






DIONYSIS KONSTANTINOU · ANDREAS MEIER · ZBIGNIEW TRZMIEL

CAUCHEMAR DE GOAL



 Mouvement, rotation, roulis, énergie cinétique translationnelle, énergie cinétique rotationnelle, frottement

 Physique, TIC

 Deux séries d'activités sont proposées. La première convient à des élèves âgés entre 14 et 15 ans, et les deux séries conviennent à la catégorie d'âge 16 – 18 ans.

1 | SYNOPSIS

Les élèves étudieront le rebond d'un ballon en termes de mouvement, d'énergie cinétique et d'impulsion. Ils découvriront que l'énergie cinétique d'un corps réel est à la fois translationnelle et rotationnelle.

2 | INTRODUCTION THÉORIQUE

2 | 1 Résumé

Les gardiens de but disent que leur tâche se complique lorsque le ballon rebondit sur le sol devant eux. Dans ce module, nous montrons comment étudier les facteurs qui influent sur l'énergie et le mouvement d'un ballon qui rebondit. Dans ce contexte, les élèves appréhenderont les lois de la physique relativement aux mouvements de translation et de rotation d'un corps solide, notamment en ce qui concerne le mouvement de roulis. Deux expériences sous-tendent ce module. Les élèves enregistrent le mouvement d'un ballon et l'analysent à l'aide d'un appareil d'analyse de vidéo. Les expériences ont été choisies de manière à leur donner l'occasion d'étudier le phénomène correspondant. En conséquence, ils seront capables d'en tirer des conclusions et d'expliquer le phénomène de rebond en termes de force, de mouvement, de force d'impulsion et d'énergie.

2 | 2 Connaissances requises

Les élèves doivent connaître la physique des mouvements, le rôle de la force en mouvement, et les notions d'énergie potentielle et d'énergie cinétique par rapport à une masse ponctuelle. Ils doivent également être capables d'utiliser les grandeurs vectorielles telles que la vitesse et l'impulsion linéaire.

2 | 3 Connaissances théoriques

2 | 3 | 1 Cinétique

Le mouvement de roulis est la combinaison d'un mouvement de translation et d'un mouvement de rotation. Dans ce type de mouvement :

1. Le centre de gravité (cg) est soumis à un mouvement translationnel. Sa vitesse par rapport au sol est \vec{v}_{cg} .
2. Le reste du corps tourne autour du centre de gravité et est soumis à deux types de mouvements, un mouvement de translation \vec{v}_{cg} et un mouvement de rotation.
3. Considérons le point i du corps. Dans le second type de mouvement, sa vitesse absolue, relativement à son cg , est $v_{rel,cg}^i = r_i \omega$.

La vitesse angulaire est présente sur l'axe de rotation. La vitesse du point i par rapport au cg est tangentielle à la trajectoire du point i . Les deux vitesses sont liées par une relation de trigonométrie.

r_i : distance du point donné i par rapport à l'axe de rotation [m]

ω : vitesse angulaire du corps [$\frac{1}{s}$]

v : vitesse [$\frac{m}{s}$]

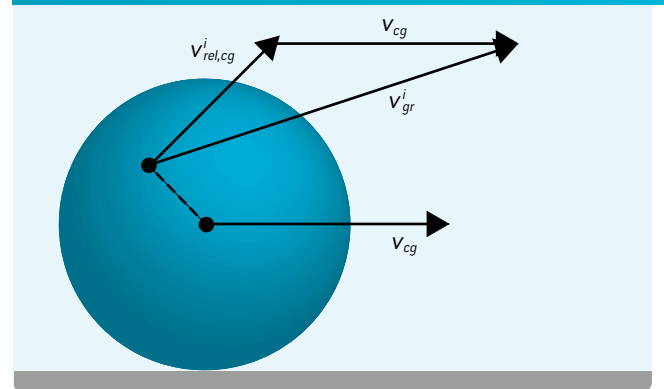
En ce qui concerne les points de la circonférence, leur valeur $\vec{v}_{rel,cg}$ correspond à $R\omega$.

R : rayon du corps [m]

Donc, la vitesse vectorielle du point i du corps par rapport au sol est la somme vectorielle des deux vitesses (FIG. 1).

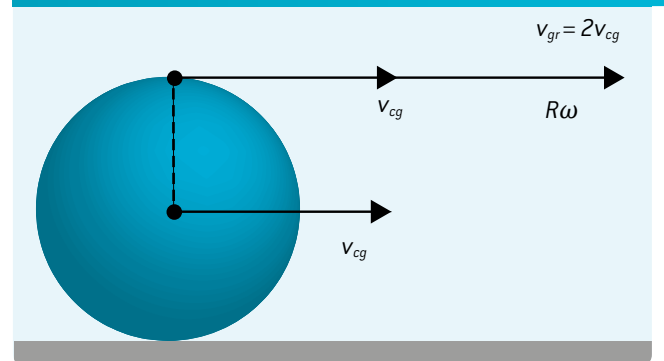
$$\vec{v}_{sol}^i = \vec{v}_{cg} + \vec{v}_{rel,cg}^i$$

FIG. 1



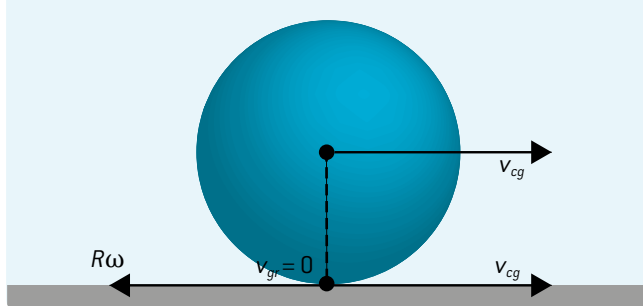
La valeur \vec{v}_{sol} du sommet du corps est égale à $2\vec{v}_{cg}$.

FIG. 2



La vitesse vectorielle \vec{v}_{sol} du point de contact avec le sol est zéro, c'est-à-dire qu'elle est temporairement nulle (FIG. 3).

FIG. 6



Enfin, le fait que $v_{cg} = R\omega$ implique que le corps roule sans dévier.

2 | 3 | 2 Énergie cinétique

Un corps sphérique en mouvement se caractérise généralement par une énergie cinétique de translation et une énergie cinétique de rotation : $E_{cin, tr}$ et $E_{cin, rot}$, respectivement.

$$E_{cin, tr} = \frac{1}{2}mv^2 \text{ et } E_{cin, rot} = \frac{1}{2}I\omega^2$$

m : masse [kg]

I : moment d'inertie [kg · m²]

v : vitesse absolue [$\frac{m}{s}$]

ω : vitesse angulaire du corps sphérique [$\frac{1}{s}$]

Considérons tel corps lorsqu'il percute le sol, et concentrons-nous sur le court laps de temps, juste avant et juste après le choc, pendant lequel il est possible d'étudier la force qui s'exerce entre le corps en mouvement et le sol.

Avant le choc :

$$E_{cin, tr(1)} = \frac{1}{2}mv_1^2 \text{ et } E_{cin, rot(1)} = \frac{1}{2}I\omega_1^2.$$

Après le choc, ces deux grandeurs existent toujours, mais elles ont des valeurs différentes :

$$E_{cin, tr(2)} = \frac{1}{2}mv_2^2 \text{ et } E_{cin, rot(2)} = \frac{1}{2}I\omega_2^2.$$

Les indices 1 et 2 correspondent aux valeurs existant avant et après la percussion du sol.

La force qui s'exerce entre le sol et le corps est constituée de composantes verticales et horizontales. Si l'on estime que le ballon ne glisse pas sur le sol, la composante horizontale est le frottement statique. Son travail sur le ballon est nul, tandis que son moment de rotation induit une accélération angulaire. Cela veut dire que la vitesse angulaire change en termes de grandeur et de direction. Néanmoins, aucune quantité d'énergie n'est convertie en chaleur, et il se produit seulement un échange entre énergie de translation et énergie de rotation. La composante verticale et le poids du ballon produisent une accélération verticale sur le ballon. Etant donné que le ballon ne glisse pas sur le sol, on peut appliquer le principe de la conservation de l'énergie mécanique :

$$E_{pot(1)} + E_{cin, tr(1)} + E_{cin, rot(1)} = E_{pot(2)} + E_{cin, tr(2)} + E_{cin, rot(2)}.$$

E_{pot} est l'énergie potentielle, tandis que les chiffres 1 et 2 représentent les différents états du ballon juste avant et juste après le rebond de la balle.

Puisque nous nous intéressons au rebondissement du ballon sur le sol, $E_{pot(1)} = E_{pot(2)}$

$$\text{et } E_{cin, tr(1)} + E_{cin, rot(1)} = E_{cin, tr(2)} + E_{cin, rot(2)}.$$

En raison de plusieurs facteurs, notamment la surface du sol et la vitesse angulaire du ballon juste avant le choc, il est difficile d'estimer l'effet du frottement. Par conséquent, il n'est pas facile de prévoir les valeurs correspondant au mouvement du ballon juste après le rebond, en particulier le vecteur vitesse.

2 | 4 Expériences et méthodes

1. Afin de susciter l'intérêt des élèves, il leur est demandé de laisser tomber un ballon en lui imprimant un mouvement tournant [1]. Nous espérons qu'ils feront le lien entre « l'impulsion » donnée au ballon et ce mouvement de rotation.
2. Première expérience (première série d'activités)
Les élèves installent une rampe composée de deux barres parallèles. La distance entre ces deux barres doit être quelque peu inférieure au diamètre du ballon.



FIG. 4 Installation pour la première expérience.

On demande ensuite aux élèves de lâcher un petit ballon en haut de la rampe, d'enregistrer son mouvement et de l'analyser à l'aide d'une application d'analyse vidéo telle que Tracker [2]. Une présentation détaillée de ce logiciel figure dans la publication *iStage 1 – Ressources pédagogiques pour l'intégration des TIC dans les sciences naturelles* [3]. Il serait même préférable d'utiliser une caméra à haute vitesse (120 images par seconde ou plus).

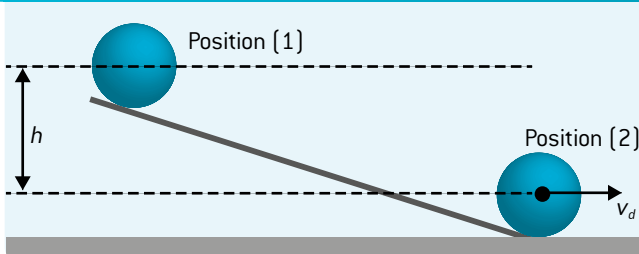
Le ballon rigide (m, R) $I = \frac{2}{5}mR^2$ roule sans dévier de la position {1} jusqu'au sol, la position {2}, et continue de rouler sur le sol (FIG. 5).

Remarque : Le moment d'inertie pour un ballon de football est proche de $\frac{2}{3}mR^2$.

Pour nos expériences, nous utilisons un ballon rigide.

Tandis que le ballon dévale la rampe, sa vitesse v et sa vitesse angulaire ω changent selon la formule $v = R\omega$.

FIG. 5



Le principe de la conservation de l'énergie est exprimé par la formule :

$$mgh = \frac{1}{2}mv_d^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 = \dots = \frac{7}{10}mv_d^2.$$

\vec{v}_d étant la vitesse du ballon au bas de la rampe. L'énergie cinétique translationnelle est égale à $\frac{5}{10}mv_d^2$, et, par conséquent, l'énergie cinétique rotationnelle est égale à $\frac{2}{10}mv_d^2$.

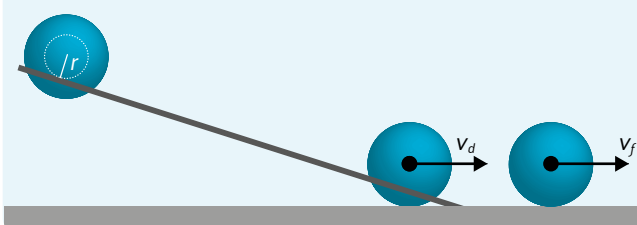
$$\text{Donc, } \frac{E_{cin, rot}}{E_{cin, tr}} = \frac{2}{5}.$$

Dans l'expérience proposée, le mouvement du ballon est exprimé selon la formule $v = r\omega$, r étant la distance entre l'axe de rotation et les points où le ballon touche la rampe.

L'expérience est conçue (FIG. 6) de telle sorte que $r < R$. Par conséquent, le ratio $\frac{E_{cin, rot}}{E_{cin, tr}}$

est supérieur à $\frac{2}{5}$. Une fois le ballon sur le sol, le ratio est égal à $\frac{2}{5}$, de sorte que le mouvement de roulis correspond à de nouvelles valeurs, selon lesquelles la distance entre l'axe de rotation et le point de contact entre le ballon et le sol est égale à R .

FIG. 6



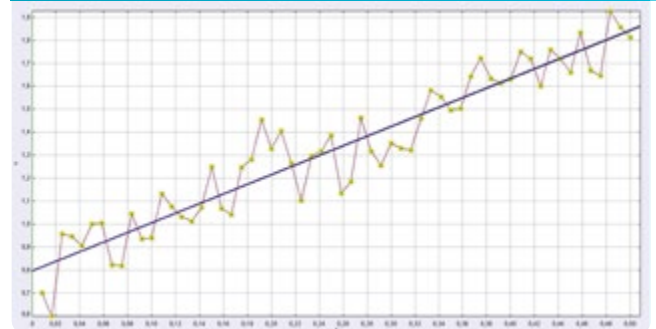
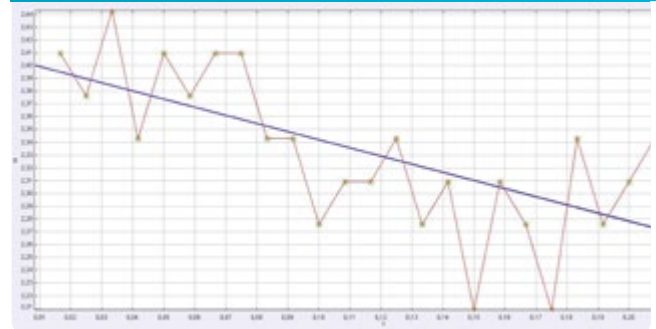
C'est exactement ce qui se produit lorsqu'après une rapide transition le ballon atteint sa vitesse finale, où la valeur de la vitesse \vec{v}_f est supérieure à celle de la vitesse \vec{v}_d à laquelle le ballon touche le sol.

Les élèves peuvent constater, même à l'oeil nu, que le ballon roule plus rapidement sur le sol. Ils peuvent analyser son mouvement et déterminer les vitesses \vec{v}_d et \vec{v}_f .

Pour ce faire, ils doivent prendre en compte l'énergie cinétique rotationnelle. Sinon, on ne peut pas expliquer le phénomène de conservation de l'énergie. Quiconque sachant qu'un corps solide possède une énergie cinétique translationnelle et une énergie cinétique rotationnelle, est capable de comprendre qu'une partie de l'énergie cinétique rotationnelle est convertie en énergie cinétique translationnelle sous l'effet du frottement entre le sol et le ballon.

2 | 5 Matériel nécessaire

Deux barres de 1 mètre de long et des supports et raccords correspondants ; un petit ballon, de préférence rigide, en caoutchouc dur. Un laboratoire scolaire de base possède généralement ces éléments.

FIG. 7 Premier temps du mouvement, $v_d = 1,85$ m/sFIG. 8 Second temps du mouvement, $v_f = 2,4$ m/s

3 | TÂCHES DES ÉLÈVES

3 | 1 Première expérience : première série d'activités

1. Installer le dispositif expérimental.
2. Enregistrer une vidéo^[1].
3. Utiliser une application d'analyse vidéo telle que Tracker^[2].
4. Déterminer les vitesses du ballon juste avant et juste après le contact avec le plan horizontal (voir FIG. 6 et 7).
5. Mesurer le rayon du ballon et déterminer sa vitesse angulaire lorsqu'il commence à rouler sur le sol (FIG. 9).
6. Mesurer la masse du ballon et déterminer la valeur de l'énergie cinétique translationnelle juste avant ($E_{cin, tr(1)}$) et juste après ($E_{cin, tr(2)}$) le contact du ballon avec le plan horizontal (FIG. 9).
7. Expliquer la transformation de l'énergie cinétique.



FIG. 9 $\omega = 156 \text{ s}^{-1}$, $E_{\text{cin, tr}(1)} = 2.46 \cdot 10^{-2} \text{ J}$, $E_{\text{cin, tr}(2)} = 4.14 \cdot 10^{-2} \text{ J}$



FIG. 10 Installation pour la seconde expérience

3 | 2 Seconde expérience

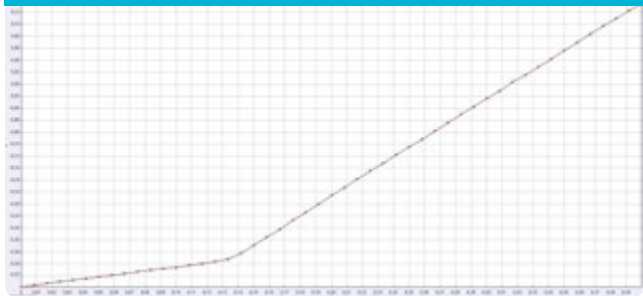
Les élèves font la même installation que pour la première expérience. Cependant, dans ce cas, l'extrémité de la rampe doit être positionnée à environ 0,6 mètre au-dessus du plan horizontal.

Les élèves laissent la balle rouler jusqu'à ce qu'elle tombe sur le sol. Ils enregistrent le mouvement du ballon et l'analysent au moyen d'une application d'analyse de vidéo telle que Tracker [2]. Dans ce cas, le mouvement devient intéressant lorsque le ballon sort de la rampe, lorsqu'il décrit une rotation visible. Lors de cette expérience, les élèves auront l'occasion d'explorer plus avant les champs du mouvement et de l'énergie.

Seconde série d'activités

1. Installer le dispositif expérimental
2. Lâcher le ballon en haut de la rampe et filmer le mouvement avec une caméra [1].
3. Tracer un graphique représentant x par rapport à t , et définir la composante horizontale de la vitesse du ballon v_x lors de son mouvement descendant, puis lors de son mouvement ascendant. Expliquer la modification de v_x .

FIG. 11 Exemple de graphique représentant le changement de vitesse



4. Mesurer la masse du ballon et calculer quelle quantité d' $E_{\text{cin, rot}}$ est transformée en $E_{\text{cin, tr}}$. Il conviendra également de déterminer la vitesse du ballon juste avant et juste après le rebond sur le sol.

$$v_{\text{desc, fin}} = 2,55 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad E_{\text{cin, tr}(1)} = 4,67 \cdot 10^{-2} \text{ J (FIG. 12) et}$$

$$v_{\text{asc, init}} = 2,76 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad E_{\text{cin, tr}(2)} = 5,47 \cdot 10^{-2} \text{ J (FIG. 13)}$$

$$\Delta E_{\text{cin, tr}} = 0,8 \cdot 10^{-2} \text{ J} = -\Delta E_{\text{cin, rot}}$$

FIG. 12

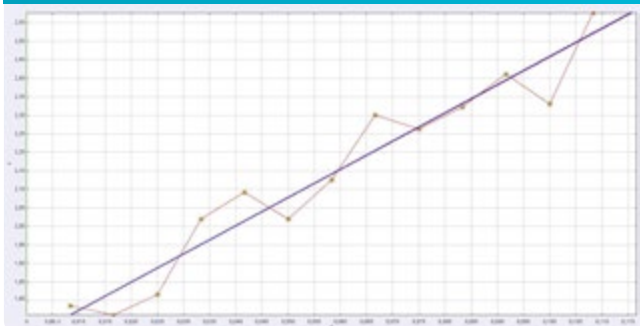
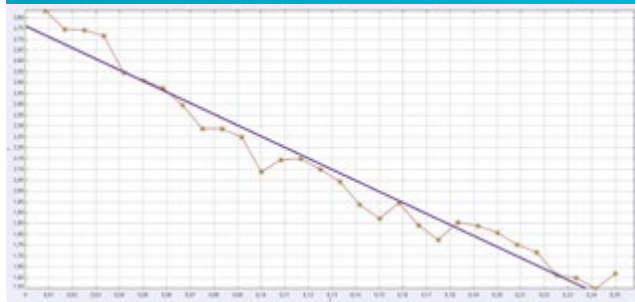


FIG. 13



5. Déterminez la modification $\vec{\Delta p}$ [$\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$] de la force d'impulsion du ballon lorsqu'il entre en contact avec le sol.
 $\vec{\Delta p} = m\vec{\Delta v}$

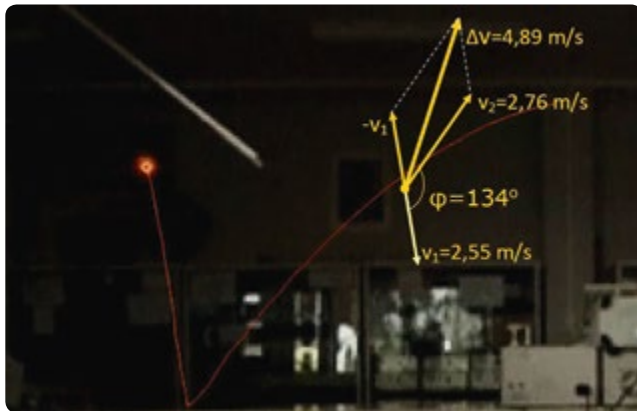


FIG. 14

\vec{v}_1 et \vec{v}_2 sont les vitesses du ballon juste avant et juste après le rebond. Les valeurs absolues de vitesse pour cette expérience particulière sont $2,55 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ et $2,76 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ respectivement, ce qui correspond à un angle de $\varphi = 134^\circ$.

$\vec{\Delta v}$ correspond au changement de vitesse. Sa valeur absolue est définie par $4,89 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. L'angle entre \vec{v}_2 et $\vec{\Delta v}$ correspond à un angle de 24° .

La modification de la force d'impulsion découle de la formule $\vec{\Delta p} = m\vec{\Delta v}$.

Elle suit la même direction que $\vec{\Delta v}$, et sa valeur absolue est égale à $7 \cdot 10^{-2} \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

4. Considérez le second temps du mouvement, comme si le ballon était lancé depuis le sol. Déterminez les grandeurs initiales qui caractérisent ce lancé, puis calculez la hauteur maximum et la portée du lancé. Comparez les valeurs que vous avez calculées avec les valeurs enregistrées par Tracker. Expliquez les écarts entre les données d'analyse et les valeurs théoriques.

4 | CONCLUSION

Les élèves observeront les modifications en termes de mouvement et d'énergie du ballon, et les rapporteront à la force — en particulier à sa composante horizontale — exercée entre le ballon et le sol, et à l'effet de rotation de cette force. En même temps, ils pourront conclure que l'énergie cinétique d'un corps solide se compose de deux grandeurs (l'énergie cinétique translationnelle et l'énergie cinétique rotationnelle). Enfin, ils pourront également ignorer certains présupposés liés au fait que l'on utilise généralement le modèle du point matériel dans l'enseignement de la mécanique.

5 | POSSIBILITÉS DE COLLABORATION

Les élèves des différentes écoles, pas nécessairement du même pays, peuvent communiquer et échanger des vidéos, en particulier à l'égard de la première activité. Ils sont censés arriver aux mêmes conclusions. Ils pourront en discuter par le biais de la téléconférence.

Enfin, ils pourront, dans le cadre de rencontres, mener différentes activités, par exemple :

1. Installer une caméra vidéo à l'extérieur. Faire un enregistrement vidéo d'un ballon qui tombe sur le sol et étudier les données relatives au mouvement du ballon lors du contact avec le sol.
2. Analyser ce mouvement.
3. Tirer des conclusions en ce qui concerne les caractéristiques des frottements subis par le ballon au moment du contact avec le sol.
4. Déterminer la vitesse du ballon avant et après le contact avec le sol, mesurer la masse du ballon et calculer l'énergie cinétique translationnelle du ballon.
5. Demander à un joueur chevronné de la classe de faire des frappes de balle en employant des techniques diverses, faire des enregistrements vidéos et décrire les phénomènes observés lorsque le ballon touche le sol.
6. Donner une réponse concluante à la question : pourquoi les gardiens de but ont-ils plus de difficultés à maîtriser le ballon lorsqu'il rebondit sur le sol ?
7. Une fois les autres activités terminées, faire un match de football dédié aux sciences ! Naturellement, l'issue de ce match sera bénéfique à tous, quel que soit le score final !

RESSOURCES

- [1] www.science-on-stage.de/iStage3_materials
 [2] www.physlets.org/tracker
 [3] www.science-on-stage.de/iStage1-download



IMPRINT

TAKEN FROM

iStage 3 - Football in Science Teaching
available in Czech, English, French, German,
Hungarian, Polish, Spanish, Swedish
www.science-on-stage.eu/istage3

PUBLISHED BY

Science on Stage Deutschland e.V.
Poststraße 4/5
10178 Berlin · Germany

REVISION AND TRANSLATION

TransForm Gesellschaft für Sprachen- und Mediendienste mbH
www.transformcologne.de

CREDITS

The authors have checked all aspects of copyright for the images and texts used in this publication to the best of their knowledge.

DESIGN

WEBERSUPIRAN.berlin

ILLUSTRATION

Tricom Kommunikation und Verlag GmbH
www.tricom-agentur.de

PLEASE ORDER FROM

www.science-on-stage.de
info@science-on-stage.de

Creative-Commons-License: Attribution Non-Commercial
Share Alike



First edition published in 2016
© Science on Stage Deutschland e.V.





SCIENCE ON STAGE – THE EUROPEAN NETWORK FOR SCIENCE TEACHERS

- ... is a network of and for science, technology, engineering and mathematics (STEM) teachers of all school levels.
- ... provides a European platform for the exchange of teaching ideas.
- ... highlights the importance of science and technology in schools and among the public.

The main supporter of Science on Stage is the Federation of German Employers' Associations in the Metal and Electrical Engineering Industries (GESAMTMETALL) with its initiative think ING.

Join in - find your country on
WWW.SCIENCE-ON-STAGE.EU

 www.facebook.com/scienceonstageeurope
 www.twitter.com/ScienceOnStage

Subscribe for our newsletter:
 www.science-on-stage.eu/newsletter



MAIN SUPPORTER OF
SCIENCE ON STAGE GERMANY

think
ING.
Die Initiative für
Ingenieurnachwuchs

Proudly supported by

