainty considerations are only expected when explicitly mentioned.

Notice: All measured and calculated values must be given in SI units.

Notice: For all measurements of currents and voltages in this experiment, the LED-light source is supposed to be on.

2.1 The dependence of the solar cell current on the distance to the light source

For this question you will measure the current, , generated by the solar cell when in a circuit with the ammeter, and determine how it depends on the distance, , to the light source. The light is produced *inside* the individual light diodes and is therefore to be measured as shown in Fig. 2.4.

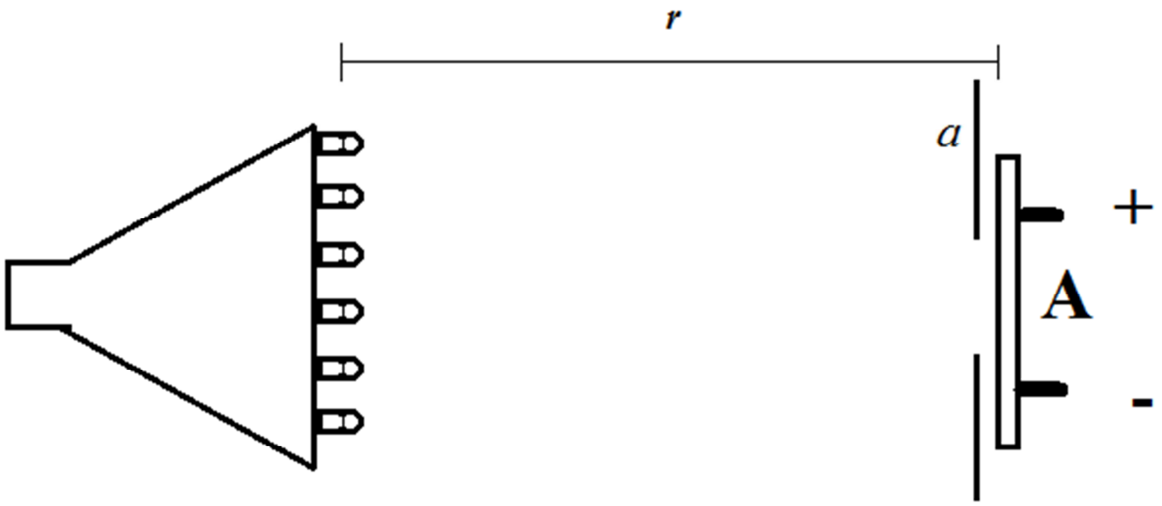

Figure 2.4 Top view of setup for question 2.1. Note the aperture *a* immediately in front of the solar cell A. The distance is measured from inside the light diode to the surface of the solar cell.

Do not change the measuring range on the ammeter in this experiment: the internal resistance of the ammeter depends on the measuring range and affects the current that can be drawn from the solar cell. State the serial numbers of the light source and of solar cell A on your answer sheet. Mount the light source in the U-shaped holder (the light source has a tight fit in the holder, so be patient when mounting it. Mount solar cell A in the single holder and place it together with the circular aperture immediately in front of the solar cell. The current as a function of the distance to the light source can, when is not too small, be approximated by

———
—

where and are constants.

2.1a	Measure I as a function of r, and set up a table of your measurements.	1.0
2.1b	Determine the values of I_a and a by the use of a suitable graphical method.	1.0

2.2 Characteristic of the solar cell

Remove the circular aperture. Mount the variable resistor in the box as shown on Fig. 2.2. Place the light source in slot number 0, furthest away from the resistor. Mount solar cell A in the single holder *without the circular aperture* in slot number 10. Build a circuit as shown in Fig. 2.5, so that you can measure the characteristic of the solar cell, i.e. the terminal voltage U of the solar cell as a function of the current I in the circuit consisting of solar cell, resistor and ammeter.

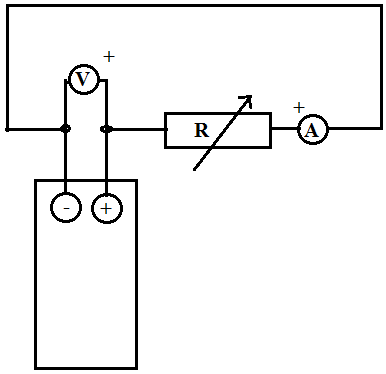

Figure 2.5 Electrical diagram for measuring the characteristic in question 2.2.

2.2a	Make a table of corresponding measurements of U and I.	0.6
2.2b	Graph voltage as function of current	0.8

2.3 Theoretical characteristic for the solar cell

For the solar cells in this experiment, the current as function of the voltage is given by the equation

_____

where the parameters , and are constant at a given illumination. We take the temperature to be . The fundamental constants and are the elementary charge and Boltzmann's constant, respectively.

2.3a	Use the graph from question 2.2b to determine .	0.4

The parameter can be assumed to lie in the interval from 1 to 4. For some values of the potential difference , the formula can be approximated by

_____

2.3b	Estimate the range of values of for which the mentioned approximation is good. Determine graphically the values of and for your solar cell.	1.2

2.4 Maximum power for a solar cell

2.4a	The maximum power that the solar cell can deliver to the external circuit is denoted . Determine for your solar cell through a few, suitable measurements. (You may use some of your previous measurements from question 2.2).	0.5
2.4b	Estimate the optimal load resistance , i.e. the total external resistance when the solar cell delivers its maximum power to . State your result with uncertainty and illustrate your method with suitable calculations.	0.5

2.5 Comparing the solar cells

Mount both solar cells (A and B) in the double holder in slot number 15, see Fig. 2.6.

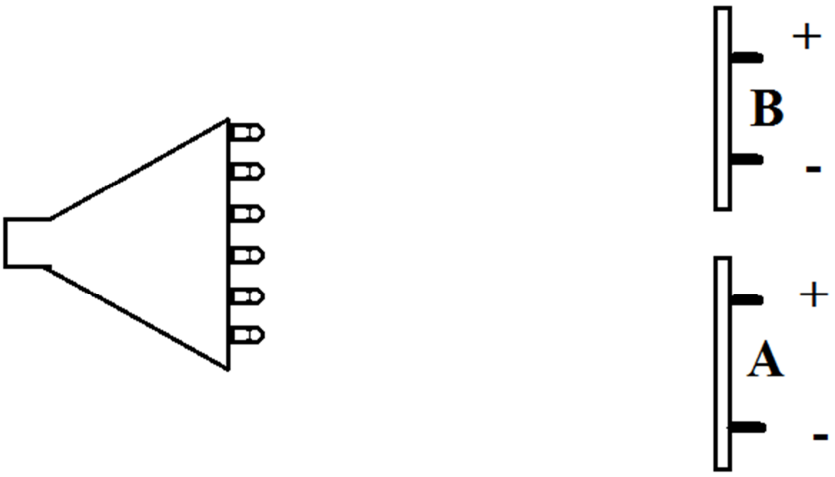

Figure 2.6 Top view of light source and solar cells in question 2.5.

2.5a	Measure, for the given illumination: - The maximum potential difference that can be measured over solar cell A. - The maximum current that can be measured through solar cell A. Do the same for solar cell B.	0.5
2.5b	Draw electrical diagrams for your circuits showing the wiring of the solar cells and the meters.	0.3

2.6 Couplings of the solar cells

The two solar cells can be connected in series in two different ways as shown in Fig. 2.7. There are also two different ways to connect them in parallel (not shown in the figure).

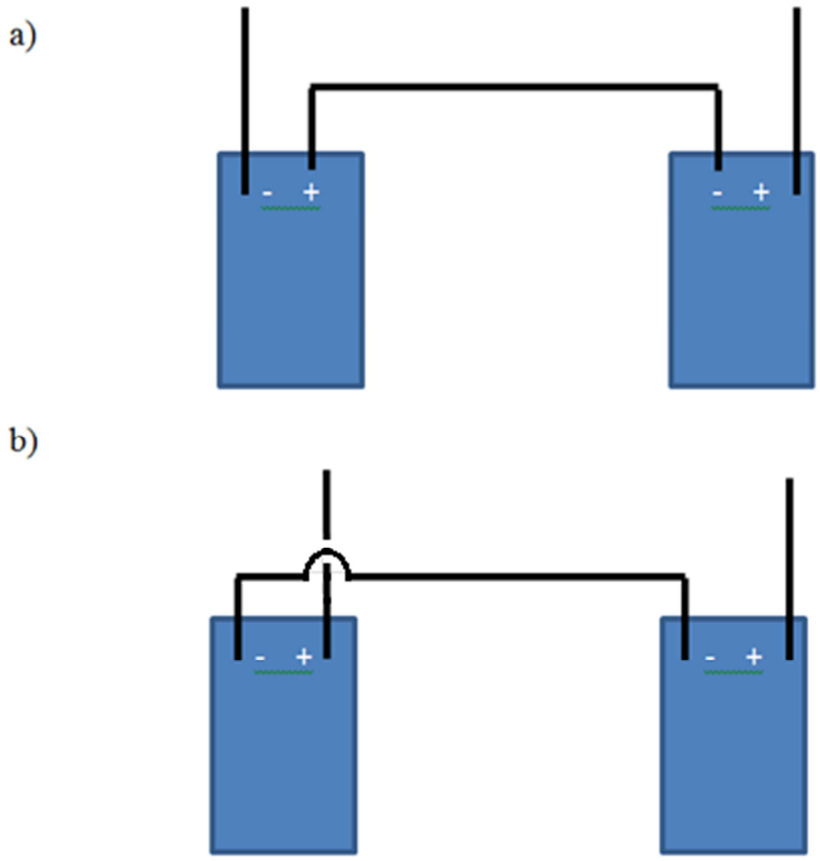

Figure 2.7 Two ways to connect the solar cells in series for question 2.6. The two ways to connect them in parallel are not shown.

2.6	Determine which of the four arrangements of the two solar cells yields the highest possible power in the external circuit when one of the solar cells is shielded with the shielding plate (J in Fig. 2.1). Hint: You can estimate the maximum power quite well by calculating it from the maximum voltage and maximum current measured from each configuration. Draw the corresponding electrical diagram.	1.0

2.7 The effect of the optical vessel (large cuvette) on the solar cell current

Mount the light source in the box and place solar cell A in the single holder with the circular aperture immediately in front, so that there is approximately 50 mm between the solar cell and the light source. Place the empty optical vessel immediately in front of the circular aperture as shown in Fig. 2.8.

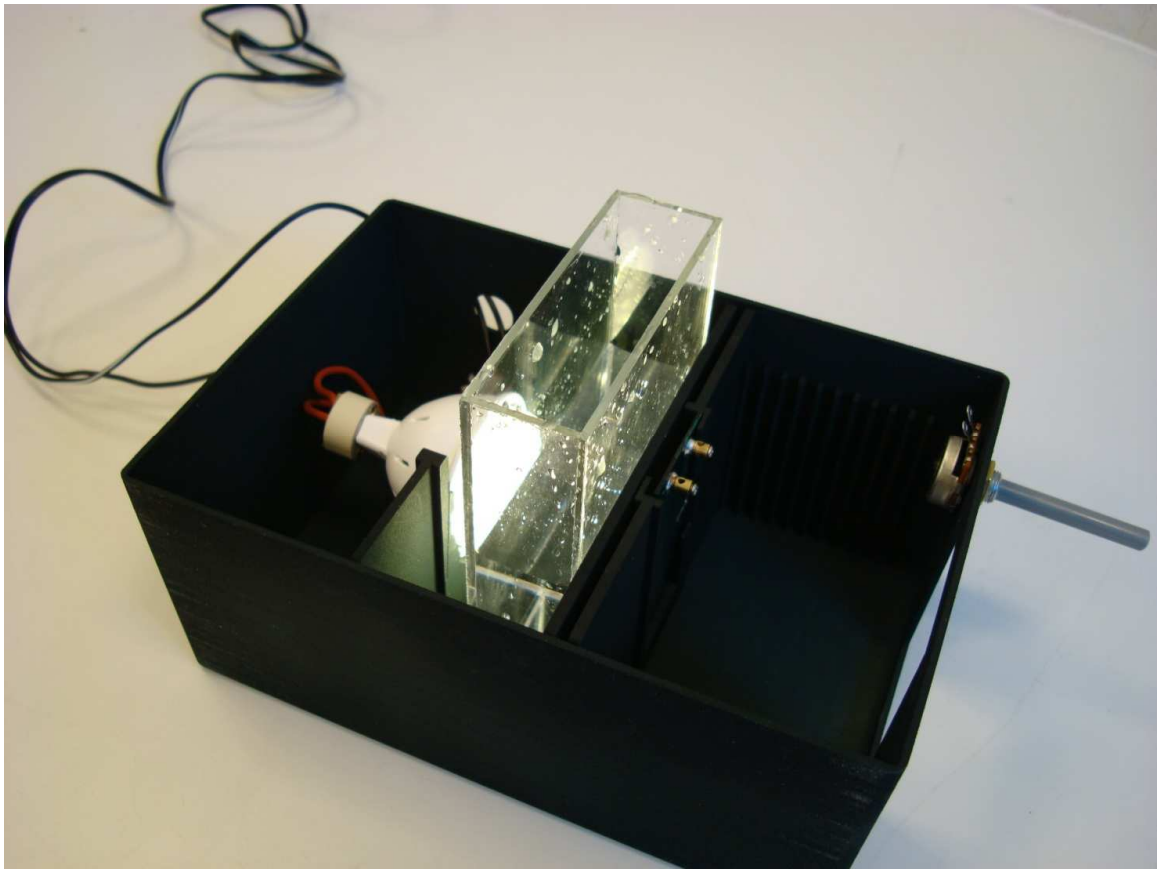

Figure 2.8 Experimental set-up for question 2.7.

2.7a	Measure the current *I*, now as a function of the height, *h*, of water in the vessel, see Fig. 2.8. Make a table of the measurements and draw a graph.	1.0
2.7b	Explain with only sketches and symbols why the graph looks the way it does.	1.0

Mount the light source in the box and place solar cell A in the single holder so that the distance between the solar cell and the light source is maximal. Place the circular aperture immediately in front of the solar cell.

2.7c	For this set-up do the following: - Measure the distance between the light source and the solar cell and the current . - Place the empty vessel immediately in front of the circular aperture and measure the current . - Fill up the vessel with water, almost to the top, and measure the current .	0.6
2.7d	Use your measurements from 2.7c to find a value for the refractive index for water. Illustrate your method with suitable sketches and equations. You may include additional measurements.	1.6