

УДК 531

Зырянова Наталья Александровна,
к.х.н, зав. кафедрой физико-математических наук,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: fizika@angtu.ru

ПРИНЦИП ОСВОБОЖДАЕМОСТИ ОТ СВЯЗЕЙ И ЧИСЛО СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ

Zyrianova N. A.

THE PRINCIPLE OF RELEASE FROM BONDS AND NUMBER OF DEGREES OF FREEDOM

Аннотация. Рассмотрены причины возникновения реакций связей, основанного на физических законах с учетом числа степеней свободы твердого тела.

Ключевые слова: принцип освобождаемости от связей, связи, свободное тело, реакция связи, число степеней свободы.

Abstract. The reasons for the occurrence of bond reactions are considered, based on physical laws, taking into account the number of degrees of freedom of a solid body.

Keyword: the principle of release from bonds, bonds, free body, bond reaction, number of degrees of freedom.

Теоретическая механика, будучи, по существу, одним из разделов физики, вошла в себя фундаментальную основу в виде аксиоматики, выделилась в самостоятельную науку и получила широкое развитие в естествознании и технике. На основных законах и принципах теоретической механики базируются многие общепромышленные дисциплины, такие как сопротивление материалов, строительная механика, гидравлика, теория машин и механизмов, детали машин и т.д. Усвоение курса теоретической механики на достаточном уровне требует, с одной стороны, подготовленности студентов в области базовых знаний механики из курса физики и умения на практике использовать векторную алгебру, с другой стороны, глубокого изучения теории и приобретения твердых навыков в решении задач, что требует больших затрат времени. Изучая теоретическую механику, дисциплину близкую по точности к математике, но вместе с тем принципиально от нее отличную, студент осваивает трудный путь перехода от реальности к математической абстракции.

Изменения в системе образования, возникшие при переходе со специалитета на бакалавриат, в целом уменьшили отводимое в программах количество зачетных единиц на данную дисциплину, что накладывает ограничения для преподавателя и обучаемого. В связи с этим возникает необходимость пересмотра, в частности, традиционного подхода к изучению теоретической механики [1].

Курс теоретической механики предполагает изучение трёх разделов: статики, кинематики и динамики, включая элементы аналитической механики и теории колебаний. На первом этапе сама по себе дисциплина достаточно сложна для восприятия и понимания студентами начальных курсов, поэтому преподавателю необходимо излагать сложный материал в доступной форме без потери глубины знаний. Большинство принципов и теорем механики, многообразие задач и разнотипность подходов к их решению требуют от студента не столько формального запоминания, сколько строгого логического мышления при выводе и анализе уравнений и обязательного понимания физического смысла изучаемых закономерностей. Поэтому на лекции от преподавателя требуется специально обращать внимание студентов на строгую логику своих рассуждений, а каждое теоретическое положение должно быть проиллюстрировано наглядными примерами, причем примеры эти целесообразно выбирать так, чтобы они имели прикладное значение и были бы доступны для понимания студентами.

Решение задач на практических занятиях предполагает не столько математическое оформление решения, сколько осмысление и понимание физического смысла применяемого закона.

В самом начале раздела «Статика» вводится понятие связей и их реакций, которые необходимо изучить и запомнить. Очень важно правильно расставить реакции связей,

иначе написанные уравнения равновесия окажутся неверными. Традиционное изложение данной темы в учебниках и на лекциях не предполагает рассмотрения вопроса причинности – почему в тех или иных видах связей возникают определенные реакции. Такой подход предполагает заучивание основных принципов и фактов, что исключает понимание их физического смысла. Рассуждение о причинности возникновения реакций связей, основанное на физических законах, позволяет организовать активную мыслительную работу. Вывод, к которому студент придет сам, останется в памяти надолго.

Одна из основных аксиом статики гласит, что несвободное твердое тело можно формально представить свободным, если мысленно отбросить механические связи и их действие на тело заменить реакциями связей [2]. Реакция связи направлена в сторону, противоположную той, куда связь не дает перемещаться. Тогда на тело будут действовать активные силы и реакции связей – это и будет расчетная схема для дальнейшего решения задачи. Обычно в статике при заданных активных силах, действующих на тело, вычисляют реакции связей; поэтому нужно знать, как правильно показать реакции связей. Рассмотрим виды связей и их реакций с точки зрения законов физики.

Гладкая поверхность или плоскость (рисунок 1а). Направление реакции определяется из третьего закона Ньютона (рисунок 1б), который гласит, что силы взаимодействия двух материальных точек (тел) равны по величине, противоположно направлены, и действуют вдоль прямой, соединяющей эти материальные точки (тела) [3]. В случае тела, находящегося на гладкой поверхности (рисунок 1в), под действием силы тяжести само тело стремится переместиться вниз, а связь препятствует этому перемещению. Таким образом, реакция \bar{R} [4] направлена по общей нормали к поверхностям связи и тела в точке их контакта и приложена к телу (рисунок 1 в, г).

Аналогичным образом можно рассуждать, заменяя гибкую связь **или нить** на ее реакцию связи. Термином «нить» обозначают цепи, тросы, канаты - связи, которые могут воспринимать только силы растяжения. Реакция нити на тело направлена по касательной к нити в точке ее закрепления (рисунок 2).

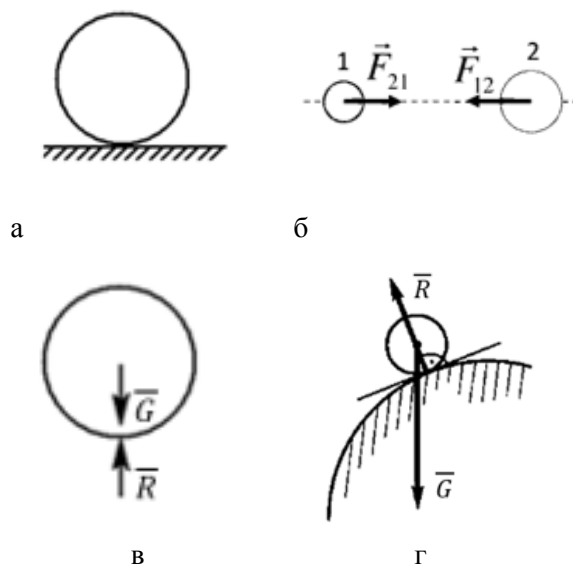


Рисунок 1

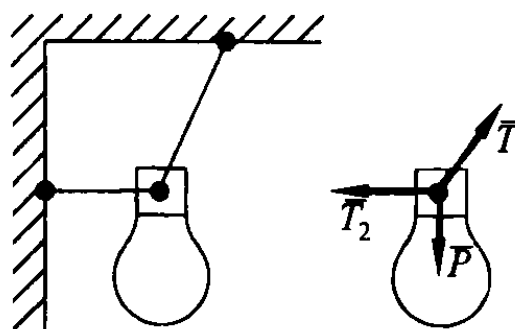


Рисунок 2

Реакция прямолинейного невесомого стержня с шарнирами на концах направлена вдоль оси стержня, но в отличие от нити такой стержень может передавать как силы растяжения \bar{R}_3 (Рисунок 3), так и силы сжатия \bar{R}_1 и \bar{R}_2 .

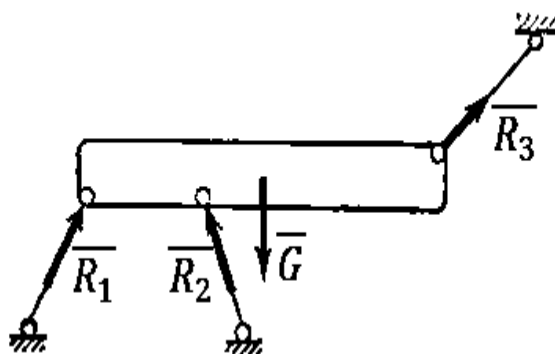


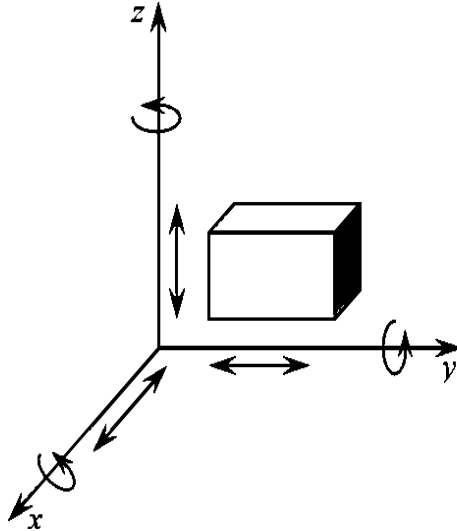
Рисунок 3

Иначе дело обстоит, если тело опирается на шарнирную опору или закреплено жестко. Одного понимания третьего закона

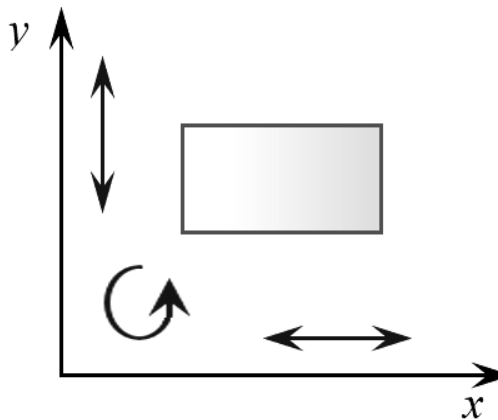
Ньютона будет недостаточно. Рассмотрим состояние покоя твердого тела или состояние равновесия приложенных сил как частный случай движения. В этом случае, согласно второму закону Ньютона $\bar{R} = m \cdot \bar{a}$ для поступательного и вращательного движений $M = J \cdot \varepsilon$, должны соблюдаться условия:

$$\bar{R} = \sum_1^n \bar{F}_k = 0 ;$$

$$M = \sum_1^n M_k = 0.$$



а – шесть степеней свободы: три поступательные, три вращательные



б – три степени свободы: две поступательные, одна вращательная

Рисунок 4

Движение твердого тела относительно рассматриваемой системы отсчета называется свободным, если нет никаких ограничений на положение и ориентацию тела. Такую возможность тело имеет, например, находясь в пустоте. Но если тело несвободно, то необходимо рассмотреть в каких именно направлениях связь ограничивает перемещение тела. В пространстве твердое тело имеет шесть

степеней свободы, т.е. шесть независимых координат, определяющих его положение и возможные движения (рисунок 4, а). Движение тела в плоскости, как частный случай общего движения, имеет, соответственно, три степени свободы (рисунок 4, б).

Сферический шарнир позволяет телу вращаться, но ограничивает линейные или поступательные перемещения по трем направлениям в пространстве – x , y , z (Рисунок 5 а), т.к. реакции должны быть направлены по направлениям, по которым связь не дает перемещаться, то получаем три реакции – R_x , R_y , R_z .

Равнодействующая реакция сферического шарнира \bar{R} приложена к его центру и может быть направлена по любому радиусу шарнира как диагональ параллелепипеда со сторонами R_x , R_y , R_z .

$$\text{При этом } R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2}.$$

В случае цилиндрического шарнира или шарнирно-неподвижной опоры ограничение движения тела рассматривается в плоскости (рисунок 5, б). Из трех степеней свободы ограничение имеют две линейные. Соответственно, действие связи можно заменить на две проекции реакции по осям x и y . Полная реакция может быть направлена по любому радиусу в плоскости Axy , а величина

$$\text{ее определяется как } R_a = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2}.$$

Шарнирно-подвижная опора (рисунок 5в) ограничена связью только в одном направлении. В тех направлениях, где перемещения допустимы, опорные реакции и их составляющие возникать не могут. По сравнению с неподвижным шарниром для этого типа связи высвобождается одно направление движения, таким образом, имеется только одно ограничение из трех возможных и, соответственно, связь можно заменить на одну реакцию, направленную перпендикулярно опорной поверхности.

Жесткая заделка (рисунок 6). Связь, которая запрещает как линейные, так и угловые перемещения твердого тела, называется заделкой. Такое закрепление твердого тела, например, балки исключает любое из возможных перемещений. Таким образом, количество реакций в заделке (рисунок 6) соответствует числу степеней свободы (рисунок 4): шесть в пространстве – три линейных (или поступательных) R_x , R_y , R_z и три угловых

(или вращательных) M_x, M_y, M_z , и три на плоскости - две линейных R_{Ax}, R_{Ay} и одна угловая реакция M_A .

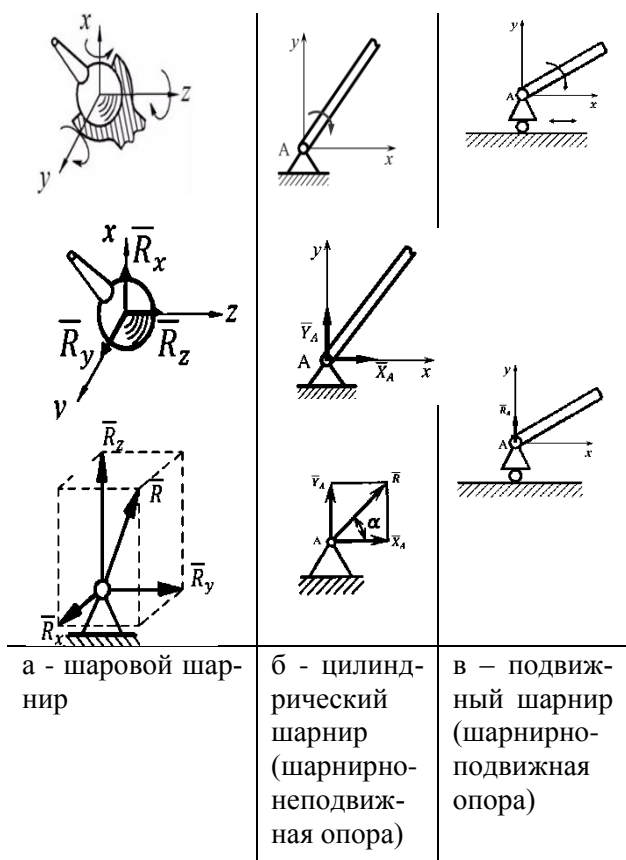
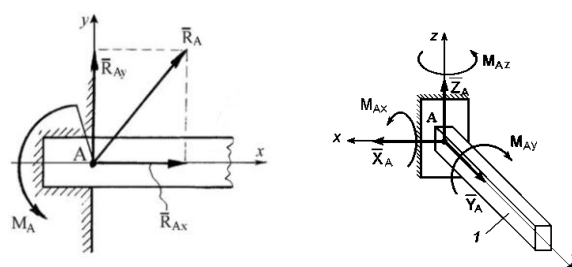


Рисунок 5

а - шаровой шарнир

б - цилиндрический шарнир (шарнирно-неподвижная опора)

в - подвижный шарнир (шарнирно-подвижная опора)



Реакции в плоской жесткой заделке

Реакции в пространственной жесткой заделке

Рисунок 6

Практика преподавания показывает, что при освоении курса теоретической механики приобретение студентами навыков решения задач затрудняется усвоением большого количества нового теоретического материала. Последовательное развитие технического мышления возможно при установлении логических связей между отдельными частями курса и понимании физического смысла различных понятий. Предложенный в данной работе подход в изучении темы «Связи и их реакции» с опорой на понимание о степенях свободы твердого тела позволяет сформировать у студентов наиболее общий подход к решению задач. Результаты наблюдений показывают, что предложенный метод является действенным и повышает эффективность обучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Парфенова, И.А.** Методика преподавания основ теоретической механики [Электронный ресурс] / Жаркова О.М., Лежнев В.В., Сквородов Г.М., Цой Г.Д. Журнал Современные проблемы науки и образования. – 2019.– № 2 ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет». URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=28629>

2. **Яблонский, А.А.** Курс теоретической механики. Т.2. – М. 1984. – 188 с.
 3. **Сивухин, Д.В.** Общий курс физики. – М.: Наука, 1979. – Т. I. Механика. – С. 78-88. – 520 с.
 4. **Дронг, В.И.** Курс теоретической механики: Учебник для вузов/ Дронг В.И., Дубинин В.В., Ильин М.М. и др; Под общ. Ред. Колесникова К.С. – 2-е изд., - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 736 с.