

Изучение принципа Ле Шателье – Брауна в разделе «Механика» курса общей физики МГТУ им. Н.Э. Баумана

Константин Владимирович Глаголев, Андрей Николаевич Морозов,
Михаил Леонидович Поздышев

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
105005, г. Москва, 2-я Бауманская улица, д. 5, кафедра физики

В статье приведены примеры, иллюстрирующие принцип Ле Шателье – Брауна в разделе «Механика» курса общей физики с учетом последовательного перехода к дальнейшим разделам курса общей физики, включающие в себя термодинамику, электричество, электромагнитные волны и физику твердого тела. Это позволяет лучше продемонстрировать взаимосвязь различных разделов физики.

Ключевые слова: принцип Ле Шателье – Брауна, термодинамическая система, механическая система, состояние равновесия.

Принцип Ле Шателье – Брауна традиционно излагают в разделе «Термодинамика» курса общей физики [1, 2]. Этот принцип гласит, что в находящейся в состоянии равновесия термодинамической системе, при попытке вывести ее из этого состояния, происходят такие изменения, которые уменьшают результат внешних воздействий.

Первоначально этот принцип был сформулирован Ле Шателье для описания обратимых химических реакций, при которых увеличение концентрации одного из исходных веществ приводит к сдвигу равновесия в сторону образования продуктов реакции [3, 4]. В последствие этот принцип был обобщен Брауном для равновесных термодинамических систем.

Первый закон механики Ньютона постулирует существование инерциальных систем отсчета [5], в которых тело при отсутствии внешнего воздействия находится в состоянии прямолинейного и равномерного движения или в состоянии покоя. Данное утверждение фактически эквивалентно предположению о существовании «состояния равновесия» для механических систем. Отметим, что в термодинамике аналогичную роль играет «нулевое» начало термодинамики, постулирующее существование состояния равновесия термодинамических систем, после достижения которого термодинамическая система не может произвольно из него выйти [2].

Существование равновесного состояния механических систем позволяет применить к ним принцип Ле Шателье – Брауна. Это особенно важно потому, что в курсе общей физики МГТУ им. Н.Э. Баумана механика и термодинамика читаются в

одном семестре, и порой изложение принципа Ле Шателье – Брауна получается недостаточным из-за ограниченного лекционного времени.

В курсе общей физики МГТУ им. Н.Э. Баумана используются четыре вида учебных занятий: лекционные занятия, лабораторный практикум, семинарские занятия и контролируемая самостоятельная работа студентов. Два последних вида занятий предполагают решение студентами теоретических задач, в том числе способствующих выполнению студентами домашних заданий. Представляется, что наиболее наглядным и усвояемым методом изложения принципа Ле Шателье – Брауна является демонстрация его в рамках курса лекций по механике и в ходе выполнения лабораторных работ. Ниже мы рассмотрим, какие демонстрации по механике наиболее доходчиво преподносят принцип Ле Шателье – Брауна и как он проявляется в других разделах курса общей физики.

В демонстрационном кабинете кафедры физики МГТУ им. Н.Э. Баумана имеются две демонстрации по механике, показывающие инерционные свойства механических систем (инерционные машины). Одна из них – это простейшая модель регулятора Уатта (рис. 1), представляющая собой два шарика на концах стержней, крепящихся на двух шарнирах, позволяющих двигаться стержням в вертикальной плоскости, проходящей через вертикальную ось вращения.



Рисунок 1. Механическая модель регулятора Уатта.



Рисунок 2. Инерционная машина, состоящая из упругих полосок.

Вторая демонстрация, имеющаяся в кабинете физики – сфера, состоящая из тонких металлических полосок, которая тоже может вращаться вокруг вертикальной оси (рис. 2). При вращении стержни поднимаются, увеличивая радиус вращения шариков, а сфера сплющивается в вертикальном измерении, превращаясь в эллипсоид.

Таким образом, и в первом, и во втором случаях момент инерции механической системы возрастает.

Согласно основному закону динамики вращательного движения при заданном моменте внешних сил увеличение момента инерции механической системы ведет к уменьшению ее углового ускорения. На примере этих демонстраций мы видим, что при внешнем воздействии в механической системе в инерциальной системе отсчета происходят такие изменения, которые приводят к уменьшению результата этого воздействия.

Напомним, что регулятор Уатта был одной из первых систем с обратной связью. Такие системы являются важнейшим примером использования принципа Ле Шателье – Брауна в технике, что имеет принципиальное значение для обучения студентов технического вуза, каким является МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В лабораторном практикуме кафедры физики имеется еще одна механическая демонстрация принципа Ле Шателье – Брауна (рис. 3), основанная на гироскопическом эффекте [6]. При приложении к гироскопу внешнего момента сил, гироскоп поворачивает свою ось так, чтобы уменьшить угол между вектором момента импульса гироскопа и вектором момента сил [7]. В результате при внешнем воздействии в гироскопической системе происходят такие изменения, которые стремятся уменьшить результат этих воздействий.



Рисунок 3. Механический гироскоп.

Эти демонстрации позволяют наглядно продемонстрировать применение принципа Ле Шателье – Брауна в механике. Необходимость показать этот принцип в курсе механики связана с тем, что его традиционно читают перед курсом термодинамики. Принцип Ле Шателье – Брауна позволяет продемонстрировать связь этих двух разделов физики и закрепить знания и навыки, которые студенты могут использовать в дальнейшей работе, в том числе при решении задач.

В курсе термодинамики приводится в качестве примера техническое приложение принципа Ле Шателье – Брауна – адсорбционные цеолитовые насосы [2]. Химическая адсорбция газа в цеолите происходит с выделением теплоты. При охлаждении цеолита жидким азотом наблюдается резкое увеличение поглощения цеолитом газа, что применяется, например, для получения высокого вакуума в ускорителях.

Принцип Ле Шателье – Брауна в физике является обобщением правила Ленца в электродинамике [1, 8], утверждающего, что индукционный ток в проводящем контуре всегда направлен так, чтобы противодействовать изменению магнитного потока через поверхность, ограниченную этим контуром. В демонстрационном кабинете кафедры физики есть демонстрация правила Ленца (рис. 4), причем магнитный поток через катушку можно менять различным способом: увеличивая потокосцепление с другой катушкой с постоянным током, изменяя направление постоянного тока через вторую катушку или вкладывая сердечник в первую катушку. Результаты фиксируются гальванометром.

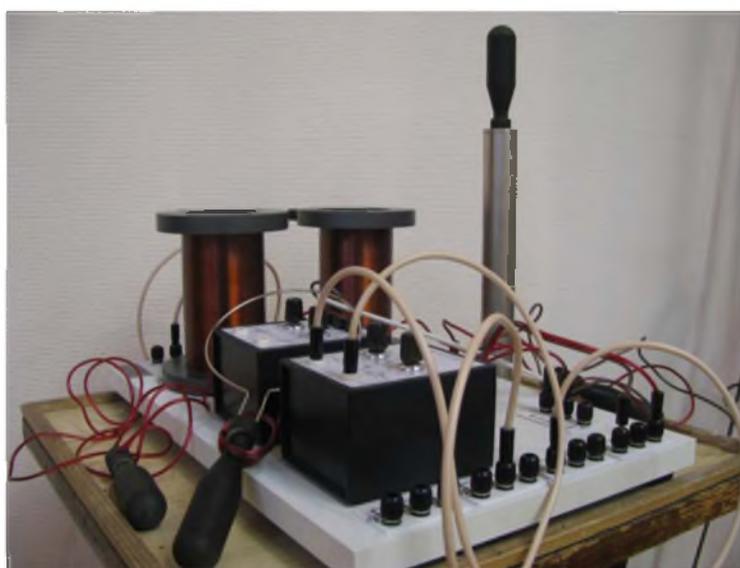


Рисунок 4. Демонстрация правила Ленца.

Одним из примеров проявления принципа Ле Шателье – Брауна в физике твердого тела является эффект Холла в металлах и полупроводниках [9], где происходят такие изменения, которые уменьшают внешнее воздействие магнитного поля на протекающий электрический ток. Действительно, перераспределение зарядов в проводнике или полупроводнике происходит до тех пор, пока поперечная (по отношению к направлению движения зарядов) кулоновская сила полностью не компенсирует магнитную силу, возникающую при воздействии магнитного поля на движущиеся заряды, то есть до наступления состояния равновесия. В лабораторном практикуме кафедры физики МГТУ им. Н.Э. Баумана имеются установки, на которых студенты изучают эффект Холла в полупроводниках (рис. 5).



Рисунок 5. Установка для экспериментального исследования эффекта Холла в полупроводниках.

Принцип Ле Шателье – Брауна выполняется также в случае сильных флуктуаций относительно положения равновесия [10-12]. В этом случае в системе происходят такие изменения, которые стремятся скорейшим образом вернуть ее в состояние равновесия, при этом происходит возрастание энтропии системы. Расширенный принцип Ле Шателье – Брауна позволяет применить его к такой термодинамической системе, находящейся в неравновесном состоянии, какой является Земля [13].

Применения принципа Ле Шателье – Брауна к биосферным процессам позволяет проводить предсказания развития экологической ситуации, основываясь на описании биосферы как саморегулирующейся системы [14]. Жизнь на Земле (особенно разумная) выступает в качестве эффективного фактора перевода ее в равновесное состояние, при этом происходит быстрое увеличение энтропии системы.

Принцип Ле Шателье – Брауна проходит через все разделы физики, связывая их между собой, демонстрируя таким образом «сквозной» подход к преподаванию курса общей физики. Нередко приходится слышать от студентов, что гравитационные силы являются механическими, поскольку закон всемирного тяготения изучают в разделе «Механика», а кулоновская сила является электрической, поскольку закон Кулона изучают в разделе «Электричество». Именно для того, чтобы подчеркнуть тесную связь различных разделов физики, мы предлагаем начинать изучение принципа Ле Шателье – Брауна в разделе «Механика».

Литература

1. *Сивухин Д.В.* Термодинамика и молекулярная физика. Общий курс физики. Т. 2. М.: Наука, 1990. 592 с.
2. *Глаголев К.В., Морозов А.Н.* Физическая термодинамика. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007, 272 с.
3. *Гуров А.А., Бадаев Ф.З., Овчаренко Л.П., Шаповал В.Н.* Химия: учебник. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004, 748 с.
4. *Лебедев Ю.А., Фадеев Г.Н., Голубев А.М., Шаповал В.Н.* Химия: учебник для бакалавров. М.: Издательство Юрайт, 2014, 527 с.
5. *Мубаракшин И.Р.* О первом законе Ньютона // Физическое образование в вузах. 2012. Т. 18. № 3. С. 62-67.
6. *Бянкин В.М., Гладков Н.А., Морозов А.Н.* Определение динамических характеристик гироскопа. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1990, 10 с.
7. *Фриш С.Э., Тиморева А.В.* Курс общей физики. Т. 1. СПб.: Издательство «Лань», 2006, 480 с.
8. *Мартинсон Л.К., Морозов А.Н., Смирнов Е.В.* Электромагнитное поле. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013, 422 с.
9. *Винтайкин Б.Е.* Физика твердого тела. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006, 360 с.
10. *Глаголев К.В., Морозов А.Н.* Применение принципа Ле-Шателье – Брауна для интерпретации результатов долговременных измерений флуктуаций напряжения в малых объемах электролита // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электронный журнал. 2015. № 6. С. 1-9. DOI:10.7463/0615.0778630
11. *Глаголев К.В., Морозов А.Н., Позднышев М.Л.* Расчет возрастания энтропии при теплообмене двух тел // Наука и образование. Электронный журнал. 2014. № 1. С. 1-5. DOI:10.7463/0114.0681975
12. *Глаголев К.В., Морозов А.Н.* Применение принципа Ле-Шателье – Брауна в различных физических задачах // Сборник трудов Восьмой Всероссийской конференции «Необратимые процессы в природе и технике». Ч. 3. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015, С. 224.
13. *Изаков М.Н.* Самоорганизация и информация на планетах и в экосистемах // Успехи физических наук. 1997. Т. 167, № 10. С. 1087-1094.
14. *Тарко А.М.* Устойчивость биосферных процессов и принцип Ле Шателье // Доклады академии наук. 1995. Т. 343, № 3. С. 393-395.

Study of Le Chatelier – Brown Principle in Mechanics Section of General Physics at Bauman MSTU

K.V. Glagolev, A.N. Morozov, M.L. Pozd'ishev

Bauman Moscow State Technical University; e-mail: amor59@mail.ru

Received September 3, 2015

PACS 05.70.Ln

The examples that demonstrate Le Chatelier – Brown principle in Mechanics section are given in the article. It takes into account the further sections of General Physics course: Thermodynamics, Electricity, Electromagnetic Waves, Solid State Physics. This approach provides an opportunity for better demonstration of interrelation of various sections of Physics.

Keywords: Le-Chatelier – Brown principle, Thermodynamical system, Mechanical system, balanced state.

References [in Russian]

1. *Sivukhin D.V.* The global course of physic. Thermodynamic and molecular physics, V, 2: Moscow, Physmatlit, 2005, 544 p.
2. *Glagolev K.V., Morozov A.N.* Physical thermodynamics. Moscow, Bauman MSTU publ., 2007, 272 p.
3. *Gurov A.A., Badaev F.Z., Ovcharenko L.P., Shapoval V.N.* Chemistry coursebook. Moscow, Bauman MSTU publ., 2004, 748 p.
4. *Lebedev U.A., Fadeev G.N., Golubev A.M., Shapoval V.N.* Chemistry: the coursebook for bachelors. Moscow, Uright publ., 2014, 527 p.
5. *Mubarakshin I.R.* About Newton's First Law // Physics in Higher Education, 2012, V. 12, № 3, P. 62-67.
6. *Biankin B.M., Gladkov N.A., Morozov A.N.* The calculate of dynamics parameters of gyroscope. Moscow, Bauman MSTU publ., 1990, 10 p.
7. *Frish S.E., Timoreva A.V.* The course of general physics, V. 1. Sankt-Petersburg, "Lan" publ., 2006, 480 p.
8. *Martinson L.K., Morozov A.N., Smirnov E.V.* Electromagnetic field. Moscow, Bauman MSTU publ, 2013, 422 c.
9. *Vintaikin B.E.* Solid State Physics. Moscow, Bauman MSTU publ, 2006, 360 c.
10. *Glagolev K.V., Morozov A.N.* The application of Le Chatelier – Brown principle for interpretation of the results of the long-lasting fluctuations of the electric strength in minor volumes of electrolytes // Science and Education of the Bauman MSTU. Electronic journal, 2015, № 6, P. 1-9. DOI:10.7463/0615.0778630
11. *Glagolev K.V., Morozov A.N., Pozd'ishev M.L.* Calculation of entropy increment during heat exchange

- between two solid bodies // Science and Education of the Bauman MSTU. Electronic journal, 2014, № 1, P. 1-5. DOI:10.7463/0114.0681975
12. *Glagolev K.V., Morozov A.N.* The Le Chatelier – Brown principle for various application physical problems. The eight All-Russia Conference “Irreversible Processes in Nature and Techniques”. Moscow, Bauman MSTU publ, 2013, part III, P. 224.
13. *Izaskov M.N.* Self-organization and information on planets and ecosystems // Advances in Physical Sciences, 1997, V. 167, № 10, P. 1087–1094.
14. *Torko A.M.* Resistance of biosphere processes and Le Chatelier principle // The reports of Academy of Sciences, 1995, V. 348, № 3, P. 393–395.