

УДК 535.31+371.315.6

PACS: 42.15.-i

Специфика наблюдения предметов, находящихся под плоской границей раздела прозрачных сред

В.А.Летяго

*Харьковский национальный университет имени В.Н.Каразина,
пл. Свободы, 4, Харьков, Украина, 61077*

В данной научно-методической работе выполнен обзор литературных источников, в которых затрагивается проблема наблюдения предметов, находящихся под плоской границей раздела сред. По рассматриваемому вопросу сделаны некоторые уточнения.

Ключевые слова: наблюдение предметов.

В цій науково-методичній роботі виконано огляд літературних джерел, в яких приділяється увага проблемі спостереження предметів, що знаходяться під плоскою межею розділу прозорих середовищ. По питанню, що розглядається, зроблені деякі уточнення.

Ключові слова: спостереження предметів.

This paper reviews a number of references treating the observation of objects located under a flat interface of transparent media. Several refinements are made regarding the problem considered.

Keywords: observation of objects.

Задаче о наблюдении предмета, находящегося под плоской границей раздела прозрачных сред в литературе уделено достаточно большое внимание. Она включена в целый ряд сборников задач (например, [1,3,4,6,7]) и учебных пособий по методике решения задач по общему курсу физики [2,5]. В [8] подробно рассмотрена каустика поверхность для лучей, преломленных на плоской границе раздела сред. Там же получены уравнения каустик для меридиональных и экваториальных лучей. В сборнике задач по общей физике [1] ей соответствует текст: «На краю бассейна стоит человек и наблюдает камень, лежащий на дне. Глубина бассейна h . На каком расстоянии от поверхности воды видно изображение камня, если луч зрения составляет с нормалью к поверхности воды угол θ ?» Отметим, что задача для ситуации, когда $\theta = 0$, предлагается читателям, например, в [3,9]. Последний случай имеет некоторое практическое значение. Он является идейной основой для одного из методов определения показателя преломления прозрачного вещества. Кстати, задача, приведенная выше, является ключом к пониманию того, почему при увеличении θ дно водоема кажется все более близким к поверхности воды.

В учебном пособии [2] рассматриваемая задача сформулирована примерно также как и в [1]. В [3] на языке оригинала она звучит так: «У скільки разів глибина водоймища здається меншою, ніж вона є в

дійсності, якщо дивитися : «... б) під кутом $i=60^\circ$ до вертикалі? «.

В книгах [4-6] рассматриваемая задача сформулирована практически одинаково. В ней авторы [4-6] просят читателя просто найти расстояние изображения предмета до поверхности воды, не акцентируя внимание в отличие от [1-3,7] на зрительных ощущениях наблюдателя.

В сборнике [7] эта задача выглядит несколько иначе: « Наблюдатель смотрит на предмет, лежащий на дне водоема. Ему кажется, что предмет находится на глубине $h=1\text{ м}$ на расстоянии $l=5\text{ м}$ от его глаз по прямой линии. Глаза наблюдателя находятся на одной и той же высоте, а именно на высоте $H=1,5\text{ м}$ над поверхностью воды. На какой глубине h_0 лежит предмет?

Следует подчеркнуть, что далее в данной работе обозначения разных величин, отрезков и т.д. могут не совпадать с [1-8]. Рассматривая указанную задачу и комментарии к ее решению в книгах [1-7], можно обратить внимание, например, на следующее:

1. Автор [7] в тексте данной задачи подчеркивает, что глаза наблюдателя находятся на одной и той же высоте. А если глаза человека находятся на вертикали? Задача становится иной? Кстати, о расположении глаз относительно поверхности воды в текстах задачи в [1-6] какие-либо предположения отсутствуют. Однако автор [2] при решении задачи рассматривает два варианта расположения глаз наблюдателя. В первом

случае он их располагает на горизонтали, а во втором – на вертикали, получая при этом разные ответы.

2. Пусть авторы [2,7] правы в том, что картина, которую видит наблюдатель, и расстояние изображения предмета до поверхности воды зависят от того, как расположены глаза человека – на вертикали или на горизонтали. А если при том же значении θ смотреть на камень только одним глазом? Картина будет иной?

На рис.1 точка S обозначает камень, AA_1 – плоская поверхность воды, O_1S , M_1M , N_1N – перпендикуляры к AA_1 в точках O , D , D_1 соответственно, $\angle M_1DP = \theta$. Пусть лучи SDP и SD_1P_1 близки друг другу, то есть $\angle N_1D_1P_1 = \theta + d\theta$, где $d\theta$ – по определению является малой величиной. Предположим, что они лежат в плоскости рисунка. Такие лучи в [8] называются меридиональными. Их продолжения, которые на рисунке обозначены пунктирными линиями, пересекаются в точке S'' . Для указанных лучей она является мнимым изображением светящейся точки (камня) S . На рис.1 и в [2,8] точка S'' находится правее вертикали O_1S , а на соответствующем рисунке в [5] – левее. Что касается рисунка в [6], то там S'' лежит на указанной вертикали. Так какое же положение точки S'' является правильным, если учесть то, что показатель преломления воды $n > 1$?

3. Рассмотрим два луча, а именно лучи DP и D_1P_1 . Луч D_1P_1 очень близок к DP , образуя с нормалью к поверхности воды также угол θ . Он находится в плоскости, перпендикулярной плоскости рисунка и на рис.1 сливается с лучом DP . Прямая DP является линией пересечения указанных плоскостей. Указанные лучи называются в [8] экваториальными. Нетрудно догадаться, что их продолжения пересекаются в точке S' , которая лежит на вертикали O_1S . Точка S' является еще одним мнимым изображением точки S . Кстати, это показывает, что гомоцентрический пучок лучей, сосредоточенных в малом телесном угле (DSD_1), после их преломления на плоской поверхности воды становится астигматическим. Изображения S' и S'' являются фокальными точками, соответствующими данному астигматическому пучку. Таким образом, в рассматриваемом случае мы имеем два изображения камня. Является ли корректным то, что к данной задаче в [1,3-7] прилагается только один ответ?

4. Авторы [5] пишут, что поскольку в глаз попадают лучи с малым угловым раствором, изображение предмета получается отчетливым. А только ли с малостью углового раствора лучей связана отчетливость изображения?

Приведенные выше пункты 1-5 убедительно показывают то, что, несмотря на широкое распространение в литературе, задача о наблюдении предмета, находящегося под плоской границей раздела прозрачных сред, имеет довольно противоречивое толкование. Кроме того, достаточно нетрудно представить себе те затруднения, которые

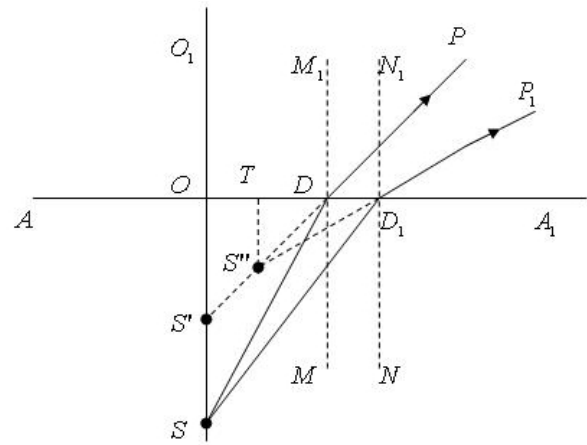


Рис.1. Преломление пучка лучей на плоской границе раздела сред: S - наблюдаемый точечный предмет (камень), S' и S'' - фокальные точки (изображения точки S) астигматического пучка лучей (PDD_1P_1).

будет испытывать в такой ситуации студент при самостоятельной работе с указанной литературой, попытаюсь рассмотреть со всех сторон данную задачу. Именно это стало причиной написания данной научно-методической работы.

Проведем обсуждение пунктов 1-5, сформулированных выше, оставаясь на позициях геометрической оптики. Начнем с пункта 1. Обозначим прямую, проходящую через центры зрачков глаз человека, как $O'O''$. Если она горизонтальна, то авторы [2,7] считают, что в этом случае наблюдатель видит точку S' . При этом они считают, что лучи D_1P_1 и DP должны попадать в разные глаза человека. По их мнению, только в этом случае он сможет ощущать глубину пространства, то есть определять визуально расстояние до наблюдаемого объекта. Складывается такое впечатление, что авторы [2,7] несколько прямолинейно сюда привлекают идеологию метода триангуляции, который хорошо известен в геодезии. Способность человеком в некоторой степени оценивать расстояния до предметов действительно связана с тем, что его глаза разнесены в пространстве. В этом смысле некоторая аналогия с методом триангуляции здесь присутствует. На этом она и заканчивается, так как у геодезиста есть, например, точнейшие приборы, а у глаз человека их нет. Когда наблюдатель рассматривает некоторый предмет, то от разных малых его участков в глаза человека попадают пучки лучей, раствор которых в общем случае мал, так как он определяется диаметром зрачков. В результате на каждой сетчатке возникает свое изображение предмета. Так как у каждого глаза своя линия прямого зрения, то эти изображения будут несколько отличаться друг от друга. Образно говоря, мозг человека, по сути дела, сравнивает эти отличия, что и позволяет человеку в некоторой степени оценивать расстояния до предметов. Формулы, полученные в [2] при решении рассматриваемой задачи, являются

правильными. Однако трудно согласиться с имеющейся там трактовкой формирования изображений S' и S'' . Итак, если расстояние между глазами мало по сравнению с их удалением от поверхности воды, то наблюдаемая человеком картина и ответ на данную задачу не должны зависеть от положения прямой $O'O$.

Теперь мы можем ответить и на вопрос пункта 2. Если человек при том же значении θ будет смотреть на камень только одним глазом, то наблюдаемая им картина не изменится. При этом его способность в этом случае оценивать расстояния до предметов мы не рассматриваем. В [8] выполнены правильные расчеты координат точки S'' . При $n > 1$ она должна находиться правее вертикали OO_1 (рис.1). Следовательно, положения изображения S'' на соответствующих рисунках в [5,6] необходимо признать ошибочными. Это и есть ответ на вопрос пункта 3.

Перейдем к пункту 4. Так как пучки лучей, которые попадают в глаза человека, являются астигматическими, то наблюдатель должен каждым глазом в отдельности и обоими глазами одновременно в принципе должен видеть два изображения S' и S'' . Их расстояния до поверхности воды равны

$$h' = h \frac{\cos \theta}{(n^2 - \sin^2 \theta)^{1/2}} \quad (\text{см. [2]}), \quad (1)$$

$$h'' = hn^2 \frac{\cos^3 \theta}{(n^2 - \sin^2 \theta)^{3/2}} \quad (\text{см. [1-6]}). \quad (2)$$

Напомним, что здесь h – глубина бассейна, n – показатель преломления воды. Отметим, что в [1,3-6] ответы к задаче соответствуют равенству (2), а в [7] – формуле (1). Трудно согласиться с авторами [1,3-7] в том, что они при решении такой непростой задачи, по сути дела, без серьезных обоснований остановились только на одном из указанных выражений.

Остановимся теперь на пункте 5. Конечно, малый раствор пучков лучей, попадающих в глаза человека, является фактором четкости изображения камня. Однако необходимо учесть и следующее. Сечением каустики меридиональных лучей, расположенных в плоскости рис.2 правее вертикали OO_1 , является кривая $S'_0S''M$. Например, продолжение луча B_3C_3 касается этой кривой в точке S'' , которая является фокальной точкой меридиональных лучей, находящихся вблизи B_3C_3 . Каустикой меридиональных лучей будет поверхность, которая получится при повороте кривой $S'_0S''M$ вокруг OO_1 . Для экваториальных лучей, находящихся вблизи луча B_3C_3 , фокальной точкой будет точка S' . Она является точкой пересечения продолжения отрезка B_3C_3 с прямой SO_1 . Каустикой экваториальных лучей является отрезок S'_0O . Из рис.2 видно, что при уменьшении угла θ между лучом зрения и нормалью к поверхности воды, точки S' и S'' будут смещаться вниз по каустике. При $\theta = 0$ они сольются в

одну точку S'_0 , которая будет изображением камня (точка S) при $\theta = 0$. Если $\theta \neq 0$, от точки S в каждый глаз попадает по узкому астигматическому пучку лучей. Им соответствуют по два изображения камня. Например, на рис.2 это S' и S'' . Эти точки на луче зрения находятся друг за другом. Известно, что глаза человека очень подвижны. Поэтому, если в какой-то момент времени глаза аккомодированы на точке S' , то через мгновение объектом аккомодации будет точка S'' . Таким образом, для наблюдателя изображения S' и S'' будут сливаться. Это в свою очередь будет также положительно влиять на четкость изображения. В заключение обсуждения пункта 5 приведем следующее.

Если, например, $h=1$ м, $\theta=60^\circ$, $n=1,33$, то (см. рис.1) $S'O=h' \approx 49,5$ см, $S''T=h'' \approx 21,5$ см, $S'S''=(h'-h'')/\cos \theta \approx 56$ см, а расстояние точки S'' до вертикали OO_1 равно $S'S''\sin \theta \approx 48,5$ см.

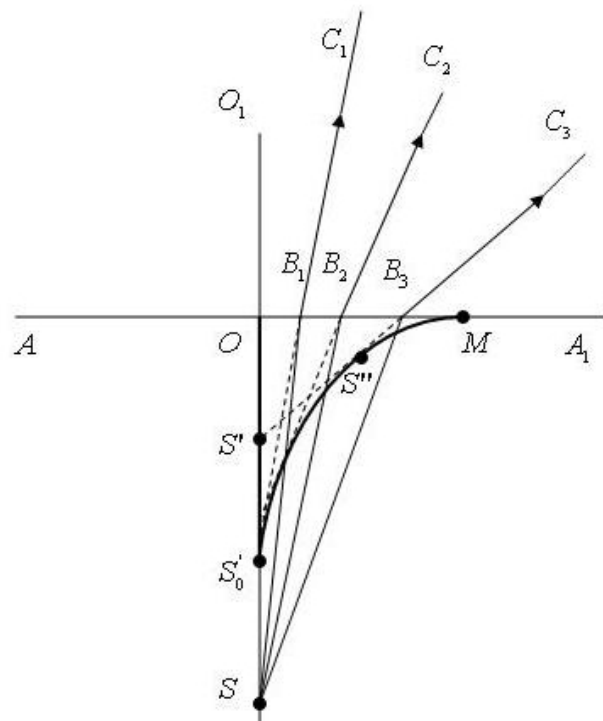


Рис.2. Сечение плоскостью рисунка каустической поверхности лучей, преломившихся на поверхности воды: S – наблюдаемый точечный предмет, вертикальный отрезок OS'_0 – каустика экваториальных лучей, $S'_0S''M$ – кривая пересечения плоскости рисунка с каустикой меридиональных лучей, находящихся правее вертикали SO .

Наверное, невозможно представить себе такую систему организации учебного процесса, в ходе которого самостоятельная работа студентов имела бы несущественное значение. Поэтому такого рода деятельность студентов всегда была важнейшим элементом в системе их подготовки по выбранной ими специальности. Было время, когда преподаватель являлся в первую очередь носителем информации. В настоящее же время в распоряжении студентов есть

обширнейшие библиотеки и современные электронные информационные ресурсы. В таких условиях аудиторные занятия, скорее всего, должны играть роль направляющих учебного процесса, поэтому студенты должны много работать самостоятельно. Считается, что такая схема обучения студентов является наиболее эффективной. Поэтому в последнее время наблюдается тенденция к дальнейшему увеличению роли самостоятельной работы студентов в ходе учебного процесса. Самостоятельная работа студентов по своей сути весьма многогранна. В нашей работе обращено внимание только на одну ее грань, а именно на ситуацию, когда литературные источники могут ставить перед студентом многочисленные проблемные ситуации. От того, как студент с ними справится, в значительной степени будет зависеть уровень его достижений в ходе самостоятельной работы. Выполненный в данной научно-методической работе обзор литературы, в которой содержится задача о наблюдении предмета, находящегося под водой, является хорошей иллюстрацией того, какие проблемные ситуации могут возникнуть перед студентом при его самостоятельной работе с различными источниками информации.

1. И.Е.Иродов. Задачи по общей физике, БИНОМ, Лаборатория знаний, М.(2007), 431 с.
2. Е.В.Фиртанг. Руководство к решению задач по курсу общей физики, «Высшая школа», М.(1978), 351 с.
3. І.П.Гаркуша, І.Т.Горбачук, В.П.Курінний, І.М.Кучерук, М.Ш.Певзнер. Загальний курс фізики. Збірник задач, Техніка, К.(2004), 560 с.
4. В.Л.Гиндзбург, Л.М.Левин, Д.В.Сивухин, Е.С.Четверикова, И.А.Яковлев. Сборник задач по общему курсу физики. Оптика, изд-во «Наука», глав. ред. физ.-мат. лит-ры, М.(1977), 320 с.
5. Е.Н.Ильичева, Ю.А.Кудяров, А.Н.Матвеев. Методика решения задач оптики, изд-во Моск. ун-та, М.(1981), 232 с.
6. В.М.Бенца, І.П.Студеняк. Задачі з оптики. Навчальний посібник, УжНУ, Ужгород (2006), 240 с.
7. Д.И.Сахаров. Сборник задач по физике, Просвещение, М.(1973), 288с.
8. Д.В.Сивухин. Общий курс физики. Оптика, Т.4, ФИЗМАТЛИТ, изд-во МФТИ, М.(2002), 792с.
9. А.Н.Матвеев. Оптика, Высш. школа, М.(1985), 351с.