

ماهیت رنگین کمان

منبع: وب سایت مرکز ملی تحقیقات هواشناسی ایالات متحده آمریکا (UCAR)



دونالد اهرنر نویسنده ای است که در کتاب خود با نام "هواشناسی امروز" از رنگین کمان تحت عنوان یکی از دیدنی ترین نورهایی که می توان در زمین مشاهده کرد نام برده است. حقیقتاً از دیدگاه سنتی رنگین کمان عبارت از پرتو خورشیدی است که به رنگهای مختلف انتشار می یابد و به وسیله قطرات ریز باران به چشم مشاهده کننده بازمی گردد. اصطلاح کمان که بخشی از کلمه رنگین کمان را تشکیل می دهد در حقیقت مطلب را به خوبی توضیح می دهد که رنگین کمان دسته ای است از رنگهای خم شده کمائی است که مرکز مشترکی دارند.

خورشید هنگام پدیدار شدن رنگین کمان کجاست؟

طرح این پرسش برای شروع تفکر فیزیکی پیرامون این مسئله که "فرایند تشکیل رنگین کمان چیست" بسیار مناسب است. اغلب مردم هیچ توجهی نمی کنند که زمان مواجهه با رنگین کمان همیشه خورشید پشت سرشان قرار دارد. و مرکز کمان رنگین کمان دقیقاً در مقابل خورشید واقع است. البته با ذکر این نکته که باران در امتداد رنگین کمان قرار دارد.

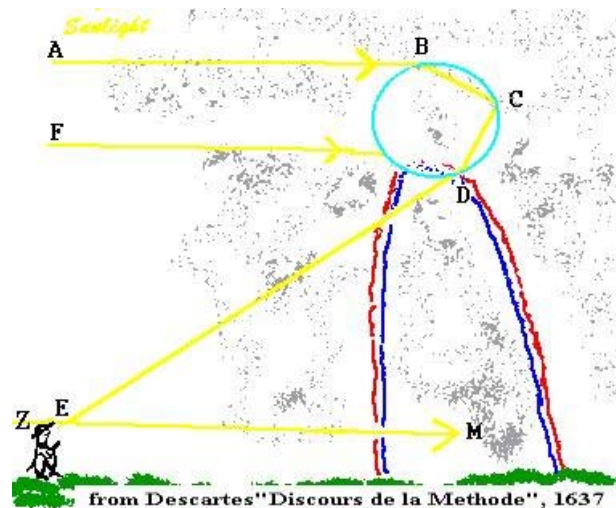
چه چیزی سبب ایجاد قوس رنگین کمان می شود؟

پرسشهایی از این دست پاسخهای فیزیکی به خصوصی دارند. ما پدیده تشکیل کمان را توسط بارش باران توضیح خواهیم داد. و این مسئله ای پیرامون مباحث اپتیک است که نخستین بار به طور شفاف توسط رنه دکارت در سال ۱۶۳۷ میلادی تشریح گردید. موضوع جالب تاریخی اینکه مطابق با مطلبی که در کتاب کارل بایر "رنگین کمان از افسانه تا ریاضیات" شرح داده شده در حقیقت دکارت این پدیده را با در نظر گرفتن گذر نور از یک قطره آب ساده سازی نموده و توانست این پدیده را شرح دهد. وی می نویسد: در نظر بگیرید این کمان نه در آسمان بلکه در هوای نزدیک به ما هر کجا که خورشید به قطرات باران میناید ظاهر گردد. در نتیجه ما قطعاً خواهیم توانست اصل قضیه را دریابیم. من تصمیم دارم به سهولت بیان نمایم که هر کدام از پرتوهای نور به قطرات فرو ریزنده باران برخورد و از آن عبور نماید و به چشم ما میرسد. بعلاوه با در نظر گرفتن این موضوع که قطره باران گرد و کروی است و ساختاری تشکیل یافته دارد و اینکه قطره آب در اندازه های بزرگتر و کوچکتر ایجاد می گردد در اصل پیدایش کمان تفاونی ایجاد نمیشود اگر این کره کوچک یا بزرگ باشد. من نظری دارم و آن این است که می توان این مطلب را بهتر بیان نمود. دکارت توضیح داده که چگونه کره بزرگی ساخته و به پرتوهای خورشید گذرنده از آن نگاه کرده است.

وی همچنین نوشته است "من دریافتم اگر پرتو خورشید بعنوان مثال از بخشی از خورشید که در شکل زیر با **AFZ** نشان داده شده است عبور کند و چشمان ناظر در نقطه **E** قرار داشته باشد زمانیکه در موقعیت دوار **BCD** واقع هستم قسمت **D** قرمز و روشنتر به نظر خواهد رسید."

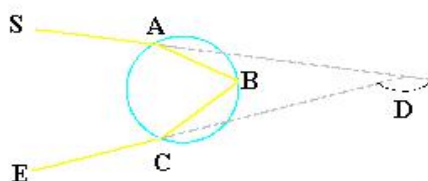
و هرچقدر به آن نزدیک شوم یا از آن دور گردم و یا به چپ و راست بروم و یا اینکه به سمت بالا ارتفاع بگیرم همواره خط **EM** با امتداد خط **DE** زاویه ۴۲ درجه خواهد ساخت.

بنابراین ما تصور می کنیم در امتداد مرکز خورشید و چشمان مان قرار دارد و از این رو همواره قرمز به نظر خواهد رسید و به تدریج با بزرگتر شدن **DEM** رنگ قرمز محو و ناپدید خواهد شد.



و به همین ترتیب اگر زاویه را اندکی کوچکتر در نظر بگیریم رنگ قرمز به یکباره ناپدید و محو نخواهد شد بلکه حالت محو تری پیدا خواهد کرد و دیگر آن حالت تشعشع درخشنده را کمتر خواهد داشت. که به تدریج در پهنای مجاور آن رنگهای زرد آبی و سایر رنگها ظاهر می شوند.

وقتی مسئله را جزئی تر بررسی کنیم درمی یابیم در قسمت BCD چه چیزی سبب می گردد نقطه D قرمز به نظر برسد. دریافتیم که پرتوهای نور خورشیدی که از A به B می رسند در زمان ورود به نقطه B خم می شوند. و برای عبور به نقطه C جایی که به نقطه D بازتابیده می شوند و در آنجا با عبور از قطره آب باز هم خمیده می شوند .



آنچه گفته شد شکل رنگین کمان را بیان می کند . برای ساده سازی این تحلیل مسیر پرتو تکرنگ را درون یک قطره کروی آب در نظر بگیرید . تصور کنید نور چگونه داخل قطره کروی آب می گردد و سپس چگونه توسط سطح خمیده داخلی و نیز " آینه مانند " قطره آب بازتابیده می شود. و در نهایت اینکه چگونه نور به قطره آب وارد و از آن خارج می گردد. اگر نتایج این بررسی را به کل قطرات آب باران در آسمان تعمیم دهیم می توانیم علت کمانی شکل بودن رنگین کمان را درک نماییم. دیاگرام سنتی برای توضیح این پدیده نشان داده شده است. " فیزیک هواشناسی " مسیر عبور یک پرتو نور از قطره آب در امتداد SA را نمایش می دهد. به گونه ای که باریکه نور در نقطه A وارد می شود .

به میزان کمی خمیده می گردد و به داخل قطره آب وارد شده تا نقطه B پیش می رود.

زمانیکه به نقطه C بازتابیده می شود و از قطره آب بیرون آمده اکنون با حالتی منحنی و خمیده شده در امتداد CE از قطره خارج می گردد. زاویه D میزان انحراف زاویه ای خروج پرتو نور از امتداد اصلی را نشان می دهد.

دکارت این زاویه را برای پرتو نور قرمز در حدود ۱۳۸ درجه اندازه گیری نموده است. پرتوی که در اینجا کشیده شده بسیار با اهمیت است زیرا که پرتوی را که انحراف زاویه کمتری دارد از میان همه پرتوها در قطره باران نشان می دهد که دکارت یا پرتو رنگین کمان نامیده میشود و بیشتر پرتوهای خورشیدی مانند آن درست مانند این پرتو در میان قطره باران شکسته و بازتابیده میشوند. بنابراین نور بازتابیده شده پراکنده تر و ضعیف تر خواهد بود مگر آنکه نزدیک به این امتداد پرتو رنگین کمانی باشد. این تمرکز پرتوها در نزدیکی حداقل انحراف زاویه ای منجر به ظاهر شدن کمان و قوس رنگین کمان می گردد. خورشید فوق العاده از ما دور است و می توان تقریب خوبی برای این مسئله داشت. با فرض اینکه پرتوهای خورشیدی دسته پرتوهای موازی ایجاد می نماید که در قطره آب داخل شده و در درون قطره پخش و بازتابیده می شود و بار دیگر هنگام خروج از قطره آب رفتار مشابهی نشان می دهد. دکارت در این باره می نویسد: قلم به دست گرفتم و محاسبه دقیقی از مسیر پرتوهایی که بر نقاط مختلف قطره کروی باران وارد می شود برای حساب کردن اینکه چه زوایایی پس از دو پراکندگی و بازتاب به چشم انسان می رسند انجام دادم. سپس دریافتیم پس از یک بازتاب و دو پراکندگی پرتوهای بیشتری از زاویه ۴۲ و ۴۱ درجه می توانند به چشم برسند تا اینکه از سایر زوایا . و هیچ پرتوی از زاویه ای بیش از این نمی تواند مشاهده شود. عموماً یک قطره باران کروی است و بنابر این اثر آن بر

نور خورشید به طور متقارن با يك محور میان مرکز قطره و چشمه نور (در اینجا خورشید) می باشد. زیرا این تقارن در بیان دوبعدی موجود در شکل به خوبی کفایت می کند و تصور سه بعدی قطره به دلیل تقارن کروی می تواند با گردش حول محور تقارن صورت پذیرد. اثر تقارن کانونی بر هر قطره در هر کجا که قطرات باران را مشاهده می کنیم.

و با معیار دید *rainbow ray* تعریف می گردد را در لکه های روشن را پراکنده شده و بازتاب یافته نور خورشید خواهیم دید.

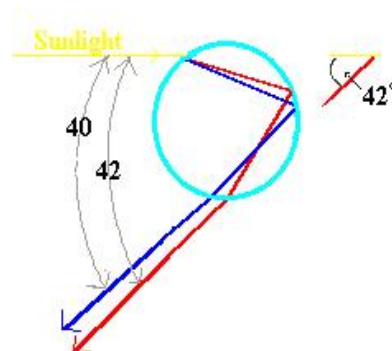
بر طبق شکل مشاهده می کنیم که پرتو رنگین کمان برای نور قرمز مابین امتداد پرتو خورشید و خط دید زاویه ۴۲ درجه می سازد. بنابراین در زمانی که قطره باران در خط دید واقع می شود با نور پدیدار شده چنین زاویه ای را می سازد روشنایی آن را خواهیم دید.

کمانی بدین ترتیب رنگین کمان از منحنی با زاویه ۴۲ درجه به مرکز مقابل خورشید است. ما منحنی را به طور کامل مشاهده نخواهیم کرد زیرا زمین در میانه راه با آن برخورد می کند. زمانی که خورشید نسبت به افق پایین تر قرار دارد ما بخش های بیشتری از این قوس دایره رنگین کمان را مشاهده خواهیم نمود خصوصاً در موقعیت غروب خورشید که ما نیم دایره ای از رنگین کمان با کمان ۴۲ درجه در بالای افق مشاهده می نمایم. زمانی که خورشید نسبت به افق در بالاترین قسمت خود واقع است کمان رنگین کمان کوچکتر به نظر خواهد رسید.

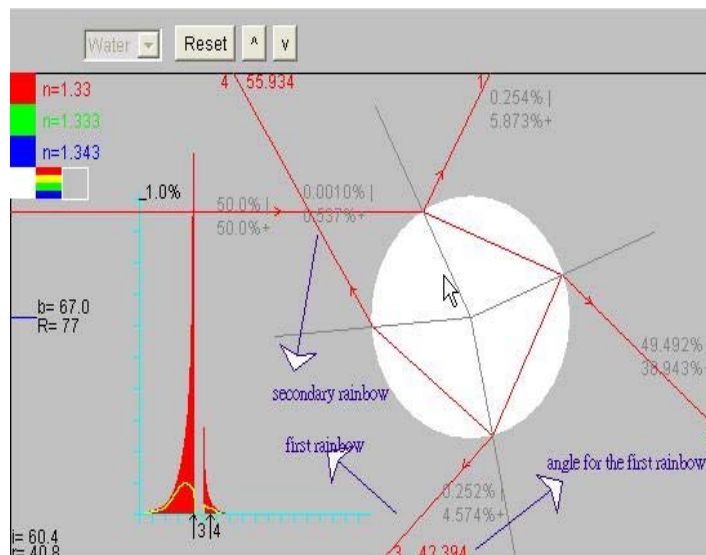
چه چیزی سبب ایجاد رنگها در رنگین کمان می شوند؟

توضیح سنتی رنگین کمان بیان می داشت که رنگین کمان متشکل از ۷ رنگ قرمز نارنجی زرد سبز آبی نیلی و بنفش می باشد اما در حقیقت رنگین کمان طیف پیوسته ای از تمامی رنگها را از بنفش تا قرمز در گستره دید انسان در بر می گیرد. رنگهای رنگین کمان ناشی از دو واقعیت اساسی است:

پرتو خورشید متشکل از دامنه همه رنگهای قابل دید در گستره بینایی انسان می باشد. رنگهای نور خورشید زمانی که با یکدیگر ترکیب می گردند سفید به نظر می رسند. این خاصیت نور خورشید نخستین بار توسط سر آیزاک نیوتن در سال ۱۶۶۶ تشریح گردید. نور رنگهای مختلف زمانی که از یک حائل مانند هوا به محیط دیگری مانند آب یا شیشه عبور می کنند به میزان متفاوتی انتشار می یابند. دکارت و ویلبرورد اسنل محاسبه کرده بودن که نور چگونه زمانی که از یک محیط به محیط دیگری که چگالی متفاوتی دارد گذر می کند خم یا پراکنده می شود. (مانند گذر نور از هوا به محیط آب) زمانی که مسیر پرتو نور درون قطره آب را برای نورهای قرمز و آبی بررسی می کنیم در می یابیم زاویه انحراف برای این دو رنگ متفاوت است. زیرا نور آبی بیش از نور قرمز خمیده و پراکنده می شود.



این موضوع نشان می دهد زمانی که رنگین کمان و دسته رنگهای آن را مشاهده می کنیم به نوری نگاه کرده ایم که از قطرات مختلف آب پراکنده و بازتابیده شده است. برخی با زاویه ۴۲ درجه دیده می شوند برخی با زاویه ۴۰ درجه و برخی مابین این دو زاویه. رنگین کمان متشکل از دو رنگ اغلب پهنایی برابر با ۲ درجه دارد (در حدود چهار مرتبه بزرگتر از اندازه زاویه ای ماه کامل). توجه نمایید که با وجود اینکه نور آبی بیش از نور قرمز در يك قطره باران پراکنده می شود ما نور آبی را در قسمت داخلی تر رنگین کمان مشاهده می نمایم زیرا ما از زاویه ی دید متفاوت کوچکتر از ۴۰ درجه برای نور آبی نگاه می کنیم.



چه چیزی سبب ایجاد رنگین کمان دوتایی می شود؟

بعضی وقتها دو رنگین کمان را همزمان با هم مشاهده می کنیم. چرا اینگونه است؟ ما مسیر پرتو نور از درون قطره آب باران را در زمانی که وارد آن می شود و درون آن بازتابیده می شود پیگیری کردیم. اما تمام انرژی پرتو نور پس از آنکه یکمرتبه بازتابیده شد اتلاف می شود. بخشی از پرتو نور مجدداً بازتابیده می شود و از درون قطره آب را پشت سر گذاشته و از آن بیرون می رود.

رنگین کمان معمولی که عموماً مشاهده می کنیم رنگین کمان اصلی و اولیه نامیده می شود و توسط یک بازتاب داخلی ایجاد می گردد. رنگین کمان ثانویه به سبب وجود دو بازتاب داخلی ایجاد شده و پرتو نور با زاویه ۵۰ درجه نسبت به زاویه ۴۲ درجه کمان اولیه قرمز از قطره خارج می شود. نور آبی اغلب با زاویه ۵۲ درجه پدیدار می شود و این اثر سبب ظاهر شدن رنگین کمان ثانویه می شود که رنگهای آن در قیاس با رنگین کمان اولیه معکوس هستند. ممکن است که یک پرتو نور بیش از دو مرتبه درون قطره آب بازتابیده شود. و می توان به همین ترتیب رنگین کمانهای مرتبه بالاتر را نیز شرح داد. اما در حقیقت این حالت در شرایط محیطی معمولی رخ نمی دهد.

چرا آسمان درون رنگین کمان روشن تر به نظر می رسد؟

دقت نمایید که کنتراستی میان رنگ آسمان بیرون و درون کمان رنگین کمان وجود دارد.

وقتی کسی انتشار نور خورشید را در قطره آب بررسی می نماید در می یابد تعداد زیادی پرتو با زاویه های کوچکتر از پرتو رنگین کمان خارج می شوند. اما اساساً از یک بازتاب داخلی با زاویه ای بزرگتر از این پرتو نوری وجود ندارد. بنابراین پرتوهای بسیاری از نور در کمان هستند و مقدار کما هم سوای اینها (در زوایای دیگر) وجود دارد.

زیرا این نور سفید است که ترکیبی است از همه رنگهای رنگین کمان. در رنگین کمان نوع دوم پرتو رنگین کمان کوچکترین زاویه را دارد و پرتوهای بسیاری با زاویه های بزرگتر از آن ظاهر می شوند. بنابراین دو کمان ترکیب شده و ناحیه ای تیره تر مابین خود ایجاد می نمایند که پهنای اسکندر نامیده می شود. به افتخار اسکندر مقدونی که این موضوع را در ۱۸۰۰ سال پیش دریافت.

در برخی کمانهای کم نور و کم رنگ فقط داخل و نزدیک بالای کمان اصلی واقع از رنگین کمانها اند. این کمانها کمانهای اضافی نامیده می شوند که توط توماس یانگ در سال ۱۸۰۴ از موضوع تداخل نوری پرتوها درون قطره آب استنتاج گردید.

کار یانگ تاثیر عمیقی تئوریهای تبیین کننده ماهیت نور بر جای نهاد و مطالعات وی پیرامون رنگین کمان پایه و ریشه ی اساسی این مبحث را تشکیل می دهد. یانگ نور را چنین تفسیر نمود: نور دسته ای از امواج است و زمانیکه دو پرتو در یک مسیر در قطرات آب پراکنده شوند با یکدیگر تداخل موحی خواهند نمود.

بسته به اینکه پرتوها چگونه با یکدیگر جور می شوند تداخل می تواند سازنده باشد (در مواردی که پرتوها روشنائی ایجاد می نمایند) و ویرانگر باشند (زمانیکه تداخل پرتوها از میزان روشنائی می کاهد). این پدیده به روشنی توسط مقاله ناسنزویگ تحت عنوان "تئوری رنگین کمان" توضیح داده شده است. وی می نویسد:

در زوایای خیلی بسته رنگین کمان دو مسیر عبور از میان قطره آب با هم اندکی تفاوت دارند . بنابر این دو پرتو با هم تداخل سازنده می کنند. وقتی زاویه افزایش پیدا می کند دو پرتو اساساً طولهای متفاوتی را طی می کنند. وقتی این تفاوت برابر با نصف طول موج گردید تداخل به طور کلی ویرانگر خواهد بود. و در زوایای بزرگتر بار دیگر یکدیگر را تقویت می کنند. در نتیجه تغییرات نوسانی در شدت نور پراکنده شده بوجود خواهد آمد. گروهی از پنهانهای روشنائی و تاریکی.

خالص بودن رنگهای رنگین کمان به اندازه قطرات باران بستگی دارد. قطرات درشت (در حدود قطرهای چند میلیمتری) رنگین کمانهای روشن می دهند با رنگهای تغیک شده و زیبا. قطرات ریز باران (در حدود قطرهای ۰,۱ میلیمتر) رنگین کمانهایی با رنگهای در هم پوشانیده شده ایجاد می نماید و اغلب نزدیک به رنگ سفید و شفاف دیده می شوند. به یاد آورید تئوری های رنگین کمان را که قطرات باران را کروی فرض می کردند.

هرگز يك سايز برای قطرات باران وجود ندارد بلکه قطرات باران متشکل از ابعاد و اندازه های گوناگون می باشند. این امر منجر به ایجاد رنگین کمان مرکب می شود . عموماً قطرات باران به شعاع ۰,۵ سانتی متر نمی رسند مگر در اثر برخورد با سایر قطرات. البته گاهی قطرات تا حد چند میلیمتر بزرگتر از آنچه بودند خواهند شد خصوصاً در بارانهای طوفانی.

بیل لیوینگستون پیشنهاد می کند: اگر شما به قدر کافی شجاع باشید در مدت ریزش باران در طوفان و رعد و برق به بالا نگاه کنید . ممکن است به چشمان و یا عینک شما آسیب برسد. با این حال کشنده نیست! شما مشاهده خواهید نمود که قطرات باران به هم پیچیده و نوسانی فرو می ریزند. امتداد سطح باران اگر هیچ نیروی دیگری بر آن اثر نکند به صورت کروی فرض می شود اما زمانی که قطره باران در هوا سقوط می کند نیروی کششی سبب تغییر شکل آن می گردد و آن را به صورت مسطح در می آورد. میزان تغییر شکل می تواند در تونل باد بر روی يك قطره معلق آزمایش و مدلسازی شود.

(Pruppacher and Beard, 1970, and Pruppacher and Pitter) , ۱۹۷۱)

قطرات آب با شعاع کمتر از ۱۴۰ میکرون کروی باقی می مانند ولی زمانیکه ابعاد قطره افزایش می یابد مسطح شدن قطره قابل توجه می شود. برای قطرات با شعاع نزدیک به ۱۴۰ میکرون نسبت ارتفاع به عرض ۰,۸۵ خواهد بود. این مسطح شدن برای قطرات بزرگتر بیشتر خواهد بود.

References

C. Donald, Meteorology Today West Publishing House ISBN 0-314-80905-8 Ahrens

-۲۷۱-۰۰ Craig F. Clouds in a Glass of Beer Cp. 21,22 Stephen Kippur Publisher ISBN ,Bohren
۹-۶۲۴۸۲

Carl ,B. The Rainbow From Myth to Mathematics, Princeton University Press 1959 ,Boyer
ISBN 0-691-08457-2 and 02405-7 (pbk) Dover

and Optics Light :۱۹۹۵ ,CoVis

Sa Raison et Chercher Descarte, René, 1637, Discours de la Méthode Pour Bien Conduire
Dioptrique la Vérité dans les Sciences (second appendix) La

, "Alistair B., 1972, "Inhomogenities in the Color and Intensity of the Rainbow", Fraser
 .Journal of Atmospheric Sciences, 29, 211

University Press 1980 ISBN 0 Greenler, Robert, Rainbows, Halos, and Glories, Cambridge
 (521 2305 3 and 38865 1 (pbk

Humphreys, W. J., Physics of the Air, McGraw-Hill Book Co. 1929

Wilkins Company 1923 Humphreys, W. J., Weather Proverbs and Paradoxes, Williams and
 0819-54 Johnson, John C., Physical Meteorology, MIT Press 1954 LCC

[Rainbow Bridge The](#) .Raymond L, Lee

David K. and Livingston, William, Color and Light in Nature Cambridge University, Lynch
 Press, 1995

David K. and Schwartz, Ptolemy, "Rainbows and Fogbows" Applied Optics 30, ,Lynch
 1991, 3415

W.F. ed, A Source Book in Physics 1935, Magie

Dover 1954, Minnaert, M., The Nature of Light and Color in the Open Air

American 236, 116, Nussenzveig, H. Moyses, "The Theory of the Rainbow", Scientific
 1977

[Rainbows](#) Brian, 1995, Planz

Soc. 96, 247 .Pruppacher, H. R. and Beard, K. V., 1970, Quart. J. Royal Meteor
 and Precipitation, Reidel Pruppacher, H. R. and Klett, J. D. 1978, Microphysics of Clouds
 Publishing Company

Pruppacher, H. R. and Pitter, R. L., 1971, Atmos. Sci. 28, 86

Inc. Universe Series (David Jollands, ed) Sight, Light, and Color Arco Publishing Science
 1984 ISBN 0-668-06177-4

[Rainbows](#) Karon; 1994, Strom

non- ,Beeck, J.P.A.J., 1997, Rainbow Phenomena: development of a laser-based van
 CIP-Data intrusive technique for measuring droplet size, temperature, and velocity
 (Library Technische Universiteit Eindhoven (ISBN 90-386-0557-9

[Light The Mathematics of Rainbows Circles of](#) .Wicklin, F.J. and Edelman, P