



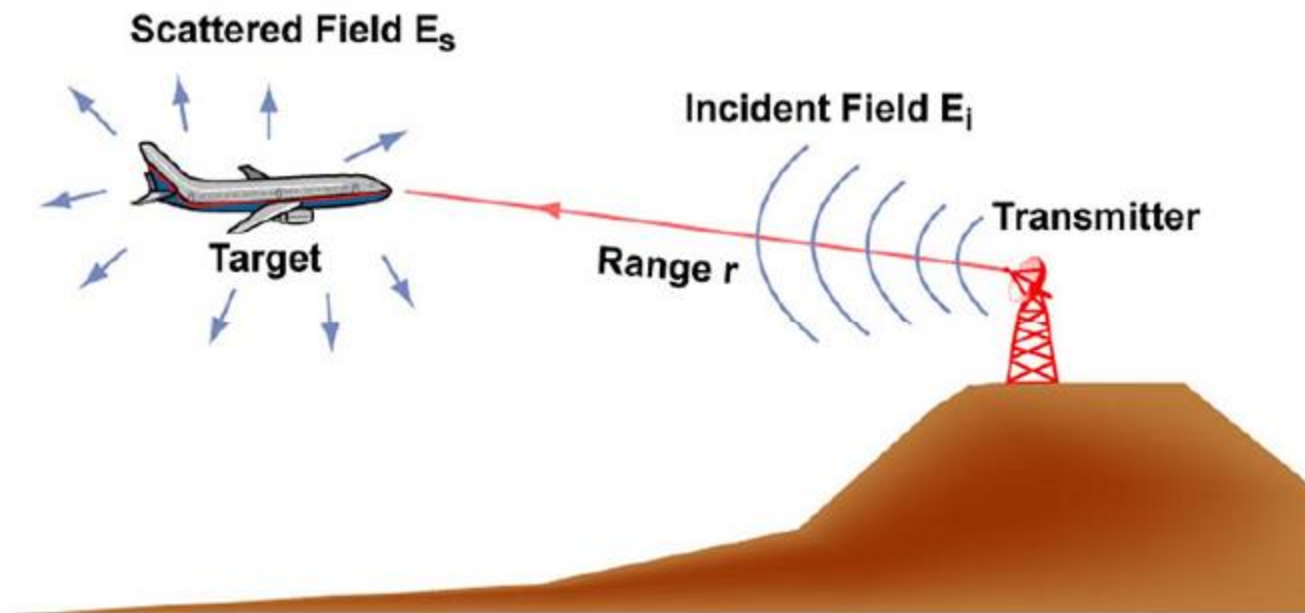
# اصول و سیستم های رادار (بخش پنجم)

نیم سال دوم ۹۸-۹۹

# سطح مقطع راداری (RCS)

- مقدمه
- وابستگی سطح مقطع راداری به زاویه دید و فرکانس
- وابستگی سطح مقطع راداری به قطبش
- سطح مقطع راداری اجسام ساده
- سطح مقطع راداری اجسام پیچیده
- تغییرات سطح مقطع راداری و مدل های آماری

□ سطح مقطع راداری، یک ویژگی هدف پراکنده‌ساز است که در معادله رادار برای نشان دادن اندازه سیگنال بازگشتی از هدف به رادار در نظر گرفته می‌شود.



$$\sigma = \frac{\text{Power reflected back from target to the radar}}{\text{Power density incident on the target}}$$

□ دو روش کلی برای محاسبه RCS وجود دارد

□ دقیق

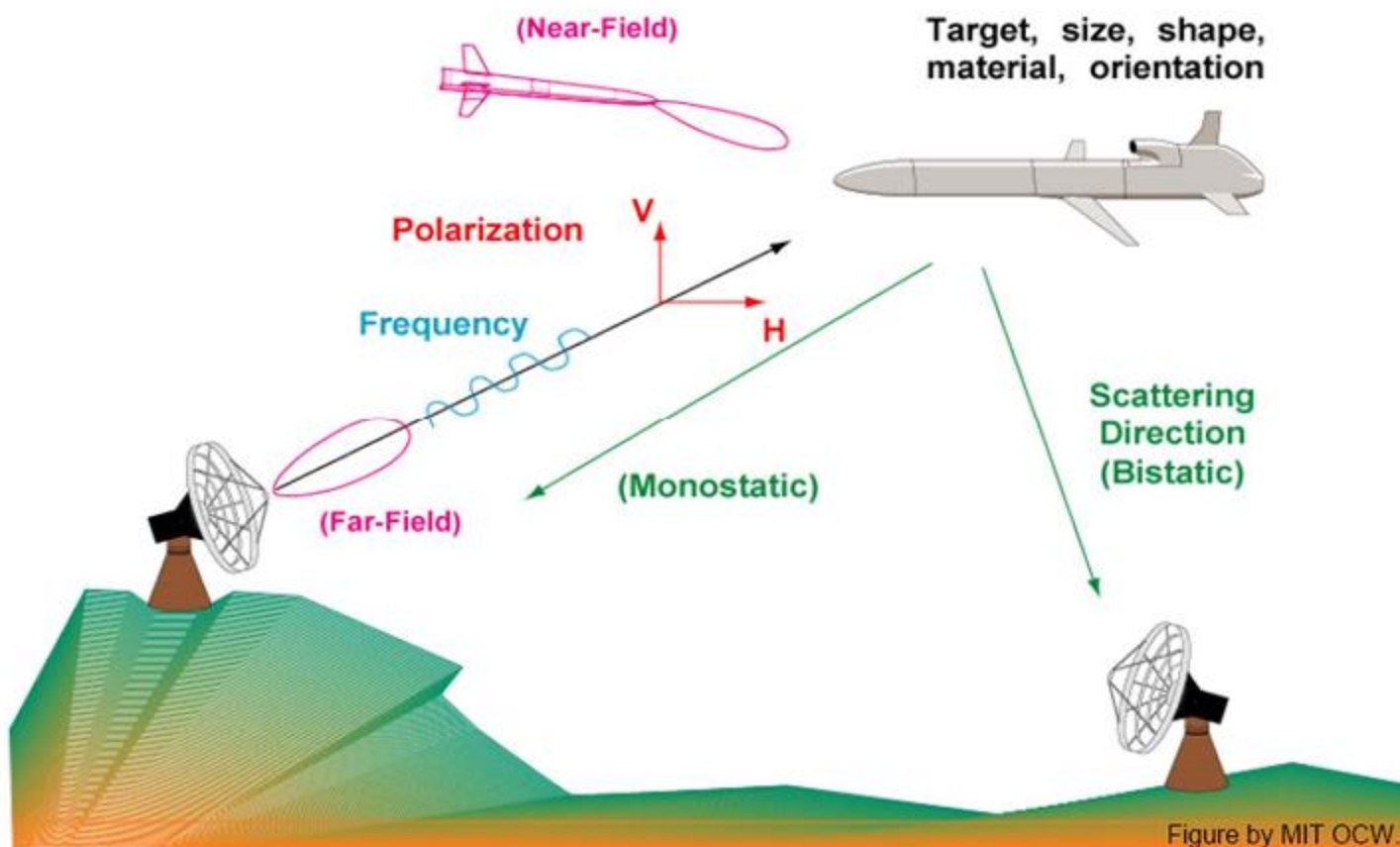
■ استفاده از معادلات ماکسول به همراه شرایط مرزی مناسب

■ این روش حتی برای اجسام ساده نیز مشکل است.

□ تقریبی

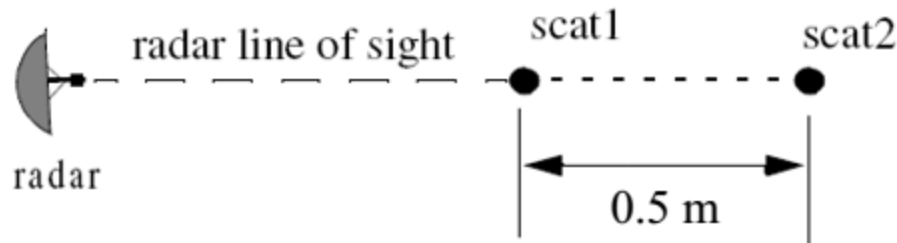
■ برای اجسامی که در مقایسه با طول موج بزرگتر هستند معتبرند.

□ عوامل مؤثر بر سطح مقطع راداری

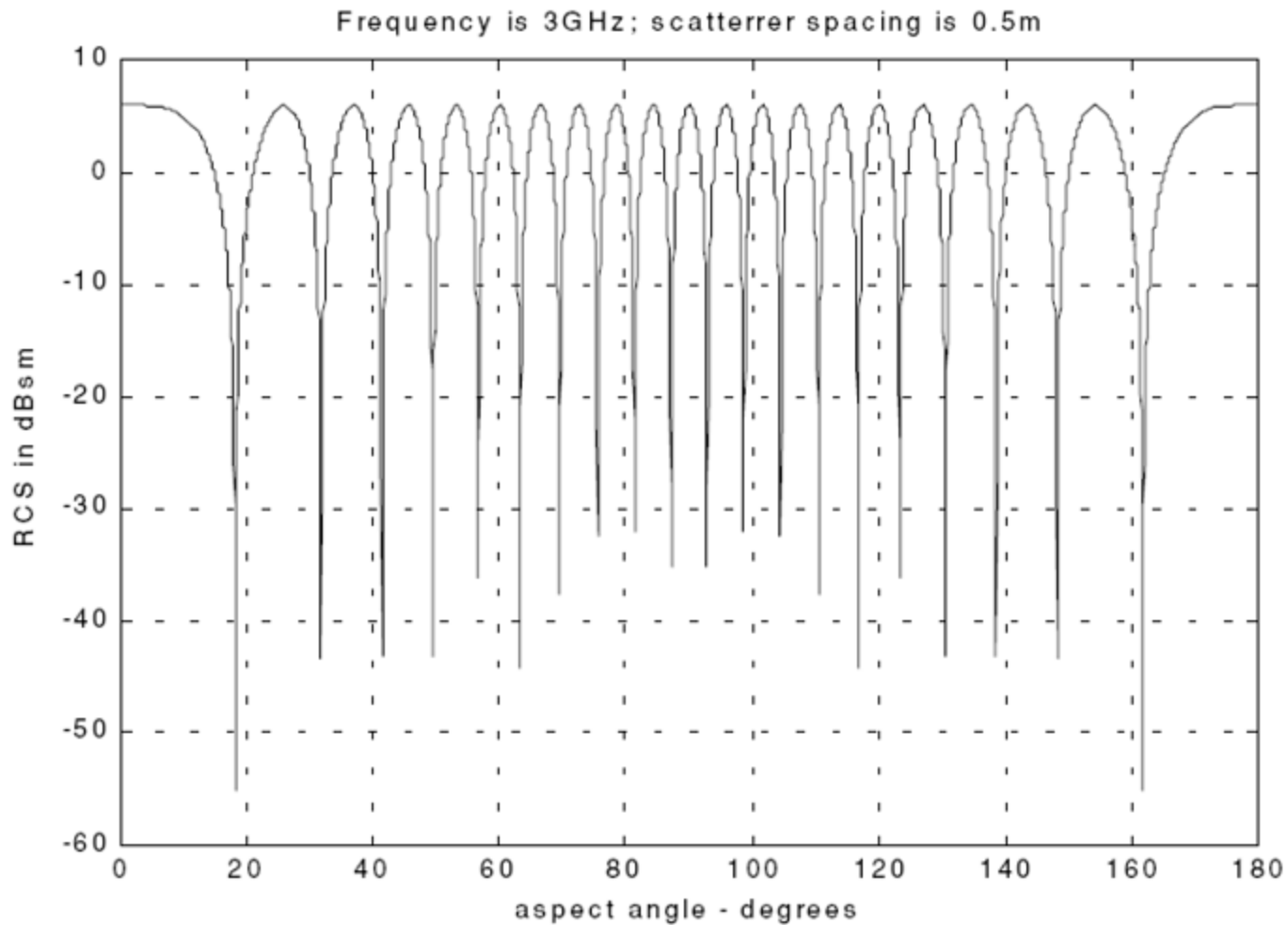


## وابستگی به زاویه دید و فرکانس

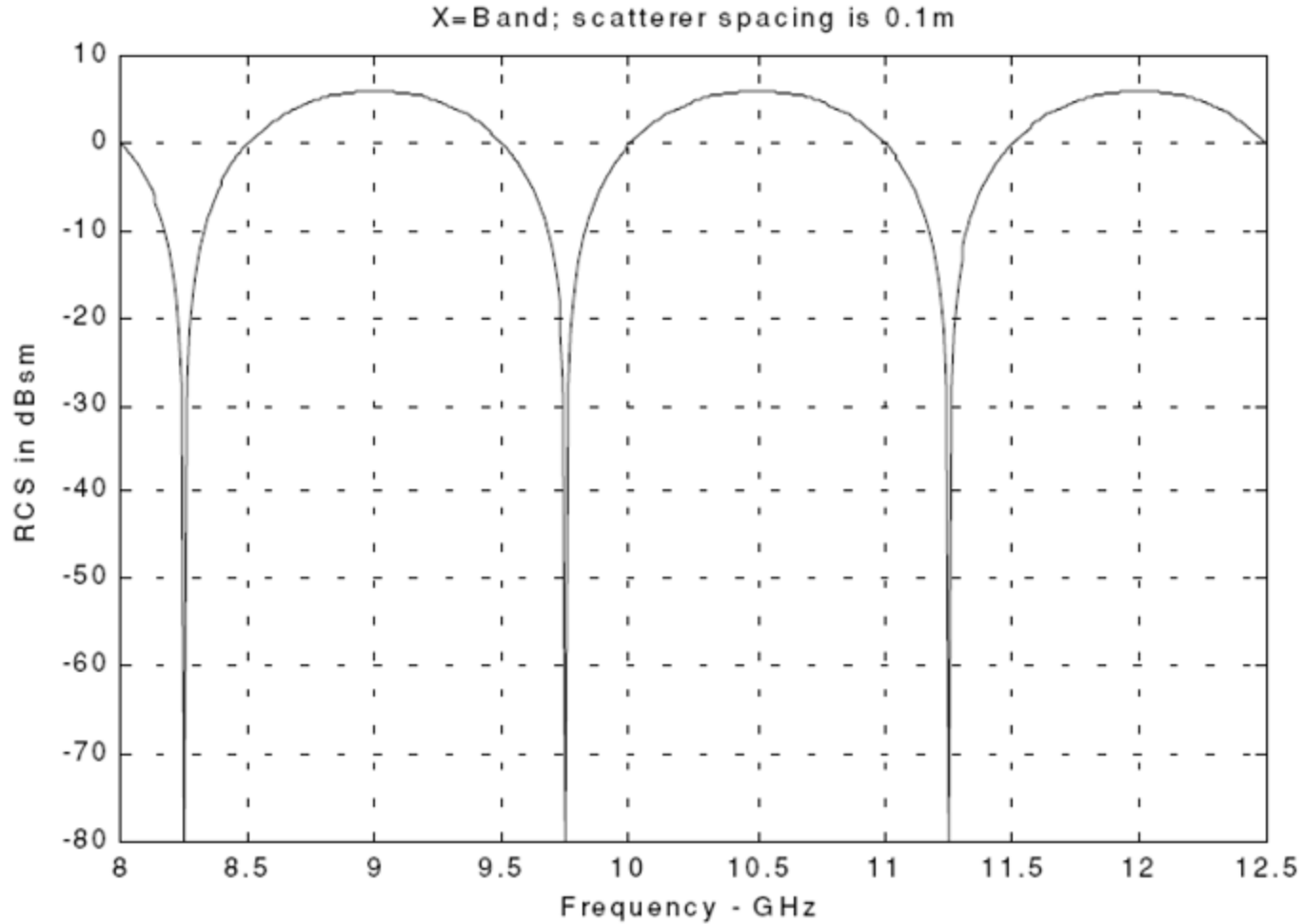
- سطح مقطع راداری با تغییر فرکانس و زاویه دید تغییر می کند.
- دو پراکنده ساز ایزوتروپیک هر کدام با سطح مقطع راداری  $1 \text{ m}^2$  که در راه دور نسبت به رادار قرار داده شده اند، را در نظر بگیرید.
- پراکنده ساز ایزوتروپیک امواج برخوردی را به طور یکسان در تمام جهات پراکنده می کند.
- فاصله بین این دو پراکنده ساز  $0.5$  متر است. زاویه دید رادار از  $0$  تا  $180$  درجه تغییر کرده و توان دریافتی که متناسب با سطح مقطع راداری است، محاسبه می شود.



# وابستگی به زاویه دید و فرکانس

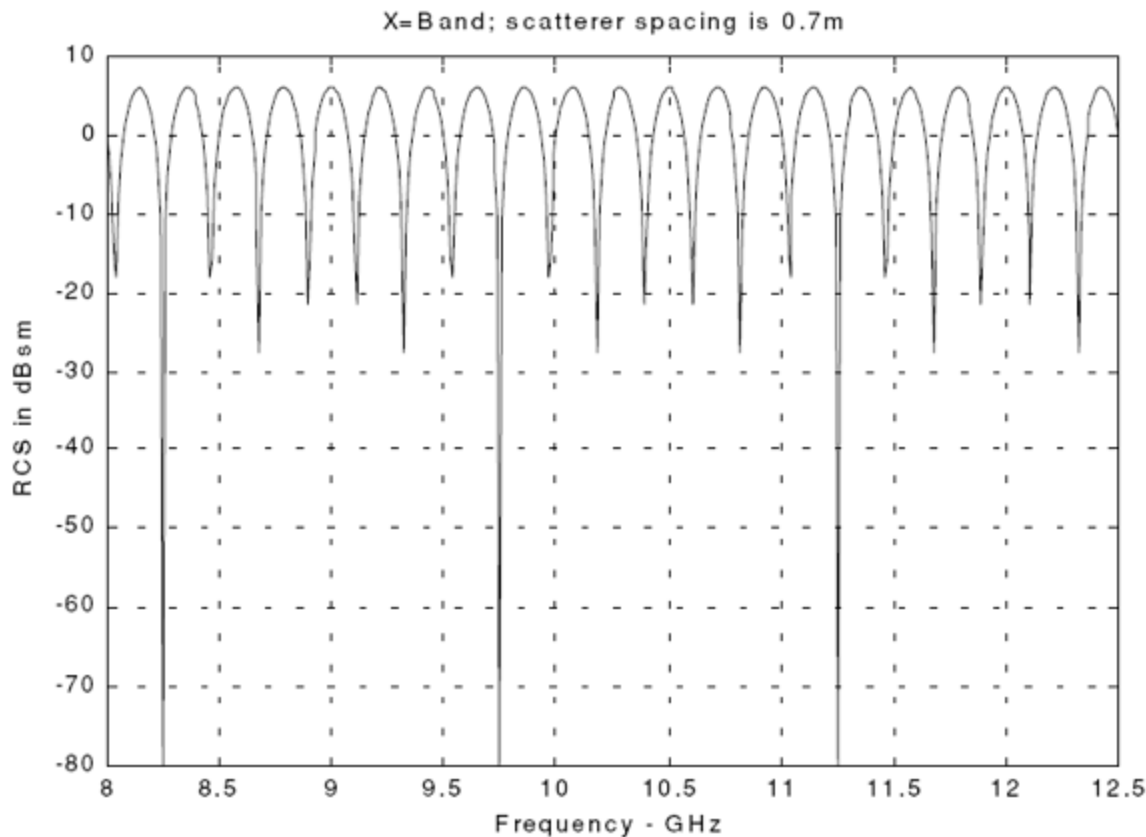


# وابستگی به زاویه دید و فرکانس





# وابستگی به زاویه دید و فرکانس



□ اهداف پیچیده را می توان به صورت ترکیبی از تعداد بسیار زیادی از پراکنده سازها در نظر گرفت.

- **قطبش** یک موج مسطح یکنواخت رفتار بردار شدت میدان الکتریکی را در یک نقطه از فضا در زمان‌های مختلف توصیف می‌کند.
- یک موج مسطح یکنواخت را که در جهت  $+Z$  حرکت می‌کند به صورت زیر در نظر می‌گیریم:

$$\mathbf{E}(z) = \mathbf{E}_0 e^{-jkz}$$

$$\mathbf{E}_0 = E_{0x} \mathbf{a}_x + E_{0y} \mathbf{a}_y$$

- بسته به رابطه بین مولفه‌های  $X$  و  $Y$  شدت میدان الکتریکی قطبش‌های مختلف خواهیم داشت.

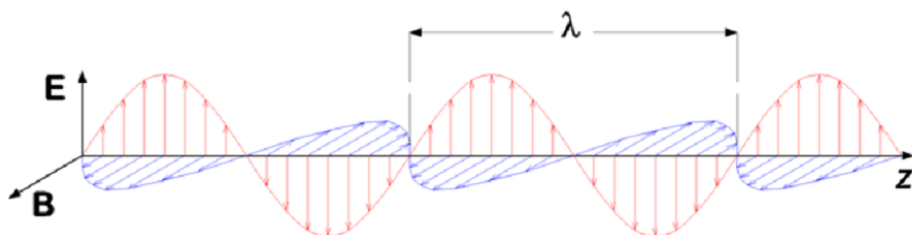
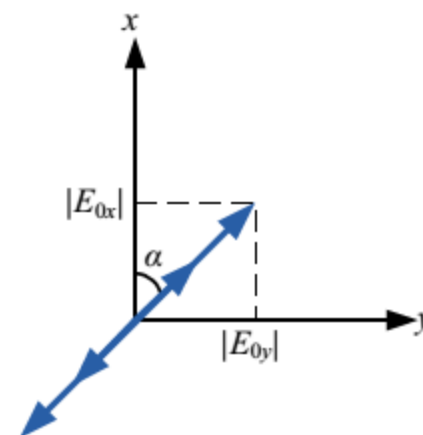
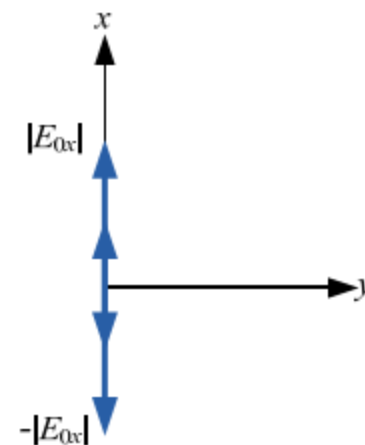
$$E_{0x} = 0$$

یا

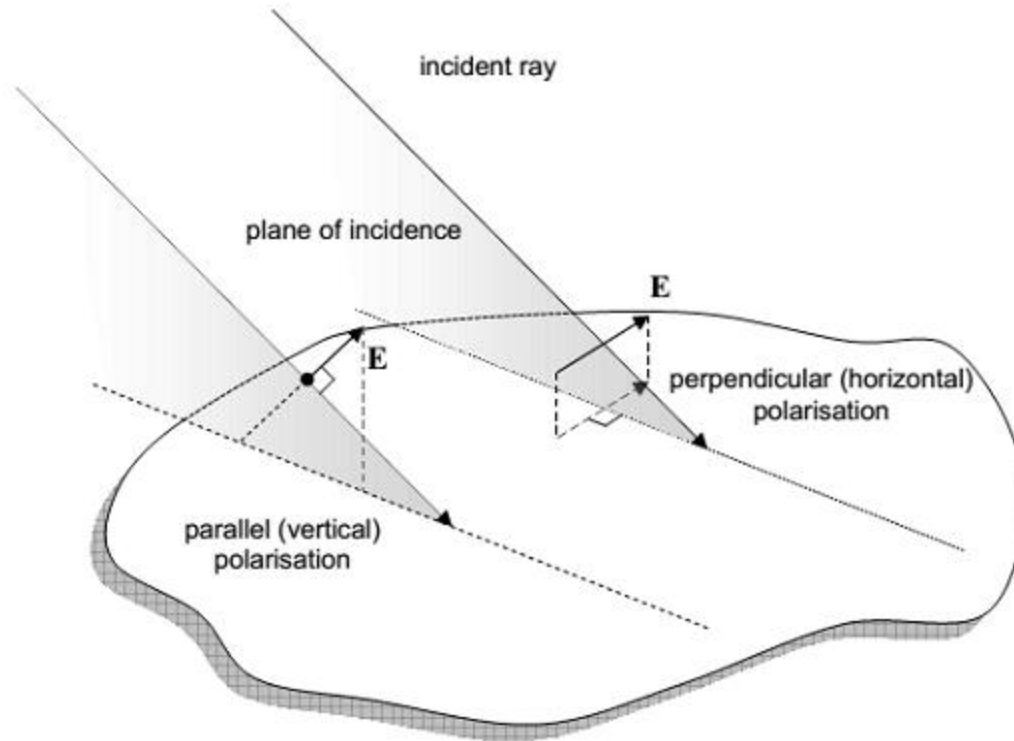
$$E_{0y} = 0$$

یا

$$E_{0x} \neq 0, E_{0y} \neq 0 \text{ و } \angle E_{0x} = \angle E_{0y} = \varphi$$



- قطبش افقی: میدان الکتریکی عمود بر صفحه برخورد
- قطبش عمودی: میدان الکتریکی موازی با صفحه برخورد
- صفحه برخورد: صفحه شامل بردار پرتو و عمود بر سطح

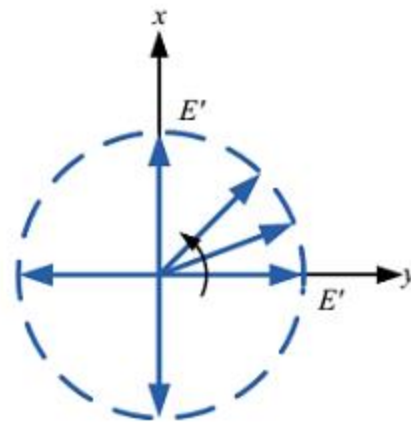


□ قطبش دایروی:

$$|E_{0x}| = |E_{0y}| = E'$$

و

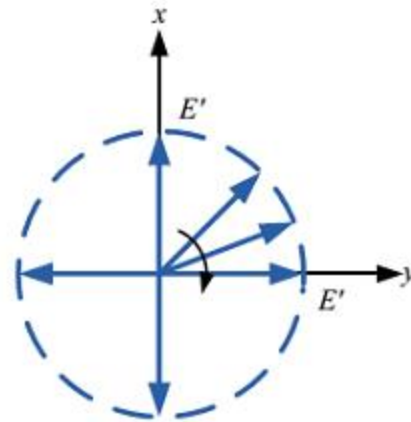
$$\angle E_{0y} = \angle E_{0x} + 90^\circ$$



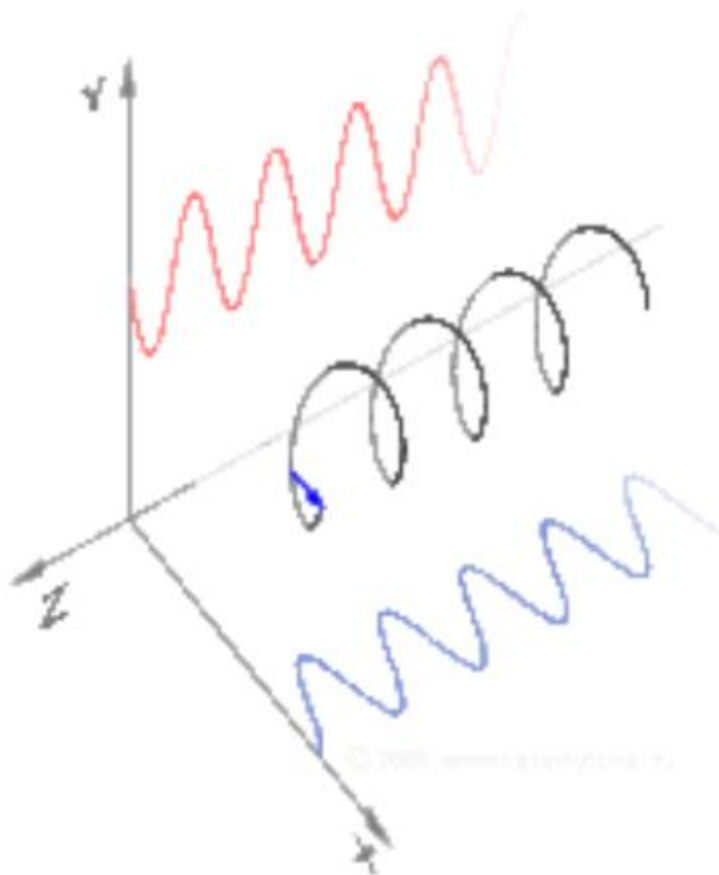
$$|E_{0x}| = |E_{0y}| = E'$$

و

$$\angle E_{0y} = \angle E_{0x} - 90^\circ$$



□ قطبش دایروی

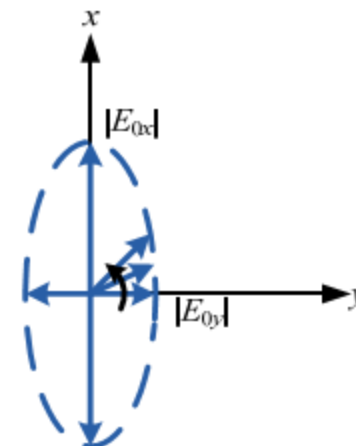


$$|E_{0x}| \neq |E_{0y}|$$

و

$$\angle E_{0y} = \angle E_{0x} \pm 90^\circ$$

بیضوی قائم



$$|E_{0x}| \neq |E_{0y}|$$

و

$$\angle E_{0y} \neq \angle E_{0x} \pm 90^\circ$$

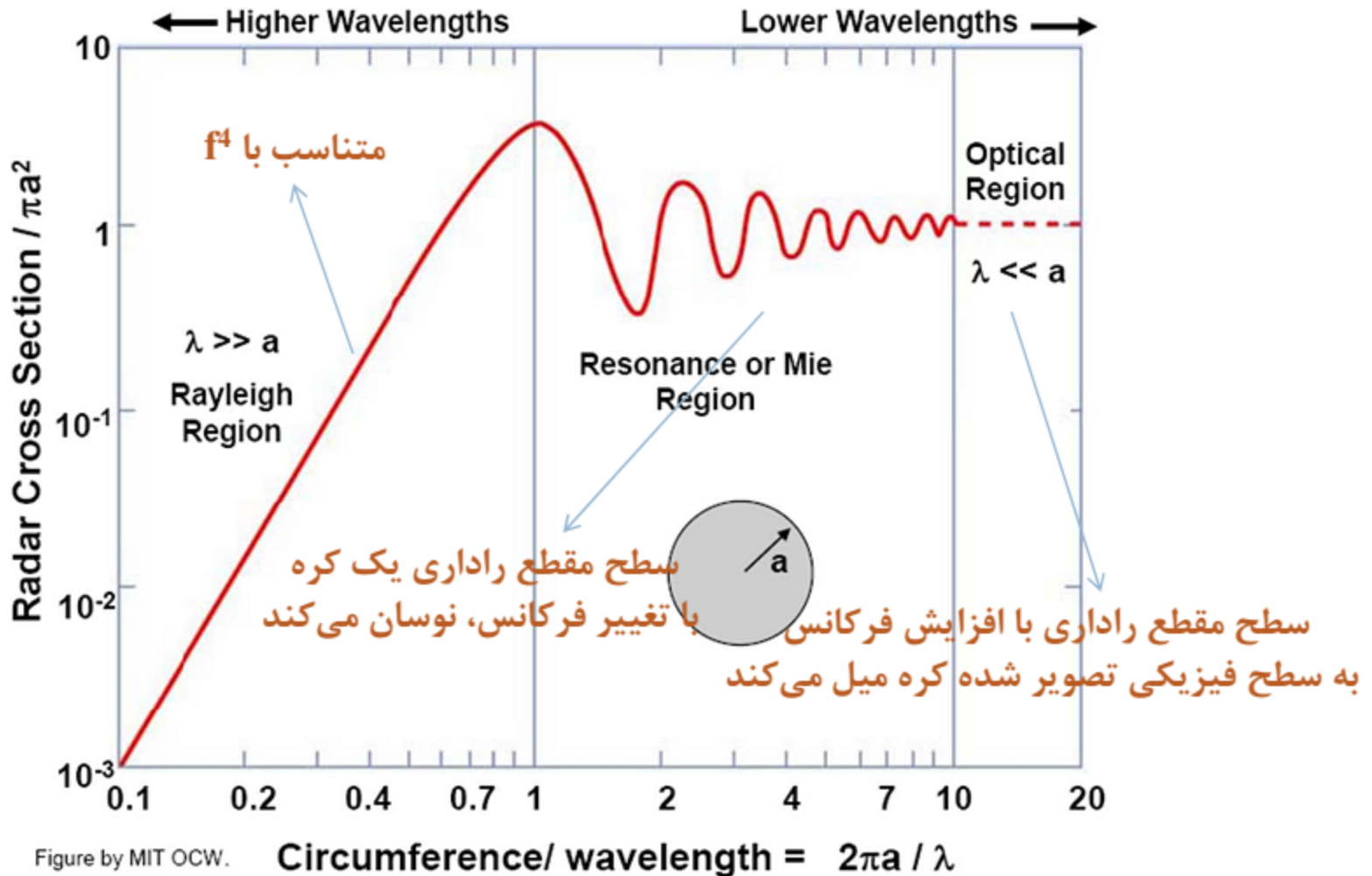
بیضوی مایل

# سطح مقطع راداری اجسام ساده

- کره، استوانه، صفحه مسطح، میله، مخروط و ... مثال‌هایی از اجسام ساده هستند.
- گاهی اوقات سطح مقطع راداری اجسام پیچیده را می‌توان با توصیف آن‌ها به صورت تعدادی جسم ساده با سطح مقطع معلوم محاسبه کرد.
- **کره** ساده‌ترین جسم برای بررسی پراکندگی رادار است.  
□ این جسم مستقل از زاویه دید، دارای شکل یکسانی است.



# سطح مقطع راداری کره



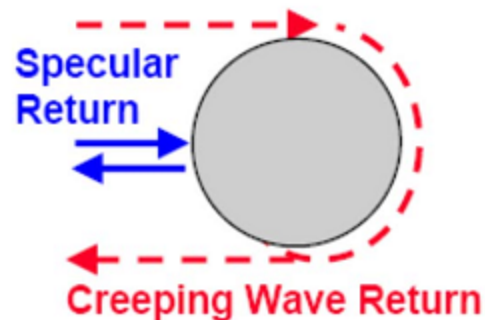
# سطح مقطع راداری کره

□ تغییرات در سطح مقطع راداری در ناحیه تشدید با تغییر فرکانس به علت وجود دو موج است که به صورت **سازنده** و **مخرب** با هم تداخل پیدا می کنند.

□ موج منعکس شده از سطح روبرویی

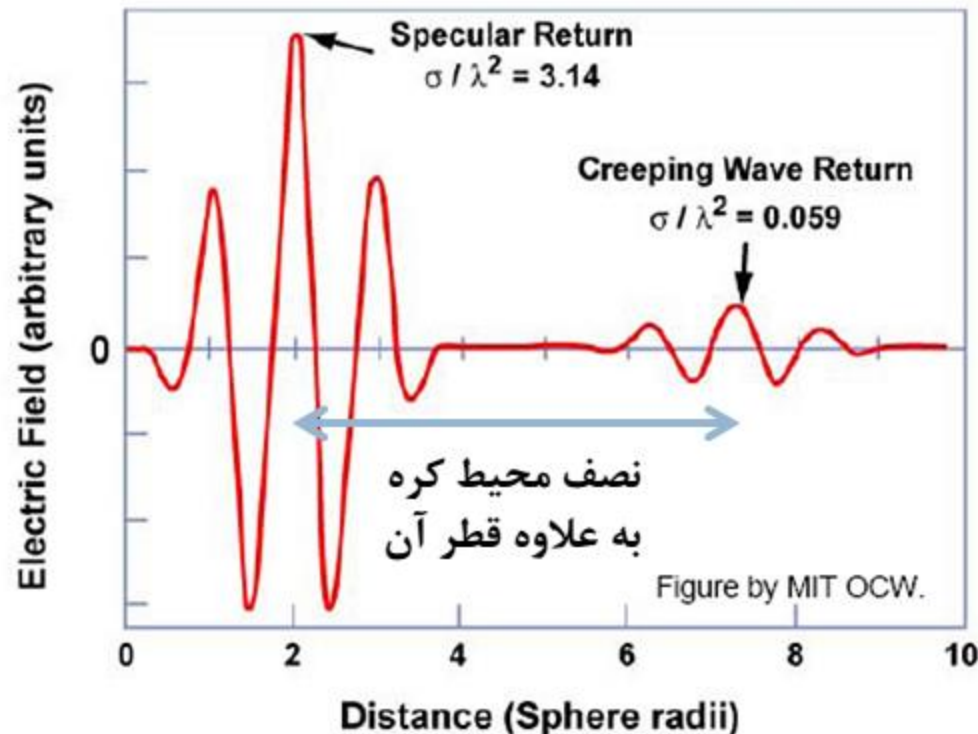
□ **موج خزنده** که دور کره چرخیده و به سمت رادار باز می گردد.

□ هرچقدر مسیر الکتریکی دور کره بزرگتر باشد، تلفات موج خزنده بیشتر می شود. بنابراین با افزایش فرکانس نوسانات سطح مقطع راداری کاهش می یابد.

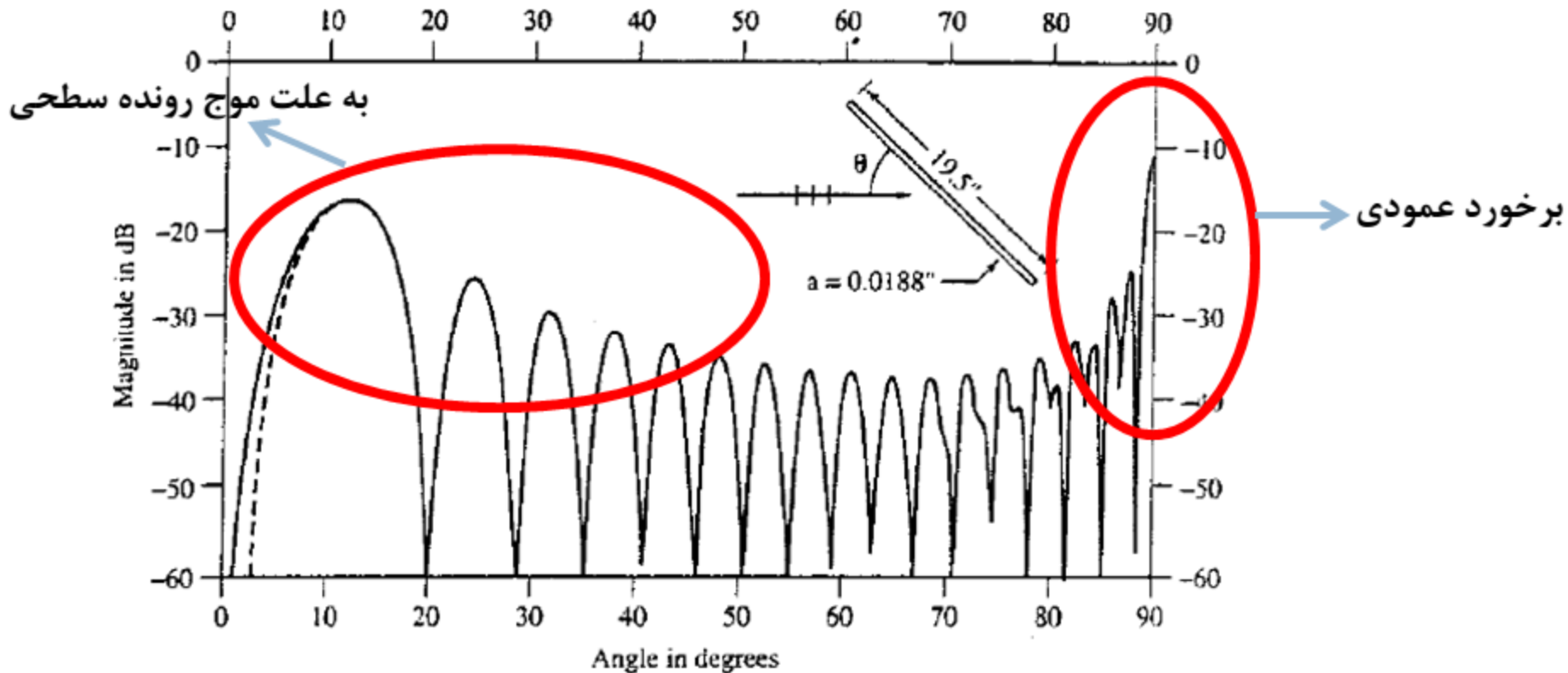


## سطح مقطع راداری کره

□ میدان پراکنده شده از یک کره به شعاعی برابر طول موج ناشی از یک پالس بسیار باریک نشان داده شده است.



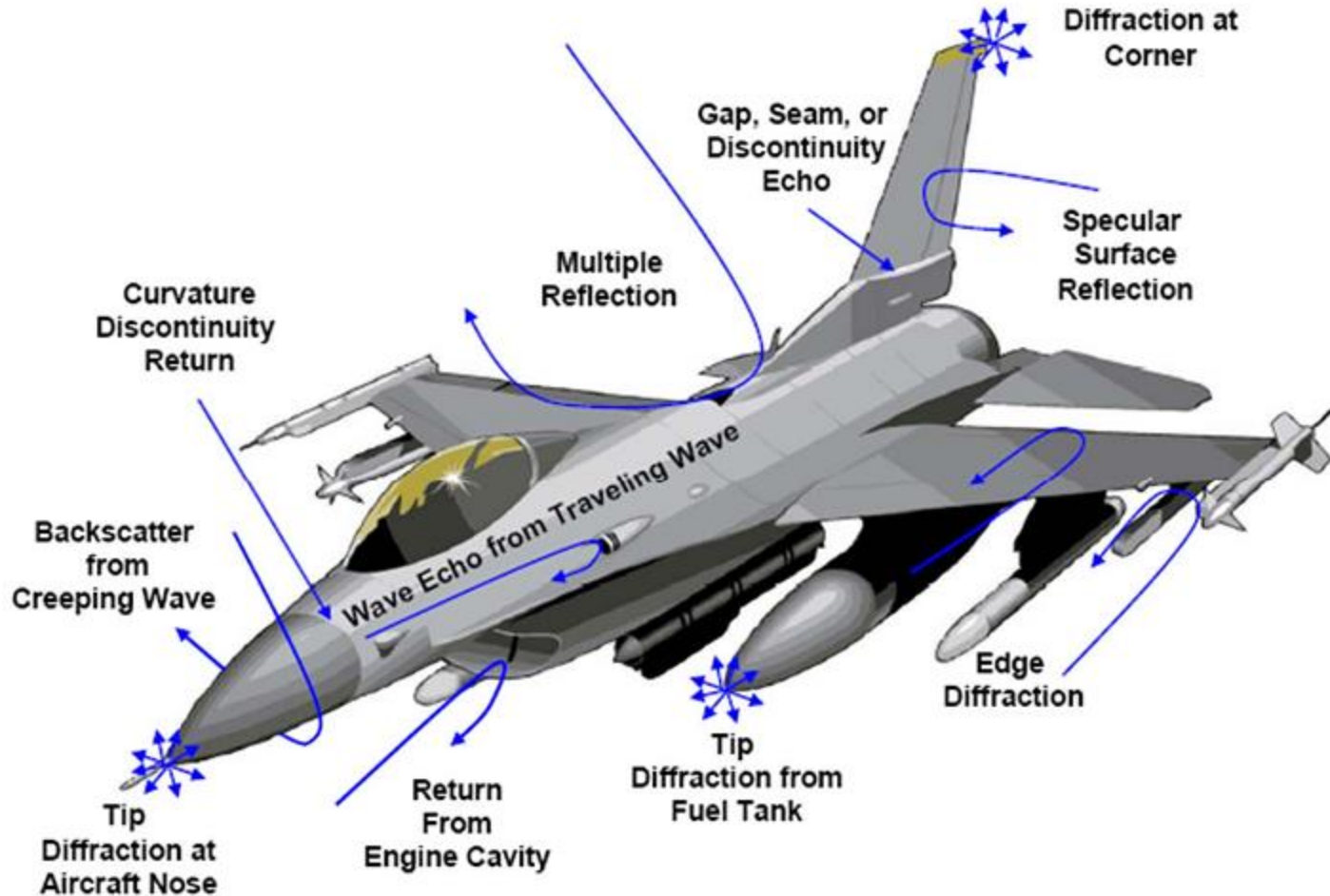
□ سطح مقطع راداری اندازه‌گیری شده یک سیم به طول  $16.5\lambda$  و قطر  $0.01\lambda$



# صفحه مسطح و منعکس کننده گوشه ای

- در حالت برخورد عمودی، سطح مقطع راداری یک صفحه مسطح با مساحت  $A$  در ناحیه نوری برابر با  $\frac{4\pi A^2}{\lambda^2}$  است.
- سطح مقطع راداری با تغییر زاویه دید از حالت عمود به سرعت کاهش می یابد.
- رابطه سطح مقطع راداری یک **منعکس کننده دو سطحی** یا **سه سطحی** با مساحت تصویر شده  $A$  نیز مشابه یک صفحه مسطح است با این تفاوت که در یک زاویه دید وسیعتری برقرار است.

# سطح مقطع راداری اجسام پیچیده

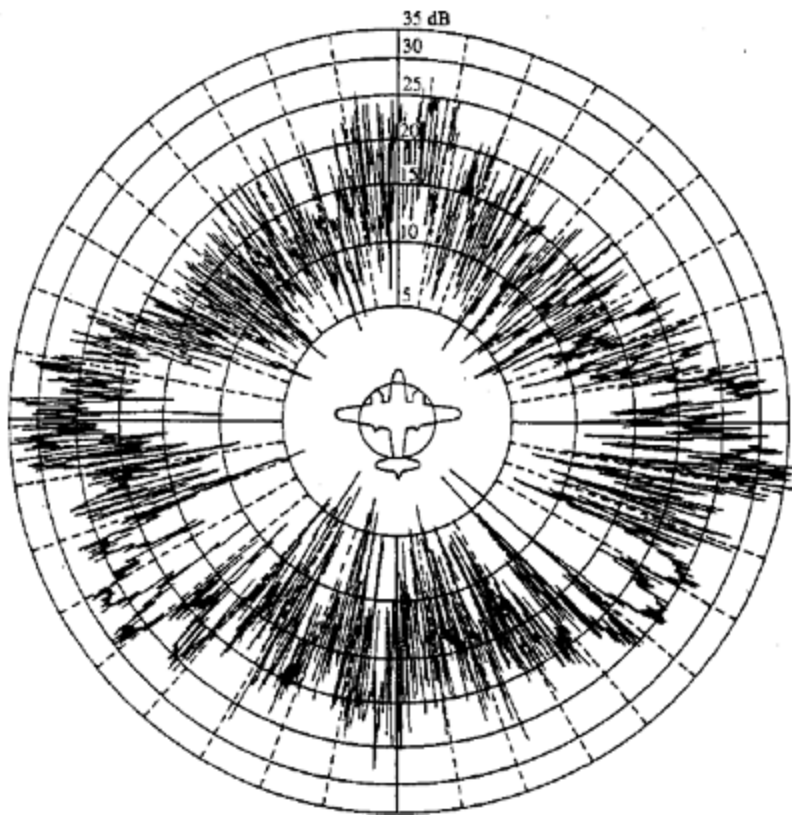


## سطح مقطع راداری اجسام پیچیده

- سطح مقطع راداری اجسام پیچیده نظیر هواپیما، موشک، کشتی، وسایل نقلیه زمینی، ساختمان و.. به طور قابل ملاحظه‌ای با زاویه دید و فرکانس تغییر می‌کند.
- این تغییرات ناشی از پراکنده‌سازهای منفردی است که جسم پیچیده را تشکیل می‌دهند.
- هر پراکنده‌ساز یک سیگنال بازگشتی با دامنه و فاز مشخص ایجاد می‌کند. این سیگنال‌های بازگشتی در رادار ترکیب شده و سیگنال نهایی را شکل می‌دهند.

# سطح مقطع راداری اجسام پیچیده

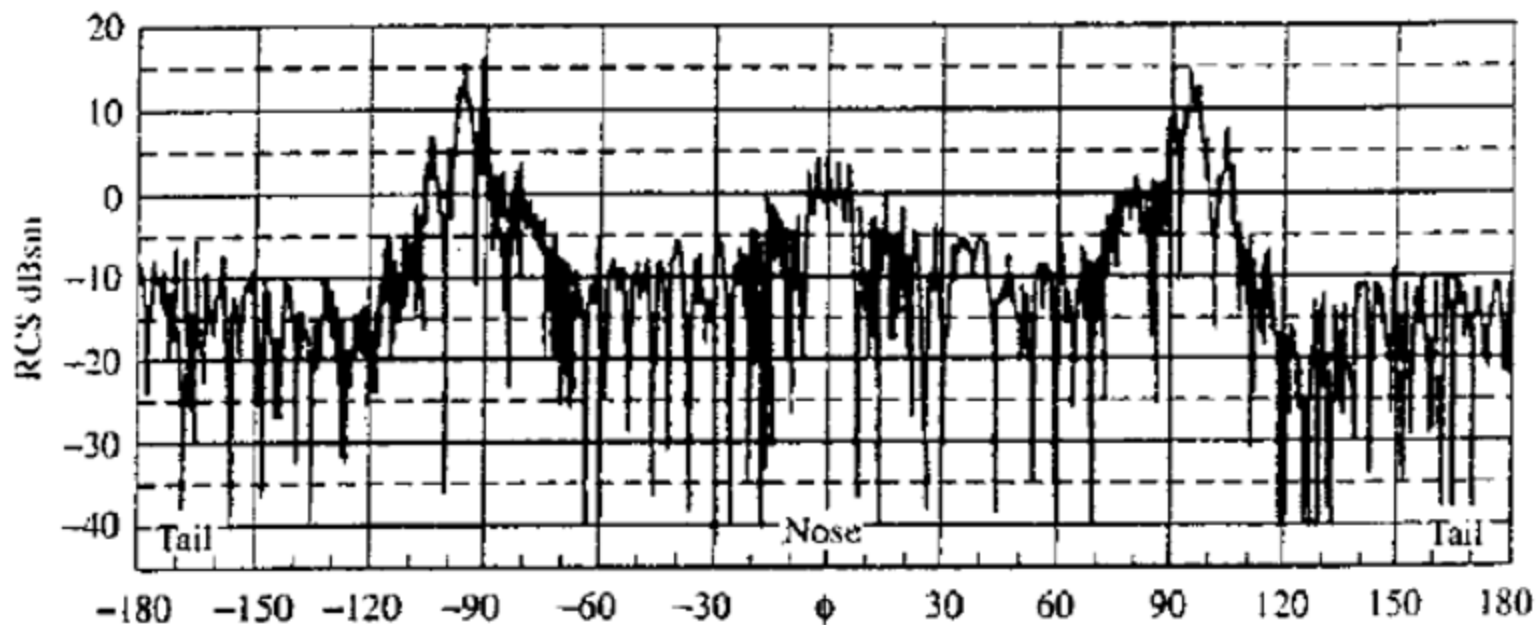
- سطح مقطع راداری یک هواپیمای بمبافکن متوسط دو موتور
- تا 15 dB تغییرات در سطح مقطع راداری با تغییر زاویه دید به اندازه 1/3 درجه





# سطح مقطع راداری اجسام پیچیده

- سطح مقطع راداری مدل کوچک شده (یک پانزدهم برابر) یک هواپیمای بویینگ ۷۳۷
- مقادیر نشان داده شده در این شکل برای مدل کوچک شده در فرکانس 10 GHz است.



## سطح مقطع راداری اجسام پیچیده

- سطح مقطع راداری اهداف با فرکانس، زاویه دید و قطبش تغییر می‌کند.
- بنابراین یک عدد به تنهایی معیار کاملی برای سطح مقطع راداری نیست.
- با این حال گاهی اوقات یک عدد برای توصیف دسته‌ای از اهداف رادار مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- هیچگونه استاندارد دی برای بیان سطح مقطع راداری به صورت یک عدد وجود ندارد.
- گاهی اوقات مقدار میانگین سطح مقطع راداری و برخی مواقع نیز مقدار مینیمم یا مقداری که در بیشتر مواقع سطح مقطع راداری از آن بیشتر است، در نظر گرفته میشود.

# سطح مقطع راداری نامی برخی اهداف

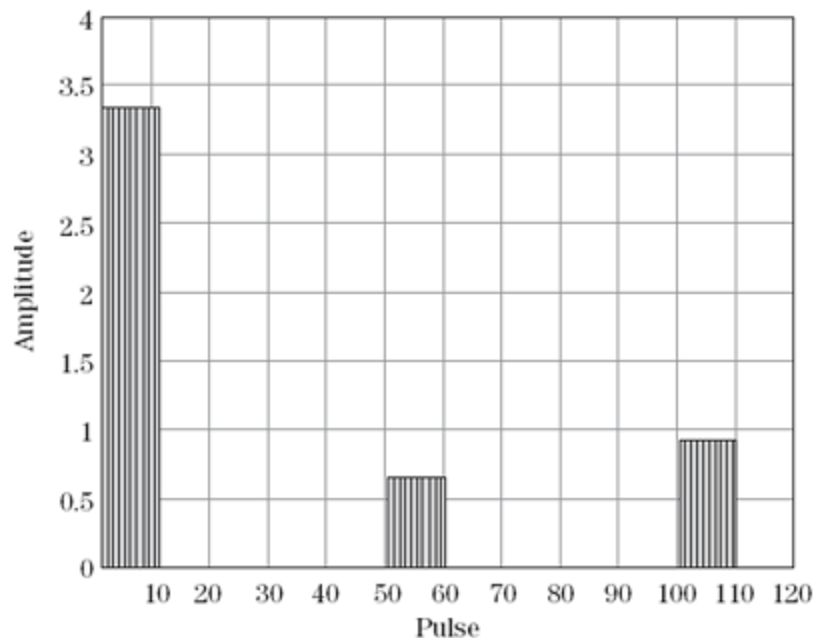
	<u>Square meters</u>
Conventional winged missile	0.1
Small, single engine aircraft, or jet fighter	1
Four passenger jet	2
Large fighter	6
Medium jet airliner	40
Jumbo jet	100
Helicopter	3
Small open boat	0.02
Small pleasure boat (20-30 ft)	2
Cabin cruiser (40-50 ft)	10
Ship (5,000 tons displacement, L Band)	10,000
Automobile / Small truck	100 - 200
Bicycle	2
Man	1
Birds (large -> medium)	$10^{-2} - 10^{-3}$
Insects (locust -> fly)	$10^{-4} - 10^{-5}$

## تغییرات سطح مقطع راداری

- یک روش سرراست برای در نظر گرفتن تغییرات سطح مقطع راداری در معادله رادار، انتخاب یک مقدار کوچک برای سطح مقطع راداری است که تقریباً در تمام زمان ها مقدار واقعی از آن بیشتر است.  
□ این روش دقیق نیست ولی در عوض بسیار ساده است.
- روش دیگری که معمولاً بیشتر استفاده می‌شود، بر اساس در نظر گرفتن تابع چگالی احتمال تغییرات سطح مقطع راداری و همچنین لحاظ کردن همبستگی سطح مقطع راداری از یک پالس به پالس دیگر است.
- به این منظور می‌توان از چهار مدل آماری ارائه شده توسط **پیتر سورلینگ** استفاده کرد.

□ مقدار سطح مقطع راداری در هر اسکن برای پالس‌های متفاوت یکسان بوده ولی از یک اسکن به اسکن دیگر ناهمبسته یا مستقل هستند.

□ چنین تغییراتی را اصطلاحاً **تغییرات آرام یا اسکن به اسکن** گویند.

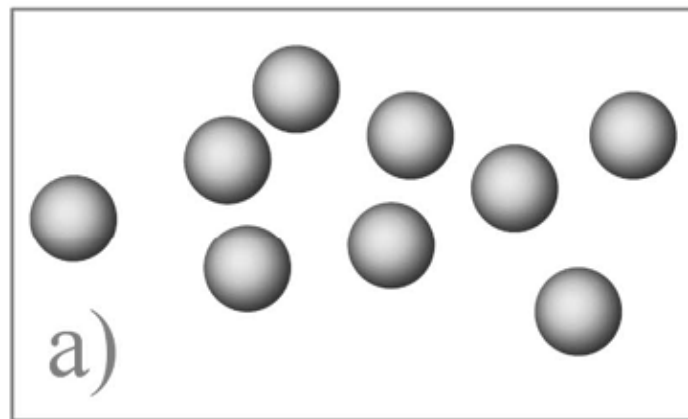
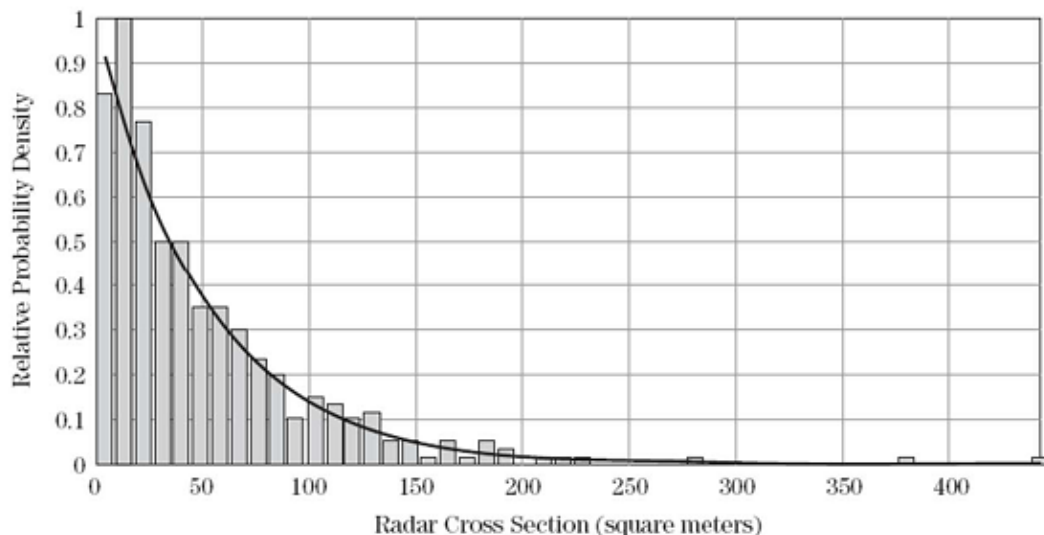


□ تابع چگالی احتمال سطح مقطع راداری در این مدل به صورت **نمایی** در نظر گرفته می شود

$$p(\sigma) = \frac{1}{\sigma_{av}} \exp\left(-\frac{\sigma}{\sigma_{av}}\right), \quad \sigma \geq 0$$

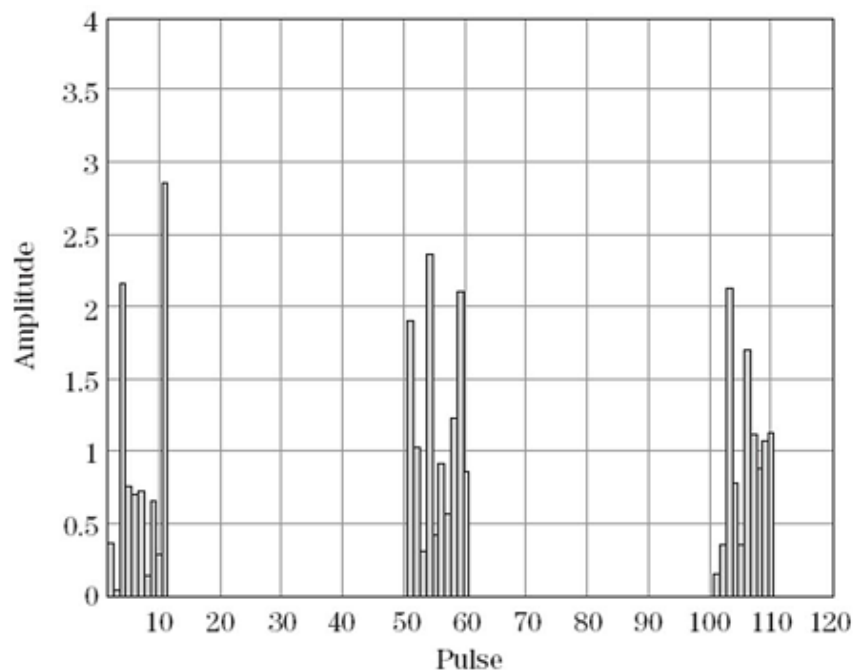
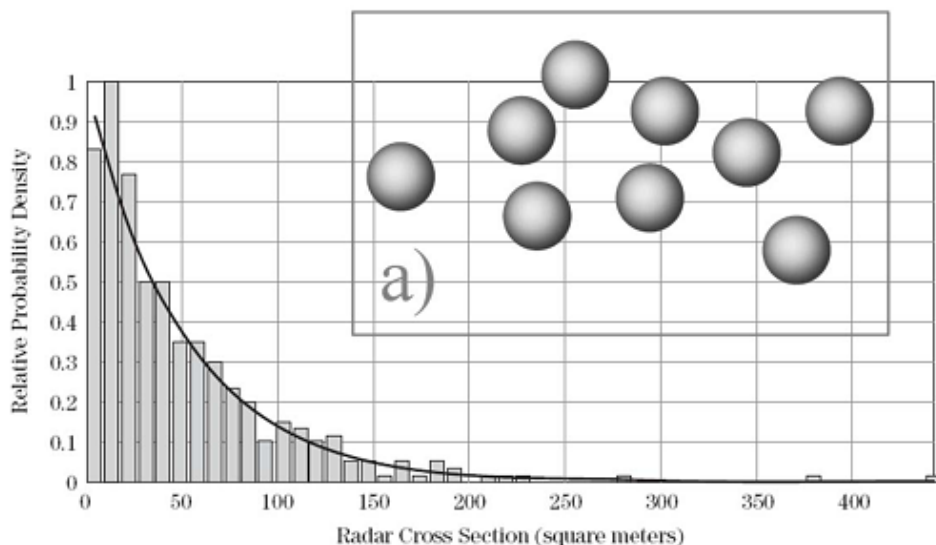
مقدار میانگین سطح مقطع راداری

□ چنین تابع چگالی احتمالی برای اهدافی که از تعداد زیادی پراکنده ساز مستقل با ابعاد تقریباً یکسان تشکیل شده اند، قابل اعمال است.



## مدل سورلینگ نوع ۲

- مقدار سطح مقطع راداری از یک پالس به پالس دیگر مستقل یا ناهمبسته است. چنین تغییراتی را اصطلاحاً **تغییرات سریع** گویند.
- تابع چگالی احتمال در این مدل به صورت **نمایی** است.



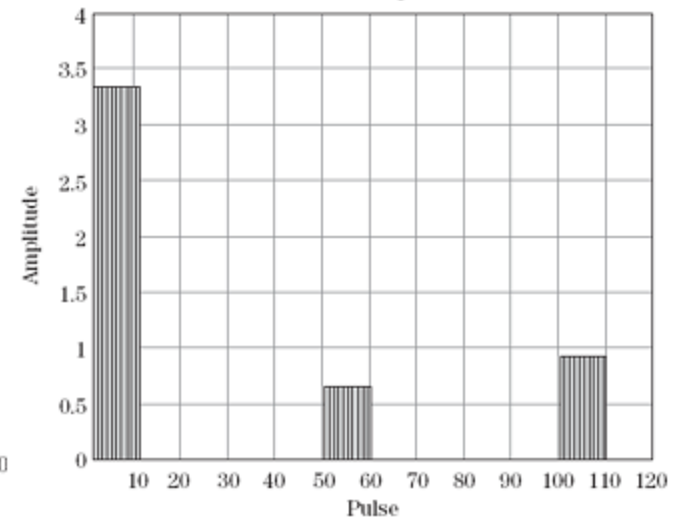
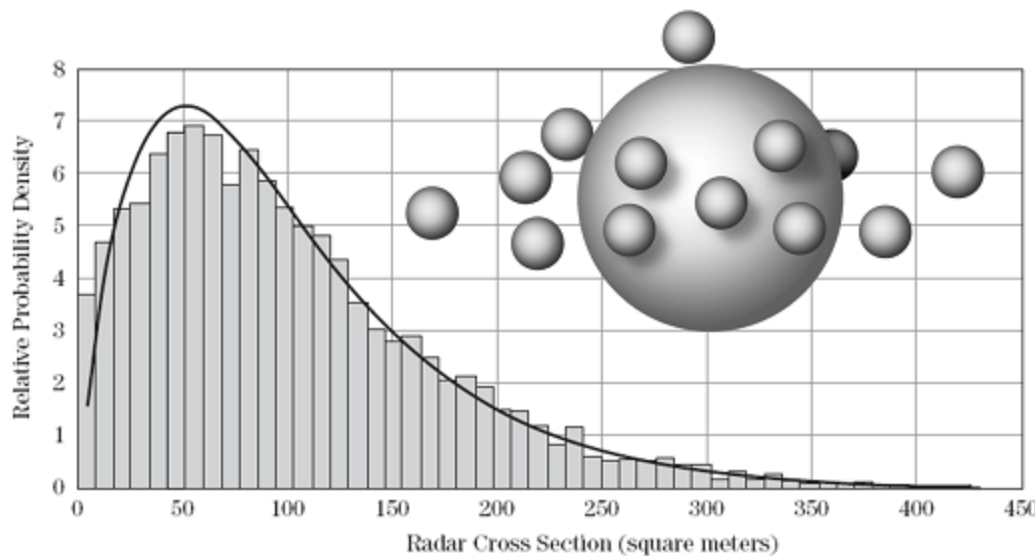
# مدل سورلینگ نوع ۳

□ تغییرات سطح مقطع راداری آرام است.

□ تابع چگالی احتمال در این مدل به صورت **chi-square مرتبه ۴** است.

$$p = \frac{4\sigma}{\sigma_{av}^2} \exp\left(-\frac{2\sigma}{\sigma_{av}}\right), \quad \sigma \geq 0$$

□ چنین تابع چگالی احتمالی برای یک پراکنده‌ساز بزرگ به همراه چندین پراکنده‌ساز کوچک قابل اعمال است.

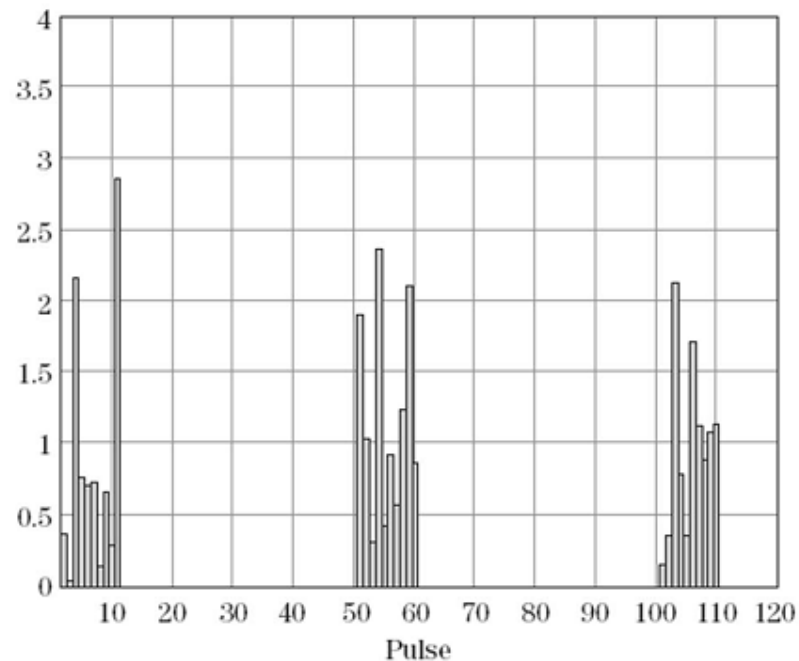
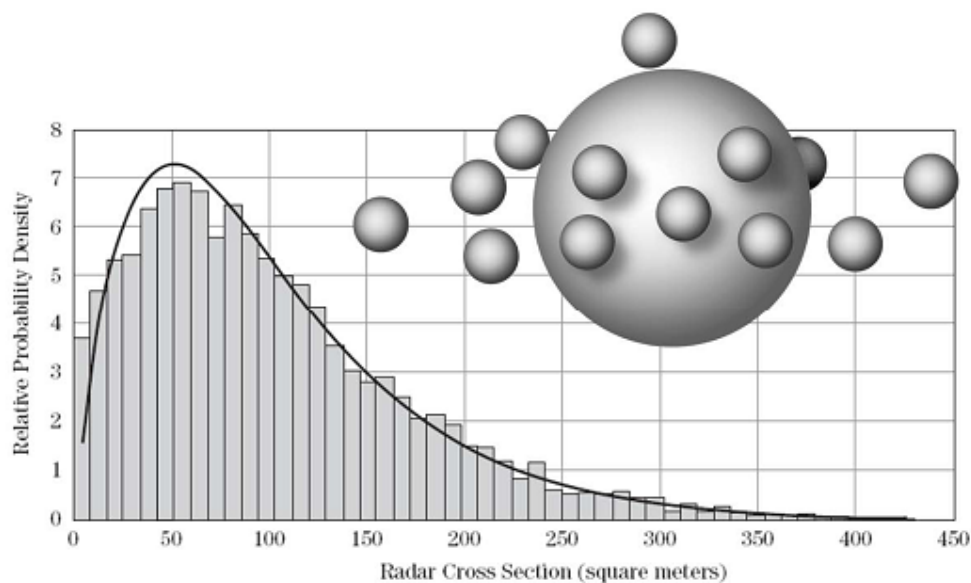




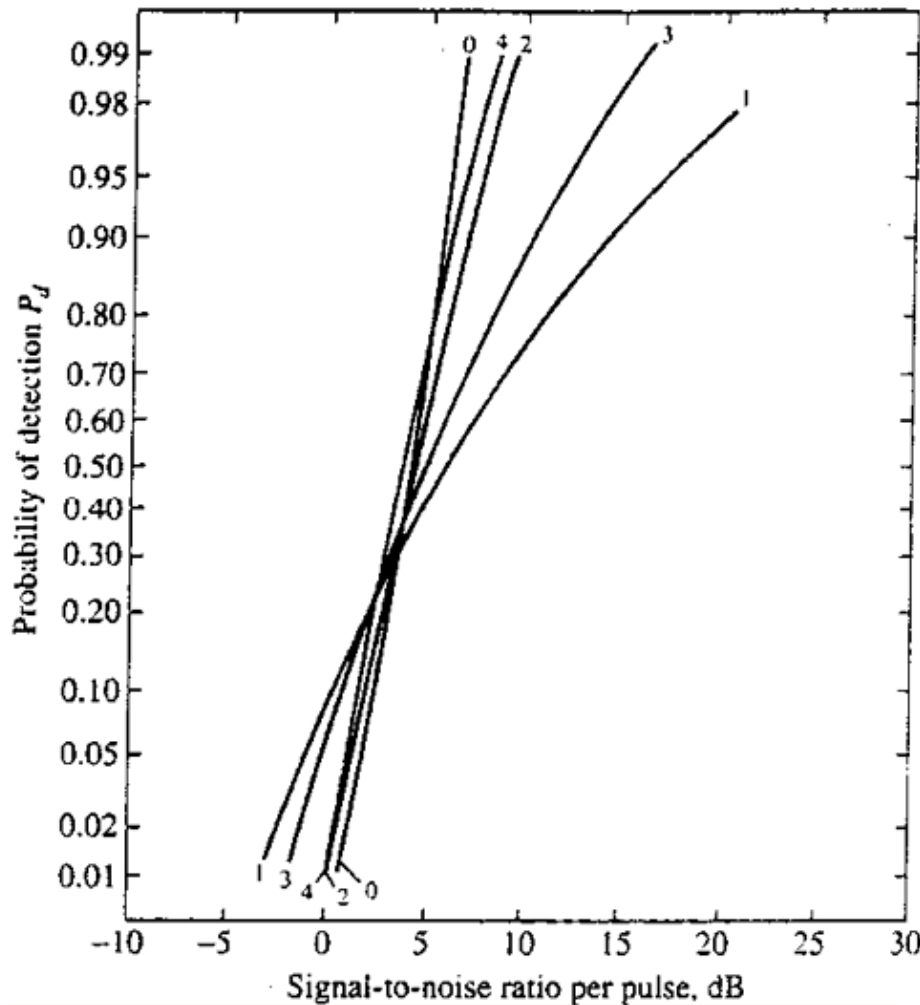
# مدل سورلینگ نوع ۴

□ تغییرات سطح مقطع راداری سریع است.

□ تابع چگالی احتمال در این مدل به صورت **chi-square مرتبه ۴** است.

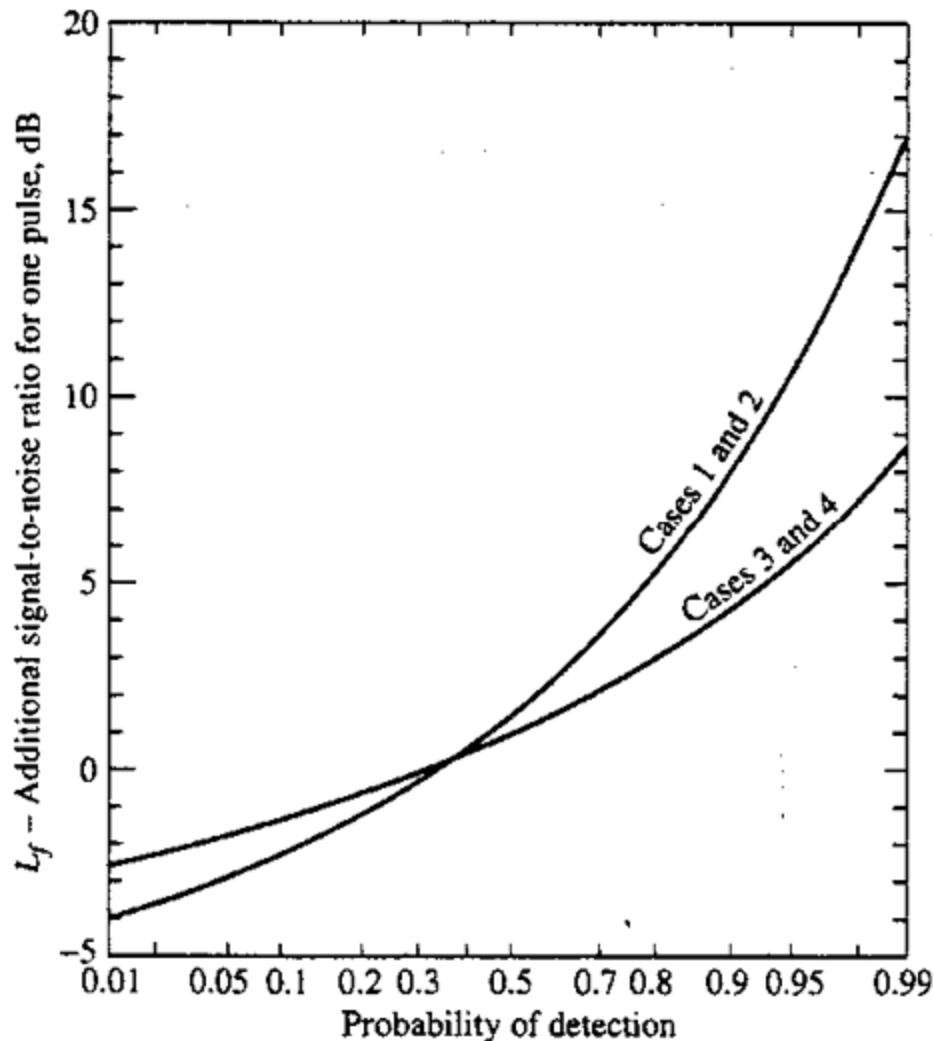


□ در چهار مدل سورلینگ باید سطح مقطع راداری مؤثر را در معادله رادار قرار داد.



- مقایسه‌ای بین چهار مدل سورلینگ و حالت بدون تغییرات (مدل صفر) برای تجمیع ۱۰ پالس به صورت غیر هم‌دوس و احتمال هشدار اشتباه  $10^{-8}$
- تغییرات سطح مقطع راداری باعث می‌شود که مقدار سیگنال به نویز مورد نیاز افزایش یابد.
- برای احتمال‌های آشکارسازی بیش از 0.3 (که همواره چنین است) مقدار سیگنال به نویز مورد نیاز در مدل‌های ۱ و ۳ بیش از مقدار آن در مدل‌های ۲ و ۴ است.

# سیگنال به نویز مورد نیاز



□ برای یافتن سیگنال به نویز مورد نیاز برای چهار مدل سورلینگ به ازای مقادیر معین احتمال آشکارسازی، احتمال هشدار اشتباه و تعداد پالس‌های تجمیع شده به ترتیب زیر عمل می‌کنیم

- انتخاب یکی از چهار مدل سورلینگ
- یافتن تلفات ناشی از تغییرات سطح مقطع راداری برای یک پالس ( $L_f$ ) از شکل روبرو

## سیگنال به نویز مورد نیاز

□ یافتن تعداد مؤثر پالس‌ها (تعداد پالس‌های مستقل) از رابطه زیر

$$n_e = 1 + (n - 1) \ln\left(\frac{1}{\rho}\right) \leq n$$

← ضریب همبستگی  $\rho$

■ برای مدل‌های سورلینگ ۲ و ۴،  $\rho = 0$  و  $n_e = n$  و برای مدل‌های سورلینگ ۱ و ۳  $\rho = 1$  و  $n_e = 1$  می‌باشد.

□ بدست آوردن تلفات ناشی از تغییرات سطح مقطع راداری برای  $n_e$  پالس از رابطه زیر

$$L_f(n_e) = (L_f)^{\frac{1}{n_e}}$$

■ که بصورت لگاریتمی نتیجه می‌شود:

$$L_f(n_e) \text{ dB} = \frac{L_f \text{ dB}}{n_e}$$

# سیگنال به نویز مورد نیاز

□ مقدار سیگنال به نویز مورد نیاز

$$\frac{\left(\frac{S}{N}\right)_1 L_f(n_e)}{nE(n)}$$

سیگنال مورد نیاز برای یک پالس  
در حالت بدون تغییرات سطح مقطع راداری

ضریب بهبود حاصل از تجمیع  $n$  پالس

□ معادله رادار

$$R_{\max}^2 = \frac{P_t G A_e \sigma n E_i(n)}{(4\pi)^2 k T_s B_n (SNR)_1 L_f^{1/n_e}}$$

# انتخاب مدل سورلینگ مناسب

□ نوع تابع چگالی احتمال

□ داشتن اطلاعات از سطح مقطع راداری هدف مورد نظر

■ آیا سطح مقطع راداری هدف به طور غالب ناشی از تعداد زیادی پراکنده ساز یکسان بوده و یا ناشی از یک یا دو پراکنده ساز بزرگ است؟

□ نوع همبستگی بین پالس ها

□ وابسته به فرکانس کار، هندسه، مدت زمان و استفاده یا عدم استفاده از  
frequency agility