

Физический рисунок

by Yaroslav Pozdnyak & Azamat Gimaev

v1.1. Актуальная версия [здесь](#)

1 Общие положения

1.1 Начало работы

Для начала надо [отсюда](#) скачать `design.sty` в директорию вашего документа для использования наших предопределенных команд и стилей

Рисунки выполняются в окружении `tikzpicture`, которое можно встраивать внутрь `figure`:

```
% in preamble:
\usepackage{design}

% in document:
\begin{figure}[H]
  \centering
  \begin{tikzpicture}
    \draw (0,0) -- (2,0);
  \end{tikzpicture}
\end{figure}
```

Этот кусок кода рисует отрезок соединяющий точки с координатами $(0,0)$ и $(2\text{ cm}, 0)$. Стандартной единицей длины в `tikz` являются сантиметры, но можно, например, в качестве координаты точки использовать $(2\text{pt}, 0)$.

1.2 Стрелочки и подписи

Для стрелочек используются аргумент `[>=latex']`, который можно указывать непосредственно при отрисовке каждого объекта, но проще его вынести в аргумент всего изображения:

```
\begin{tikzpicture}[>=latex']
  \draw[->,>=latex'] (0,0) -- ++(2,0);
  \draw (0,0) -- ++ (2/2,0) node [below] {Правильная стрелочка};
\end{tikzpicture}
```

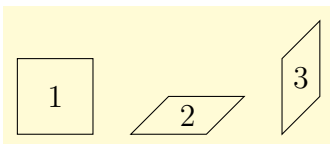
Также здесь продемонстрирован пример подписи объекта с использованием команды `node`. Запись `++(2,0)` означает сдвиг относительно предыдущей координаты на 2 см вдоль горизонтальной оси.

→
Правильная стрелочка

→
Неправильная стрелочка

1.3 Преобразования координат

Наболее общие линейное преобразование объекта можно сделать с помощью матрицы преобразования.



```
\draw(0,0) rectangle (1,1) node[pos=0.5] {$1$};
\begin{scope}[cm={1,0,.5,.5,(1.5,0)}]
  \draw(0,0) rectangle (1,1) node[pos=0.5] {$2$};
\end{scope}
\begin{scope}[cm={.5,.5,0,1,(3.5,0)}]
  \draw(0,0) rectangle (1,1) node[pos=0.5] {$3$};
\end{scope}
```

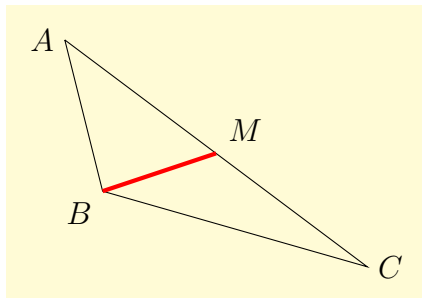
Матрицы преобразований, используемые выше:

$$M_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0.5 & 0.5 \end{pmatrix} \quad M_3 = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.5 \\ 0 & 1 \end{pmatrix},$$

а сдвиги $\Delta_2 = (2, 0)$ и $\Delta_3 = (4.5, 0)$.

1.4 Запоминание точки

При создании рисунков бывает удобно запомнить некоторую точку, которая часто будет использоваться в дальнейшем. Это позволит при необходимости быстро и легко поменять координаты в одном месте кода, а не изменять у каждого элемента по-отдельности, в примере ниже медиана BM отрисовывается автоматически при изменении координат (A) , (B) , (C)

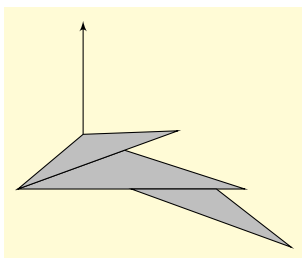


```
\coordinate (A) at (1,5);
\draw (A) node[left] {$A$} -- (1.5,3) coordinate (B) node[below left] {$B$}
-- (5, 2) coordinate (C) node[right] {$C$} -- (A);

% Медиана BM
\draw[red, ultra thick] (B) -- ($(A)!0.5!(C)$) node[above right, black] {$M$};
```

1.5 Повороты координат

Если значительная часть картинки должна быть сдвинута и повернута, то можно использовать окружение `scope`, и использовать аргумент `[shift={(x,y)}, rotate=z]`, где x, y – положение центра координат `scope` на холста, а z – угол в градусах, на который будут повернуты координаты внутри `scope` относительно координат `scope`.



```
\draw[fill=black!25] (0,0) -- (2,0) -- (20:1) -- cycle
;
\begin{scope}[rotate=20]
\draw[fill=black!25] (0,0) -- (1.5,0) -- (20:.75) --
cycle;
\path (20:.75) coordinate (a);
\end{scope}
\begin{scope}[shift={(1,0)}, rotate=-20]
\draw[fill=black!25] (0,0) -- (1.5,0) -- (20:.75) --
cycle;
\end{scope}

\draw[->] (a) --- (0,1);
```

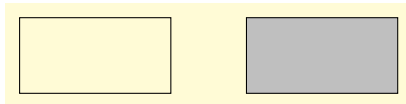
В виде $(20:1)$ задается точка, удаленная на расстояние 1 см от начала отсчета, такая, что ее радиус-вектор составляет угол 20° с направлением оси x по часовой стрелке. Также корректно использовать $++(20:1)$ – сдвиг от текущего положения на 1 см в направлении составляющем 20° с осью x .

1.6 Общий принцип

Рекомендуется использовать такой принцип работы с жирными линиями: какие-то виртуально существующие линии рисовать толщиной `ultrathin`, а физически существующие объекта линиями стандартной толщины либо `thick`. Исключением являются оси систем координат и векторы — они рисуются линиями стандартной толщины.

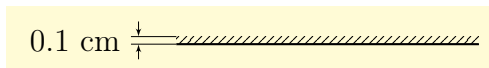
2 Механика

2.1 Подвижные тела

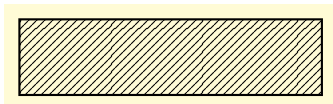


```
\draw (0,0) rectangle (2,1);  
\draw[fill=black!25] (3,0) rectangle (5,1);
```

2.2 Недвижимость



```
\draw[thick] (0,0) -- (4,0);  
\draw[ground] (0,0) rectangle (4,0.1);
```



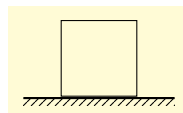
```
\draw[thick] (0,0) rectangle (4,1);  
\draw[ground] (0,0) rectangle (4,1);
```



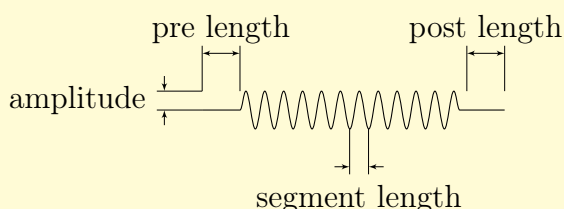
```
\begin{scope}[shift={(x, y)}] %(x, y) - координаты нижней вершины треугольни  
ка  
\draw(0,0) -- (0.1, 0.173) -- (-0.1, 0.173) -- cycle;  
\draw[thick] (-0.15, 0.173) --++ (0.3, 0);  
\draw[pattern={Lines[angle=45,distance=0.05cm]},fill,draw=none] (-0.15,  
0.173) rectangle ++(0.3, 0.1);  
\end{scope}
```

2.3 Подвижное тело на неподвижности

Чтобы подчеркнуть подвижность тела, можно добавить расстояние 0.025 cm, чтобы оно «парило» над поверхностью:



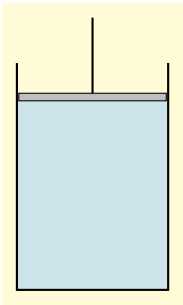
2.4 Пружины



```
\draw[decorate,decoration={snake,  
pre length=0.5cm, post length=0.5cm,  
segment length=0.5cm,  
amplitude=0.25cm}]  
(0,0) -- (4,0);
```

2.5 Жидкости, сосуды и поршни

1. Сосуды рисуются **thick** линиями.
2. Для отрисовки воды используется аргумент **water**, которые автоматически заливает фигуру голубым полупрозрачным цветом. Также есть predefined цвета для других заливок: **gas**, **glass**, **oil**
3. Поршни выделяются серым **black!25** цветом.
4. Зазор между поршнем и стенками сосуда 0.025 cm



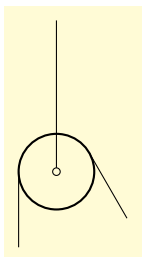
```
\fill[water] (0,-.5) rectangle ++(2,-2.5);

\draw[fill=black!25] (0.025,-0.5) rectangle ++(2-0.05,0.1);
\draw[thick] (1,-0.4) -- ++(0,1);

\draw[thick] (0,0) --++(0,-3) --++(2,0) --++(0,3);
```

2.6 Блоки и нити

Центр блока обозначается белым кругом радиуса 0.05 cm. Нити рисуются линиями стандартной толщины, для блоков используется **thick**.



```
\draw[thick] (0,0) circle (0.5);
\draw (0,0) circle (0.05);

\draw (0,0.05) -- (0,2); %нить, на которой подвешен блок

\path[rotate=30] (0.5,0) coordinate (a);
\draw[shift=(a),rotate=30] (0,0) -- (0,-1); %правая нить

\draw (-0.5,0) -- ++(0,-1); %левая нить
```

2.7 Гирька

Если в Вашем рисунке присутствует гирька, то Вы можете воспользоваться этим паттерном:



```
\draw[fill=black!25](-.2,0) -- (-.2,.3) .. controls (0,.4) and (-.1,.4)..
(-.1,.5) arc (180:0:.1) .. controls (.1,.4) and (0,.4) .. (.2,.3) --
(.2,0) -- cycle;
```

2.8 Гайка

Если в Вашем рисунке присутствует гайка, то Вы можете воспользоваться этим паттерном.
(x, y) – координата середины гайки.

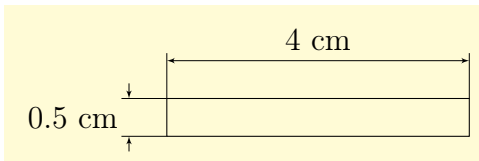


```
\begin{scope}[shift={(x, y)}, scale=0.4]
\draw[fill=black!25](-0.5, -0.866) -- (0.5, -0.866) -- (1, 0) -- (0.5,
0.866) -- (-0.5, 0.866) -- (-1, 0) -- cycle;
\draw[fill=white] (0, 0) circle(0.45);
\end{scope}
```

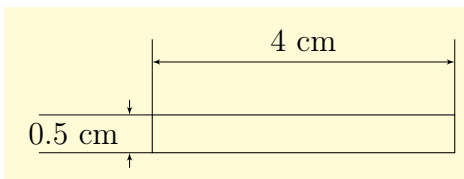
3 Выносные размеры

3.1 Линейные размеры

В стандартных случаях, как например подпись длины прямоугольника, можно использовать команды `\dist` и `\sdist`:



```
\dist{(0, 0.5)}{(4, 0.5)}{90}{above}{4 cm}
\sdist{(0,0)}{(0,0.5)}{180}{left}{0.5 cm}
```



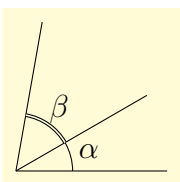
```
\dist[1][0.7]{(0,0.5)}{(4,0.5)}{90}{above}{4 cm}
\sdist[1.5][0.3]{(0,0)}{(0,0.5)}{180}{left}
{0.5 cm}
```

Команды `\dist` и `\sdist` имеют 5 обязательных (указываются в фигурных скобках `{}`) и 2 опциональных аргумента (указываются в квадратных скобках `[]` **перед обязательными**).

- Первый опциональный аргумент – это длина выносной линии в сантиметрах (`default = 0.6 cm`)
- Второй – расстояние от стрелок до точек, куда подносится выносной размер (`default = 0.5 cm`)
- Первые два обязательных аргумента – это точки, к которым мы хотим поднести наш выносной размер (указываются обе координаты в круглых скобках `(x, y)`)
- Третий обязательный аргумент – это угол в градусах, на который повернуты габаритные линии
- Четвертый обязательный аргумент – это расположение подписи, относительно центра линии, соединяющей стрелочки (`above, below, right, left`)
- Пятый обязательный аргумент – это текст подписи

3.2 Угловые размеры

Для указания угловых размеров обычно удобно использовать следующие параметры: радиус дуги 0.75 cm, расстояние до подписи 1.0 cm.



```
\draw (0,0) -- (2,0);
\draw[rotate=30] (0,0) -- (2,0);
\draw[rotate=80] (0,0) -- (2,0);

%дуга 0-30
\draw(0.75,0) arc (0:30:0.75);
\path[rotate=30/2] (1,0) node {$\alpha$};

%двойная дуга 30-80
\draw[rotate=30,double=yellow!20](0.75,0) arc (0:50:0.75);
\path[rotate=30+50/2] (1,0) node {$\beta$};
```

4 Оптика

4.1 Источники света

Команда `\lightsource` рисует источник света и в качестве аргумента принимает его координаты. Подписи к источникам света удаляются на 0.2 cm.



```
\lightsource{(0,0)};  
\draw (0,0) node [above=0.2cm] {$S$};
```

4.2 Стеклянные объекты

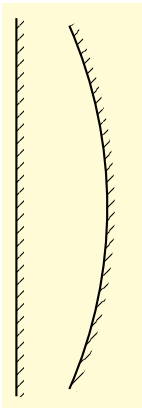
Аналогично с водой, аргумент `glass` приводит к автоматической полупрозрачной заливки объекта.



```
\draw[glass] (0,0) rectangle (3,1.5);
```

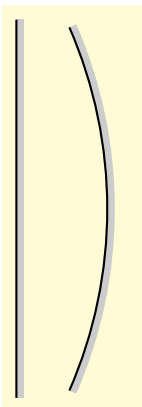
4.3 Зеркала и экраны

Отрисовка экранов и зеркал похожа на отрисовку недвижимости, только надо использовать аргумент `[screen]`. Линия экрана рисуется толщиной `thick`



```
\draw[thick] (0,0) -- (0, -5);  
\fill[screen] (0,0) rectangle (0.1, -5);  
  
\draw[thick] (0.7,-0.1) arc (23.6:-23.6:6);  
\fill[screen] (0.7,-0.1) ++(23.6:0.1) arc(23.6:-23.6:6.1) --  
++(-23.6:-0.1) arc (-23.6:23.6:6);
```

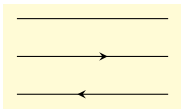
Чтобы на рисунках можно было визуально различать зеркала и экраны рекомендуется использовать для зеркал шаблон, представленный ниже. **Важно** делать заливку до отрисовки линии, иначе часть толщины линии будет перекрыта



```
\fill[mirror] (0,0) rectangle (0.1, -5);  
\draw[thick] (0,0) -- (0, -5);  
  
\fill[mirror] (0.7,-0.1) ++(23.6:0.1) arc(23.6:-23.6:6.1) --  
++(-23.6:-0.1) arc (-23.6:23.6:6);  
\draw[thick] (0.7,-0.1) arc (23.6:-23.6:6);
```

4.4 Лучи

Лучи рисуются линиями стандартной толщины.



```
\draw (0,0) -- ++ (2,0)
\draw[directed] (0,-0.5) -- ++ (2,0)
\draw[reverse directed] (0,-1) -- ++ (2,0)
```

5 Электрические схемы

Для отрисовки электрических схем используется пакет `circuitikz`, у которого есть понятная [документация](#)

Рекомендуется использовать аргументы `european resistors` и `american inductors` у всего рисунка

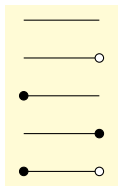
```
% in preamble:
\usepackage{circuitikz}
% in document:
\begin{tikzpicture}[european resistors, american inductors]
\end{tikzpicture}
```

Или можно задать это для всего документа в преамбуле:

```
% in preamble:
\usepackage{circuitikz}
\ctikzset{resistor = european, inductor = american}
```

5.1 Общая логика, провода

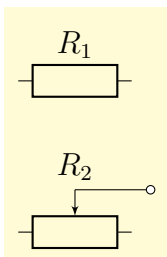
Общая логика пакета `circuitikz` строится вокруг декорирования пути между двумя точками. Для этого используются дополнительные аргументы у команды `to[]`. Для работы с проводами используется аргумент `short`.



```
\draw (0,0) to[short,-] ++(1,0);
\draw (0,-1) to[short,-o] ++(1,0);
\draw (0,-2) to[short,*-] ++(1,0);
\draw (0,-3) to[short,-*] ++(1,0);
\draw (0,-4) to[short,*-o] ++(1,0);
```

5.2 Резисторы

Резистору соответствует аргумент `R`. Потенциометру соответствует аргумент `pR`.



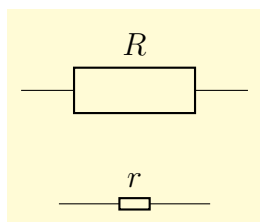
```
\draw (0,0)
to[R=$R_1$] ++ (1.5,0);

\draw (0,-1.56)
to[pR=$R_2$,name=pR] ++ (1.5,0);

\draw(pR.wiper) to[short,-o] ++(1,0);
```

Для работы с третьим выходом потенциометра даем уникальное название `name` потенциометру, а далее обращаемся к этой координате, как к `name.wiper` (в примере выше это `pR.wiper`).

Параметр `/tikz/circuitikz/bipoles/length=` изменит размер элементов с двумя выводами

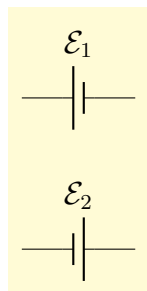


```
\draw (0,0)
to [R=$R$, /tikz/circuitikz/bipoles/length=2cm] ++(3,0);

\draw (0.5,-1.5)
to [R=$r$, /tikz/circuitikz/bipoles/length=0.5cm] ++(2,0);
```

5.3 Источник напряжения и источник тока

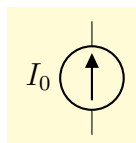
Источнику постоянного напряжения соответствует аргумент `battery1`.



```
\draw (0,0)
to[battery1,l=$\mathcal{E}_1$] ++ (1.5,0);

\draw (0,-2)
to[battery1,l=$\mathcal{E}_2$,invert] ++ (1.5,0);
```

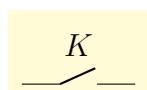
Чтобы развернуть батарею используйте аргумент `invert`. Наименования батареек следует добавлять с помощью дополнительного аргумента `l=label`.



```
\draw (0,0) to[american current source, l=$I_0$] (0,1.5);
% or
\draw (0,0) to[american, isource, l=$I_0$] (0,1.5);
```

5.4 Ключи

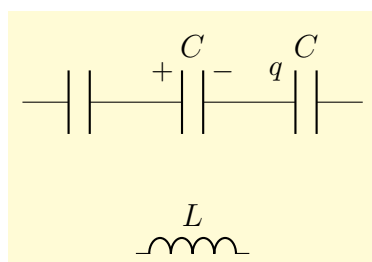
Обычному ключу соответствует аргумент `pos`.



```
\draw (0,0)
to[nos=$K$] ++ (1.5,0);
```

5.5 Конденсаторы, катушки

Конденсатору соответствует аргумент `C`. Катушке соответствует аргумент `L`.



```
\draw (-2.25,0)
to[C] ++ (1.5,0)
to[C=$C$] ++ (1.5,0)
to[C=$C$] ++ (1.5,0);

\draw(0,0) ++ (-.4,.4) node {\small $+$};
\draw(0,0) ++ (.4,.4) node {\small $-$};

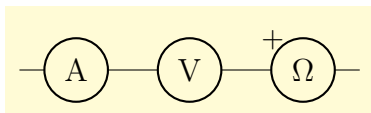
\draw(1.5,0) ++ (-.4,.4) node {\small $q$};

\draw (-.75,-2)
to[L=$L$] ++ (1.5,0);
```


Иногда в задаче нужно указать знаки либо величины зарядов на пластинах конденсатора. В таком случае используются удаленные от центра конденсатора на 0.4 cm метки, сделанные шрифтом `small`.

5.6 Вольтметры, амперметры, омметры

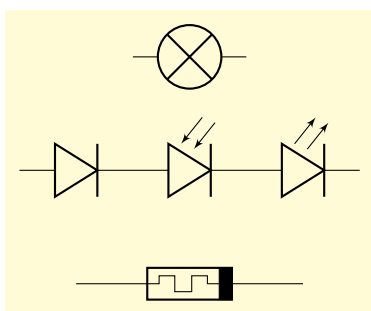
Измерительные приборы создаются с помощью аргумента `rmeter`



```
\draw (0,0)
to[rmeter,t=A] (1.5,0)
to[rmeter,t=V] (3,0)
to[rmeter,t=\Omega] (4.5,0);

\draw(3.75,0) ++ (-.4,.4) node {\small $+$};
```

5.7 Другие электрические элементы



```
\draw (1.5,0)
to[lamp] ++(1.5,0);

\draw (0,-1.5)
to[diode] ++(1.5,0)
to[photodiode] ++(1.5,0)
to[led]++(1.5,0);

\draw (0.75,-3)
to[memristor] ++(3,0);
```

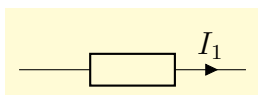
5.8 Заземление



```
\draw (0,0)
to (0,-1) node[tlground]{};
```

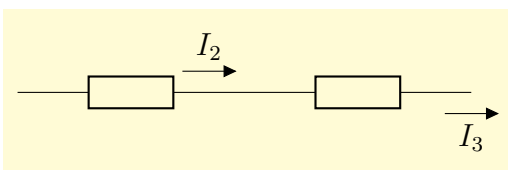
5.9 Сила тока в цепях

По умолчанию сила тока в пакете `circuitikz` обозначаются и выглядят так:



```
\draw (0,0) to[R, i^>=$I_1$] (3,0);
```

Такой вариант не рекомендуется использовать. Для привычного обозначения можно использовать `flow` (поток) из этого пакета:



```
\draw (0,0)
to[R, f^>=$I_2$] ++(3,0)
to[R, f_>=$I_3$, flow/distance=1] ++(3,0);
```

Аргумент `flow/distance=` меняет расположение стрелочки вдоль провода. Настроить расположение стрелки относительно провода(сверху/снизу) и направление можно используя разные символы после `f`: `f<=`, `f_<=`, `f_>=`, `f<^=`, `f<_<=`, `f>_<=`

6 Лайфхаки

6.1 Вертикальные подписи для электрических схем

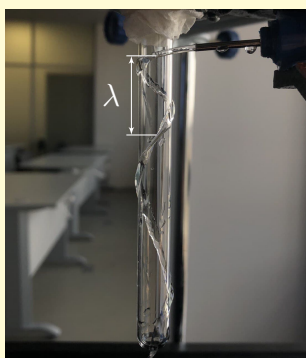
1. Чтобы подписи для повернутых элементов были тоже вертикальными пользуйтесь командой

```
\ctikzset{label/align = straight}
```

в самом начале кода рисунка.

6.2 Вставка растрового рисунка внутрь tikz

Если вам, например, понадобилось нарисовать обозначения поверх фотографии, то вы можете вставить изображение внутрь `tikzpicture` с помощью команды `\includegraphics`, как текст node выбранная точка будет центром вставленного изображения.

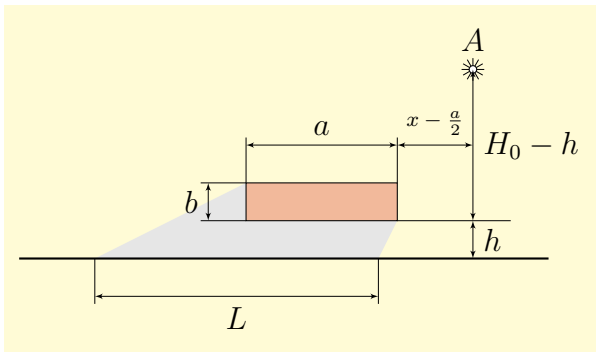


```
\begin{tikzpicture}[example,>=latex',scale=4.0/6.0]
\path (0,0) node {\includegraphics[width=4cm]{pic.jpg}};

\begin{scope}[draw=white]
\dist{(0,2.57)}{(0,1.0)}{180}{left}{}
\path(0,{(2.57+1.0)/2}) ++ (180:.5) node [left,
white] {\lambda$};
\end{scope}

\end{tikzpicture}
```

Примеры

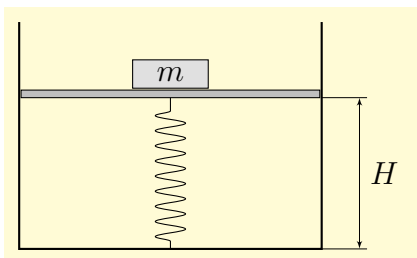


```
\lightsources{(0,0)}
\draw (0,0) node [above=.1cm] {$A$};
\fill[black!10] (-5, -2.5) -- (-3, -1.5) -- (-3, -2) -- (-1,-2) -- (-1.25,
-2.5);

\draw[glassRed] (-3,-2) rectangle ++(2, 0.5);
\draw[thick] (-6,-2.5) -- (1,-2.5);

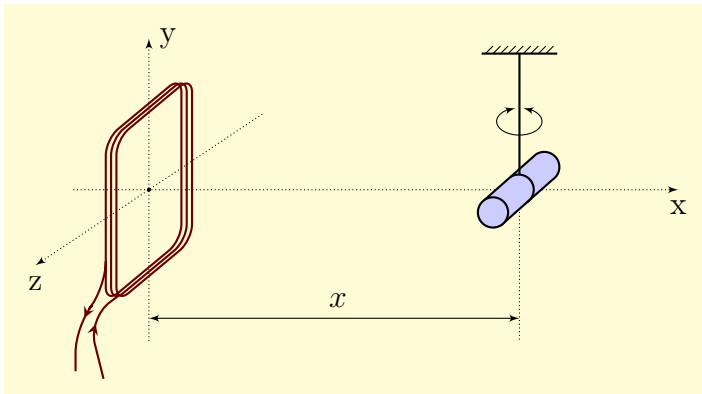
\dist{(-5,-2.5)}{(-1.25,-2.5)}{-90}{below}{$L$};
\dist{(-3,-1.5)}{(-1,-1.5)}{90}{above}{$a$};
\dist{(-3,-1.5)}{(-3,-2)}{180}{left}{$b$};

\draw[ultra thin,<->] (0,-2) -- (0,0) node [pos=.5,right] {$H_0-h$};
\draw[ultra thin,<->] (0,-2) -- (0,-2.5) node [pos=.5,right] {$h$};
\draw[ultra thin] (-1,-2) -- (0.5, -2);
\draw[ultra thin,<->] (-1,-1) -- (0,-1) node [pos = 0.5,above] {\scriptsize $x$
-\frac{a}{2}};
```



```
\draw[thick] (-2,3) -- (-2,0) -- (2,0) -- (2,3);
\draw[fill=black!25] (-1.975,2) rectangle
(1.975,2.1);
\draw[fill=black!12] (-.5,2.125) rectangle
(.5,2.5) node[pos=.5] {$m$};

\draw[decorate,decoration=
{snake,pre length=0.1cm,post length=0.1cm,segment
length=0.2cm,amplitude=0.2cm}]
(0,0) -- (0,2);
\dist{(2,2)}{(2,0)}{0}{right}{$H$}
```



```

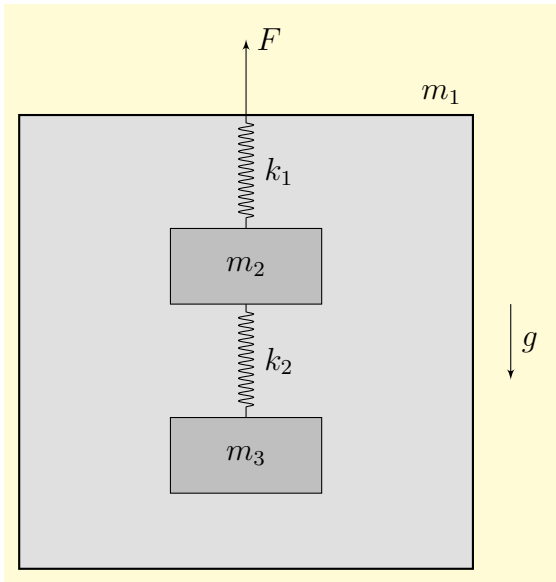
\draw[densely dotted, ->] (-1, 0) -- (7, 0) node[below] {x};
\draw[densely dotted, ->] (0, -2) -- (0, 2) node[right] {y};
\draw[densely dotted, ->] (1.5, 1) -- (-1.5, -1) node[below] {z};
\draw[fill] (0, 0) circle (0.02);

\draw[thick, color=red!40!black, rounded corners=6pt] (-0.5, -1.5) -- (0.5,
-2/3) -- (0.5, 1.5) -- (-0.5, 2/3) -- cycle;
\draw[thick, color=red!40!black, rounded corners=6pt, xshift=2pt] (-0.5, -1.5)
-- (0.5, -2/3) -- (0.5, 1.5) -- (-0.5, 2/3) -- cycle;
\draw[thick, color=red!40!black, rounded corners=6pt, xshift=-2pt] (-0.5, -1.5)
-- (0.5, -2/3) -- (0.5, 1.5) -- (-0.5, 2/3) -- cycle;
\draw[thick, color=red!40!black, rounded corners=10pt, reverse directed] (-0.4,
-1.4) --++ (-0.4, -0.3) --++ (0.2, -0.8);
\draw[thick, color=red!40!black, rounded corners=10pt, directed] (-0.57, -1.1)
--++ (0, -0.2) --++ (-.4, -0.5) --++ (0, -0.6);

\draw[densely dotted] (4.9, 0) --++ (0, -2);
\draw[<->] (0, -1.7) -- (4.9, -1.7);
\draw (2.5, -1.7) node[above] {$x$};

\draw[thick, fill=blue!20](4.661, -0.466) -- (5.339, 0.134) arc
(-56.3:123.7:0.2) -- (4.439, -0.134) -- cycle;
\draw[thick, fill=blue!20] (4.55, -.3) circle (0.2);
\draw[thick] (4.9, 0.2) -- (4.9, 1.8);
\draw[thick] (5, -0.166) arc(-56.3:123.7:0.2);
\draw[thick] (4.4, 1.8) -- (5.4, 1.8);
\foreach \x in {4.45, 4.55, ..., 5.35}
\draw (\x, 1.8) -- (\x+0.1, 1.9);
\draw[<->, yscale = 0.6] (4.95, 1.8) arc (80:-260:0.3);

```



```
\draw[thick,fill=black!12] (-3,-3) rectangle (3,3) node [above left] {$m_1$};
\draw[->] (0,3) --++(0,1) node [right] {$F$};

\draw[decorate,decoration=
{snake,pre length=0.1cm,post length=0.1cm,segment length=0.1cm,amplitude=0.1cm
}]
(0,3) -- (0,1.5) node [pos=.5,right=.1cm] {$k_1$};

\draw[fill=black!25](-1,1.5) rectangle (1,.5) node [pos=.5] {$m_2$};

\draw[decorate,decoration=
{snake,pre length=0.1cm,post length=0.1cm,segment length=0.1cm,amplitude=0.1cm
}]
(0,.5) -- (0,-1) node [pos=.5,right=.1cm] {$k_2$};

\draw[fill=black!25](-1,-1) rectangle (1,-2) node [pos=.5] {$m_3$};

\draw[->] (3.5,.5) -- (3.5,-.5) node [pos=.5,right] {$g$};
```