

ветственно, меньше света. Днем разница между этими двумя биноклями незначительна, потому что размер зрачка глаза днем всего 2 – 3 мм, что меньше апертуры обоих биноклей.

Если невооруженным глазом мы видим ночью какой-то объект на максимальном расстоянии Z , то с помощью бинокля 50×7 можно наблюдать объекты, удаленные на расстояние $7Z$. Так например, если бы все звезды были одинаковой яркости и невооруженным глазом были бы видны все звезды в радиусе Z световых лет, то с помощью бинокля 50×7 мы смогли бы увидеть звезды в радиусе $7Z$. Объем Вселенной, доступный для наблюдения, при этом увеличился бы в $7^3 = 343$ раз. И во столько же раз увеличилось бы число наблюдаемых звезд! В действительности звезды распределены во Вселенной неравномерно и имеют разную яркость, но предыдущий вывод об увеличении числа наблюдаемых объектов в триста с лишним раз при использовании бинокля остается в силе.

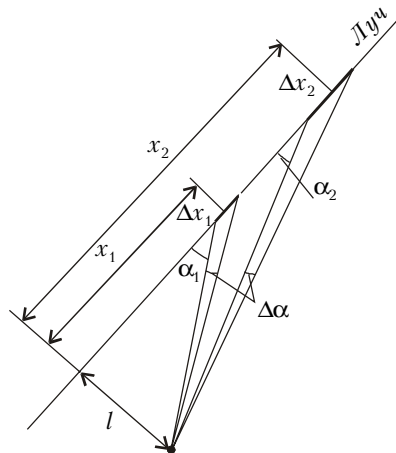
Катодная трубка прибора ночного видения увеличивает собранный световой поток в несколько тысяч или даже десятков тысяч раз. Максимум чувствительности у катодной трубки находится в области красного и ближнего инфракрасного спектра, что очень удобно для наблюдения красного света ЛУ. Если пользоваться прибором ночного видения, то все ЛУ от самых дешевых до самых дорогих, дающие разные оттенки красного света, практически неразличимы по яркости. Наблюдатель, вооруженный прибором ночного видения, способен заметить свет от точечного источника, если всего несколько фотонов в секунду попадут на входную поверхность прибора. Полная адаптация глаза к темноте при этом не обязательна. Реальный порог чувствительности может быть в десятки раз ниже за счет того, что собирающая поверхность прибора больше собирающей поверхности глаза человека. Используя прибор ночного видения, мне удавалось наблюдать свет ЛУ, отраженный от низколежащих облаков.

Можно ли точно нацелить луч ЛУ на очень далекий предмет, например на спутник на орбите или на корабль в ночном море, настолько далекий, что не видно отраженного света? Оказывается, да. И сделать это можно с помощью прибора ночного видения — чувствительность прибора такова, что становится виден сам луч лазера в воздухе. Это и не очень

удивительно. Мы все наблюдали лучи мощных прожекторов в ночном небе. Иногда в условиях тумана можно видеть и луч фонарика. То, что мы видим луч, означает, что часть энергии луча рассеивается на флуктуациях плотности воздуха или на микроскопических частицах, плавающих в воздухе.

Протяженность участка пути, на котором луч прожектора или фонарика виден со стороны, всегда ограничена — мы видим луч только там, где он достаточно концентрированный, а на большом расстоянии интенсивность луча падает из-за его расходимости и луч как бы теряется. Для лазерного луча это не так. Из-за того что угловая расходимость луча примерно равна угловому разрешению глаза, на больших расстояниях луч виден как очень тонкая линия. И эта линия видна на любом расстоянии от наблюдателя! Даже если мы не видим свет, отраженный от далекого корабля, мы увидим луч нашей ЛУ, упирающийся в корабль или в спутник.

Для того чтобы понять, почему яркость траектории лазерного луча не зависит от расстояния, посмотрим на рисунок. На нем показаны два участка пути луча Δx_1 и Δx_2 , длины которых подобраны так, чтобы они были видны наблюдателю под одним и тем же углом $\Delta\alpha$. Расстояния, на которых находятся эти участки, равны примерно $x_1 = l/\alpha_1$ и $x_2 = l/\alpha_2$, откуда имеем $\Delta x_1 = l\Delta\alpha/\alpha_1^2$ и $\Delta x_2 = l\Delta\alpha/\alpha_2^2$, или $\Delta x_1 = \Delta\alpha x_1^2/l$ и $\Delta x_2 = \Delta\alpha x_2^2/l$. Будем считать, что мощность рассеиваемого света на единицу длины пробега луча не зависит от расстояния x . Тогда мощности $\Delta\omega_1$ и $\Delta\omega_2$ света, рассеянного на



участках 1 и 2, пропорциональны их протяженностям, или квадратам расстояний до них: $\Delta\omega_1 \sim \Delta\alpha x_1^2$ и $\Delta\omega_2 \sim \Delta\alpha x_2^2$. Но мощности света, приходящего к наблюдателю от участков 1 и 2, обратно пропорциональны квадратам расстояний до них. Таким образом, мощности света, приходящего к наблюдателю от участков 1 и 2 траектории луча, имеющих с точки зрения наблюдателя одинаковую угловую протяженность, не зависят от расстояния до этих участков. Это означает, что траектория луча имеет равномерную яркость!

На расстояниях порядка десяти километров приближения, с помощью которых мы пришли к этим выводам, неизбежно нарушаются. Это связано с тем, что на таком расстоянии интенсивность луча уменьшается из-за рассеяния и он становится менее ярким. Кроме того, если луч света направлен вертикально, ослабление яркости луча усугубляется и уменьшением плотности воздуха, а вместе с ней и интенсивности рассеивания. Если считать, что длина пути, на которой луч виден наблюдателю, равна 10 км, можно оценить, что для наблюдателя, находящегося в стороне от ЛУ на 1 м, угловая погрешность лазерной указки составляет 10^{-4} рад, что меньше угловой расходимости лазерного луча.

Можно ли со спутника увидеть свет от ЛУ, направленный с Земли? По-видимому, можно. Оценка с использованием формулы (7) дает дальность видимости около двух тысяч километров. Околоземные спутники летают гораздо ниже, на высотах порядка сотен километров. Рассеяние луча на флуктуациях плотности воздуха существенно только в нижних слоях атмосферы и не может повлиять на эту оценку.

Зададимся вопросом: если мы видим спутник в ночном небе, значит ли это, что и со спутника можно увидеть свет нашего ЛУ? Чтобы ответить на этот вопрос, сравним мощности света, получаемого наблюдателем с Земли и наблюдателем со спутника. Если мы видим спутник, это значит, что солнечный свет, отраженный спутником и рассеянный во все стороны, попадает нам в глаз в достаточном количестве. Пусть размер спутника 3 м. Интенсивность солнечного света у поверхности спутника $1 - 2$ мВт/мм². Наша мало-